ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR LEBENSMITTEL-
VETERINÄR- UND AGRARWESEN

„Innovativer Pflanzenschutz – neue Technologien zur Versorgungssicherung”

Tagungsbericht 2023

BERICHT

ALVA – Jahrestagung 2023

"Innovativer Pflanzenschutz – neue Technologien zur Versorgungssicherung"

22. - 23. Mai 2023

Tagungsort

Landwirtschaftskammer Oberösterreich

Auf der Gugl 3

4021 Linz, Oberösterreich

Tel.: + 43(0)50/6902-1470
Fax: + 43(0)50/6902-91470

Email: ghg@lk-ooe.at
www.seminarhaus-gugl.at

Impressum

Herausgeber
Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel, Veterinär- und Agrarwesen
Präsident
Univ.-Doz. Dr. Gerhard Bedlan
Für den Inhalt verantwortlich
Die Autorinnen und Autoren
Zusammengestellt von
Mag. Astrid Plenk

ISSN 2791-5107 (online-Ausgabe)

VORWORT

Das Tagungsmotto der 77. ALVA-Tagung lautet „Innovativer Pflanzenschutz – neue Technologien zur Versorgungssicherung ”.

Die derzeitigen Entwicklungen auf dem Agrarsektor, wie zum Beispiel das Verbot vieler Pflanzenschutzmittel durch die EU, zeigen, dass der Pflanzenschutz in Zukunft noch innovativer, effizienter und umweltschonender werden muss. Biologicals, die solche Anforderungen an moderne Pflanzenschutzmittel erfüllen, findet man heutzutage vermehrt in der Natur selbst, Pflanzenschutzmittel auf RNA-Basis gehören dazu.
In der Plenarveranstaltung werden genau diese Themen behandelt: Identifizierung und Nutzung essenzieller Gene von Pathogenen im HIGS- und SIGS-basierten Pflanzenschutz sowie neue Wege in der Resistenzforschung, molekulare und spektrale Erkennung von Pathogenen kombiniert mit dem Einsatz von Biologicals sowie die Frage ob die Vorschläge der EU zu weiteren Restriktionen im Pflanzenschutz wissenschaftsbasiert sind.

Die anderen Themen kommen aber nicht zu kurz. So werden auch folgende Themen in eigenen Sektionen behandelt: digitale Technologien für integrierte Unkrautkontrolle, aufspritzbares Mulchmaterial zur Unkrautbekämpfung, Biodiversität von Äckern, KI-Robotereinsatz zur Beikrautbekämpfung in Bio-Zuckerrüben, ganzheitlicher Pflanzenschutz im Gartenbau, Einfluss der Unterlagsrebsorten auf die Leistung von Chardonnay, Einfluss der Stammhöhe auf Ertrag und Qualität von Zweigelt, Digitalisierung im Weinkeller, genetische Charakterisierung von Marillensorten, Haltbarkeit von Leinöl und Sonnenblumenöl, bitter-maskierende Stoffe im Leinöl, Fischsterben in Polen und Deutschland 2022, Felddatenerhebung Projekt SatGrass, Modellierung von Grünlanderträgen mit Satelittendaten, teilflächenspezifische Aussaat bei Mais, Feld und Lagerpilzflora von Heuproben, Mikroorganismen gegen Pflanzenkrankheiten, Alternativ-, Ersatz- und Hybridfleischprodukte, Zitzenreinigung und Clostdridiensporeneintrag in die Rohmilch, Algen als Lebensmittelzutat, Fungizideinsparung, Fungizidstrategien, Echter Mehltau in Schmorgurke, Endophyten im Blutungssaft der Rebe, Parasitenleistung von Schlupfwespen, Raubmilben in Europäischen Weinanbaugebieten, Pilze und Drahtwürmer, Bekämpfung der invasiven Marillenblattlaus, Grüne Reiswanze, invasive Eichennetzwanze, eine neue Lagerkrankheit des Apfels, Bodenmonitoring LUCASSA, Chitosan zur Reduktion des Echten Mehltaus an Schnittblumen, Biologische Bekämpfung von Götterbaum, Bioraffinierung von Grünlandfutter, Pflanzenschutzmittelreduktion mittels Drohnen, Robotik in der Landwirtschaft, Bio-Marillenanbau unter Folie, sensorische Beurteilung von Apfelsäften und Kriecherlkonfitüren, Ionenaustausch in der Weinbereitung, Metschnikowia-Hefen und Chitosan gegen unerwünschte Mikroorganismen, önologische Tannine versus Eichenholzchips oder Barriquelagerung, freie und konjugierte Flavonole in österreichischen Weinen, Biostimulanzien.

Abschließend ein herzliches Dankeschön an die Mitglieder des Vorstandes der ALVA, den vielen helfenden Händen für die organisatorische Arbeit sowie den Autorinnen und Autoren der Beiträge sowie den Sponsoren der Tagung.

HR Univ.-Doz. Dr. phil. Gerhard Bedlan
Präsident der ALVA

Inhaltsverzeichnis

ALVA-FORSCHUNGSPREIS

SPERMIDIN UND VITAMIN B_{12} ALS ANALYTISCHE HERAUSFORDERUNGEN BEI DER UNTERSUCHUNG VON NAHRUNGSERGÄNZUNGSMITTELN

Sabrina P. Van den Oever, Helmut K. Mayer 16

ALVA-FÖRDERPREIS

EXPLORING XENOBIOTIC PHASE II BIOTRANSFORMATION IN HUMAN SAMPLES BY LC-MS/MS

Yasmin Fareed, Dominik Braun, Mira Flasch, Daniel Globisch, Benedikt Warth 21

PLENARVORTRÄGE

SIND DIE VORSCHLÄGE DER EU ZU WEITEREN RESTRIKTIONEN IM PFLANZENSCHUTZ WISSENSCHAFTSBASIERT?

Andreas von Tiedemann 26

IDENTIFIZIERUNG UND NUTZUNG ESSENZIELLER GENE VON PATHOGENEN IM HIGS- UND SIGS-BASIERTEN PFLANZENSCHUTZ

Aysan Ghasemzadeh, Sven-Erik Behrens und Holger B. Deising 29

NEUE WEGE IN DER RESISTENZFORSCHUNG: MEHR IMMUNITÄT UND WENIGER ANFÄLLIGKEIT GEGEN

Ralph Hückelhoven 36

MOLEKULARE UND SPEKTRALE ERKENNUNG VON PATHOGENEN KOMBINIERT MIT DEM EINSATZ VON BIOLOGICALS

Ralf Thomas Voegele 42

VORTRÄGE

NUTZUNG NICHT-CHEMISCHER VERFAHREN UND DIGITALER TECHNOLOGIEN FÜR EINE INTEGRIERTE UNKRAUTKONTROLLE UND EIN EFFEKTIVES RESISTENZMANAGEMENT

Lena Ulber 49

AUFSPRITZBARES MULCHMATERIAL ZUR UNKRAUTBEKÄMPFUNGIM WEIN- UND OBSTBAU

Swen Follak, Michael Kirchinger, Anja Menger, Markus Redl, Arno Schmid 53

VERÄNDERUNGEN DER BIODIVERSITÄT MITTELEUROPÄISCHER ÄCKER ÜBER 90 JAHRE

Michael Glaser, Swen Follak, Zdeňka Lososová, Stefan Dullinger, Franz Essl 54

KI-GESTÜTZTER ROBOTEREINSATZ ZUR HERBIZIDFREIEN BEIKRAUTBEKÄMPFUNG IN BIO-ZUCKERRÜBEN

Thomas Rohringer, DI Franz Handler und Alexander Waschl 55

GANZHEITLICH, VIELFÄLTIG, INNOVATIV – PFLANZENSCHUTZ IM GARTENBAU

Ute Katharina Vogler 59

TORFERSATZ AUS LAUBHOLZFASERN – PFLANZENSCHUTZ VON DER WURZELSPITZE AN

Nora Roesky, Fokko Schütt, Dirk Behrens, Jörn Appelt, Rodrigo Coniglio, Sina Ehrich, Vera Hörmann, Benjarong Karbowy-Thongbai, Ute Vogler 63

GÄRRESTE UND FASERNESSEL: HERAUSFORDERUNGEN UND MÖGLICHKEITEN ALS REGIONALE TORFERSATZSTOFFE

Annmarie-Deetja Rohr, Katharina Leiber-Sauheitl, Doreen Koltermann, Christina Eilers, Patrick Schnoor, Maren Langhof, Gerlinde Michaelis, Andreas Wrede, Ute Katharina Vogler 68

FREILANDUNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS VON 31 UNTERLAGSREBSORTEN AUF DIE GENERATIVE UND VEGETATIVE LEISTUNG VON CHARDONNAY

Martin Mehofer, Bernhard Schmuckenschlager, Karel Hanak, Norbert Vitovec, Memish Braha, Thaci Cazim, Andrzej Gorecki, Michael Schneider 69

UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS DER STAMMHÖHE AUF ERTRAG UND QUALITÄT DER REBSORTE ZWEIGELT ÜBER ELF JAHRE

Martin Mehofer, Bernhard Schmuckenschlager, Karel Hanak, Norbert Vitovec, Memish Braha, Christian Bader, Veronika Schober, Monika Riedle-Bauer 75

PILZWIDERSTANDSFÄHIGE REBSORTEN. EIN ALLGEMEINER ÜBERBLICK UND IHRE EIGENSCHAFTEN IN DER TRAUBENVERARBEITUNG

Michael Winkler, Harald Scheiblhofer, Mario Strauss, Michael Schneider, Elke Körbler, Florian Masser, Gregor Frühwirth, Andreas Fingerlos 80

INVERTASE-AKTIVITÄTEN IN APFELBLATTKNOSPEN WÄHREND DER DORMANZAUFHEBUNG – BEHARRLICH UND NACHGIEBIG

Anna M. Hubmann, Alexandra Jammer, Stephan Monschein 85

GENETISCHE CHARAKTERISIERUNG VON MARILLENSORTEN MITTELS MIKROSATELLITEN-ANALYSE

Karin Silhavy-Richter 90

Nährwertprofilsysteme zur Beurteilung des Gesundheitsaspektes von Obst und Obstverarbeitungsprodukten 95

Elsa Patzl-Fischerleitner 95

ANALYSE DES EINFLUSSES DER KEIMUNG AUF QUALITÄTSPARAMETER UND DIE HALTBARKEIT VON LEINÖL UND SONNENBLUMENÖL

Tobias Pointner, Katharina Rauh, Arturo Auñon-Lopez, Sanja Kostadinovik, Mila Mitreva, Sasa Mitrev, Marc Pignitter 100

POTENZIELL BITTER-MASKIERENDE STOFFE IN MIT LEINPRESSKUCHEN-POLYPHENOLEN ANGEREICHERTEM LEINÖL

Mathias Strauß, Luisa Backes, Marc Pignitter 104

AUTOMATISIERTE FEUCHTE- UND ASCHEBESTIMMUNG - NORMGERECHT UND PRAXISERPROBT

Daniel Eckhart, Sabine Birker 109

FISCHSTERBEN IN DER ODER IN POLEN/DEUTSCHLAND IM SOMMER 2022

Elisabeth Varga, Jan Köhler, Stephanie Spahr, Tobias Goldhammer 112

PLANUNG UND DURCHFÜHRUNG EINER LANDESWEITEN FELDDATENERHEBUNG IM PROJEKT SATGRASS

Andreas Schaumberger, Andreas Klingler 115

ÖSTERREICHWEITE MODELLIERUNG VON GRÜNLANDERTRÄGEN MIT WETTER- UND SATELLITENDATEN

Andreas Klingler, Aleksandar Dujakovic, Francesco Vuolo, Konrad Mayer, Andreas Schaumberger 120

VERBESSERTE VORHERSAGE VON KOHLENSTOFF-SEQUESTRIERUNG AUF ÖSTERREICHISCHEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN BÖDEN ANHAND VON MULTI-MODELL ENSEMBLES

Luca Giuliano Bernardini, Katharina Keiblinger, Christoph Rosinger, Gernot Bodner 123

TEILFLÄCHENSPEZIFISCHE AUSSAAT BEI MAIS - NUTZEN UND VORTEILE FÜR DEN LANDWIRT

Albert Müllner, Robert Sinn, Hannes Prankl, Andreas Prankl, Markus Gansberger, Fabian Butzenlechner, Roman Weinhappl 128

UPDATE ZU FELD- UND LAGERPILZFLORA IN HEUPROBEN AUS ÖSTERREICH

Reinhard Resch, Gerald Stögmüller, Andreas Adler 133

GEZIELTE REDUKTION AN SOJAEXTRAKTIONSSCHROT IN DER SCHWEINEMAST - EINE WIN-WIN-SITUATION

Reinhard Puntigam, Stefan Hörtenhuber, Manfred Weber 138

EINFLUSS VON ZWEI UNTERSCHIEDLICH NACHHALTIGEN FUTTERRATIONEN AUF DIE MAST- UND SCHLACHTLEISTUNG BEIM SCHWEIN

Clemens Humer, Karl Schedle 143

EINSATZ VON SOJABOHNEN MIT ZÜCHTERISCH REDUZIERTER AKTIVITÄT DES TRYPSIN-INHIBITORS IN DER RATIONSGESTALTUNG VON FERKELN

Markus Mader, Reinhard Puntigam, Marc Urdl, Julia Steinhoff-Wagner, Eduard Schneeberger 147

ALTERNATIV-, ERSATZ- UND HYBRIDFLEISCHPRODUKTE – RELEVANTE PRODUKTEIGENSCHAFTEN FÜR JUNGE ERWACHSENE

Kathrin Heim, Robert Fina, Thomas Poscher, Cornelia Felbinger 152

BEDEUTUNG DER ZITZENREINIGUNG ZUR VERMEIDUNG DES EINTRAGS VON CLOSTRIDIENSPOREN IN DIE ROHMILCH

Johanna Burtscher, Tamara Rudavsky, Viktoria Neubauer, Ulrike Zitz und Konrad J. Domig 156

ALGEN ALS LEBENSMITTELZUTAT? – IDENTIFIKATION DER KERN-ZIELGRUPPEN

Andrea Reiterlehner, Kathrin Heim, C. Felbinger, R. Fina, G. Zweytick 159

***RAMULARIA*, EINE NEUE LAGERKRANKHEIT DES APFELS IN SÜDTIROL (NORDITALIEN)**

Stefanie M. Primisser, Evi Deltedesco, Sabine Öttl 163

FUNGIZIDEINSPARUNG DURCH AN DIE EPIDEMIOLOGIE DES ECHTEN REBENMEHLTAUS ANGEPASSTE APPLIKATIONEN

Markus Redl, Elias Jagg, Christian Redl 168

REDUKTION VON ECHTEM MEHLTAU (*PODOSPHAERA FULIGINEA*) IN SCHMORGURKE (*CUCUMIS SATIVUS*) DURCH DIE ANWENDUNG VON GRUNDSTOFFEN

Mathias Breuhahn, Jana Podhorna, Martina Bandte, MalgorzataRybak, Carmen Büttner 171

EINFLUSS ORGANISCHER UND MINERALISCHER ADDITIVE AUF DEN SPARGELERTRAG IM NACHBAU - ERGEBNISSE AUS FÜNF JAHREN SPARGELANBAU

Roxana Djalali Farahani-Kofoet, Franziska Häfner, Carmen Feller 174

HERAUSFORDERUNGEN EINES DIAGNOSELABORS IN DER PHYTOPATHOLOGIE: DIAGNOSE - ISO NORM – QUARANTÄNE

Monika Heupel 177

BESTIMMUNG DER ENDOPHYTEN IM BLUTUNGSSAFT DER REBE MITTELS NEXT GENERATION SEQUENCING

Karin Mandl, Jasmina Suljic, Christian Bader, Ingrid Hofstetter, Florian Faber 178

NACHHALTIGE STRATEGIEN UND FOLGENABSCHÄTZUNG IM PFLANZENSCHUTZ

Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Silke Dachbrodt-Saaydeh und Hella Kehlenbeck 182

DER EINFLUSS VON WITTERUNG, TAGESZEIT UND INTERSPEZIFISCHER KONKURRENZ AUF DIE PARASITIERUNGSLEISTUNG VON SCHLUPFWESPEN

Thomas Zankl, Martin Mayrhofer, Christa Schafellner, Axel Schopf 187

EINFLUSS VON MANAGEMENTMAßNAHMEN UND LANDSCHAFTSZUSAMMENSETZUNG AUF RAUBMILBEN IN EUROPÄISCHEN WEINBAUGEBIETEN

Stefan Möth, Adrien Rusch, Christoph Hoffmann, Herrera Rafael Alcalá, Daniela Popescu, Andreas Walzer, Silvia Winter 192

AUSWIRKUNGEN VON HITZEWELLEN AUF DAS POPULATIONSWACHSTUM VON RAUB- UND SPINNMILBEN

Thomas Tscholl, Andreas Walzer 196

VON PILZEN UND DRAHTWÜRMERN – VORLÄUFIGE ERGEBNISSE AUS DEM PROJEKT DRAHTWURM-CONTROL

Stephan Manhalter, Anna Moyses, Julia Kauschitz, Matthias Wernicke, Katharina Wechselberger 199

DIE BEKÄMPFUNG DER INVASIVEN MARILLENBLATTLAUS (*MYZUS MUMECOLA*)

Urban Spitaler 204

DIE GRÜNE REISWANZE - MONITORING UND WARNDIENST 2023

Anna Moyses 207

GEKOMMEN, UM ZU BLEIBEN: ENTWICKLUNGSPOTENZIAL DER INVASIVEN EICHENNETZWANZE *CORYTHUCHA ARCUATA* IN ÖSTERREICH

Selina Stattler, Christa Schafellner 208

FERNERKUNDUNG DER VEGETATIONSDYNAMIK ALS INDIREKTE BEWERTUNG VON BODENVERDICHTUNG

Matthias Konzett, Elmar Schmaltz, Thomas Weninger 212

AUSWIRKUNGEN VON RADLAST, BODENBEARBEITUNG UND ZWISCHENFRUCHT AUF SPURTIEFE, BODENPHYSIKALISCHE STRUKTURPARAMETER UND KÖRNERMAISERTRAG IM PANNONISCHEN KLIMARAUM IM JAHR 2022

Gerhard Moitzi, Emmanuel Arthur, Maliheh Fouladidorhani, Mathieu Lamandé, Helmut Wagentristl 216

LABORMETHODEN ZUR HYDROLOGISCHEN CHARAKTERISIERUNG VON STRUKTURSUBSTRATEN

Sebastian Rath, Anna Zeiser, Thomas Weninger, Peter Strauss 219

BODENSTRUKTUR UND HUMUSSTABILITÄT – ANALYTISCHE POTENZIALE VON ULTRASCHALL-FRAKTIONIERUNG UND SIMULTANER THERMOANALYSE

Sebastian Wieser, Katharina Keiblinger, Rebecca Hood-Nowotny, Herwig Mayer, Axel Mentler, Christoph Rosinger, Karin Wriessnig, Gernot Bodner 224

Biostimulanzien: Entwicklung einer Untersuchungs-Pipeline zur Überprüfung physiologischer Wirkmechanismen

Gernot Bodner, Markus Freudhofmaier, Dominik Grosskinsky, Erwin Pfundtner, Markus Gorfer 229

Effekte von Struvit und N-modifizierten Zeolithen auf Nährstoff-kreisläufe in sandigen Ackerböden

Giulio Galamini, Giacomo Ferretti, Christoph Rosinger, Sabine Huber, Valeria Medoro, Axel Mentler, Eugenio Diaz-Pines, Markus Gorfer, Barbara Faccini, Massimo Coltorti, Katharina M Keiblinger 234

NÄHRSTOFFVERHÄLTNISSE (AUSTAUSCHBARE KATIONEN) AUF GRÜNLANDBÖDEN IN OBERÖSTERREICH – BERECHNUNG DER KATIONENAUSTAUSCHKAPAZITÄT BEI BEKANNTEM PH-WERT, HUMUS- UND TONGEHALT

Patrick Falkensteiner, Georg Dersch 239

NÄHRSTOFFGEHALTE UND NÄHRSTOFFVERHÄLTNISSE (AUSTAUSCHBARE KATIONEN) AUF ACKERLAND ENTSPRECHEND DEN GEHALTSKLASSEN NACH DEN RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG

Armin Bajraktarevic und Georg Dersch 244

DER EINFLUSS VON KALKUNG UND ZWISCHENFRÜCHTEN AUF DIE MIKROBIELLE HUMUSBILDUNG

Niklas Bruhn, Katharina Keiblinger, Christoph Rosinger, Gernot Bodner 249

EINFLUSS VON ZWISCHENFRÜCHTEN AUF BODENKOHLENSTOFF-FRAKTIONEN IM ACKERBAU - EINE META-ANALYSE

Julia Fohrafellner, Sophie Zechmeister-Boltenstern, und Rajasekaran Murugan, Katharina Keiblinger, Heide Spiegel, Elena Valkama 255

ON FARM-EVALUIERUNG VON MIKROBIELLEM WACHSTUM UND KOHLENSTOFFNUTZUNGSEFFIZIENZ IN BÖDEN UNTERSCHIEDLICHER ACKERBAUSYSTEME

Christoph Rosinger, Valentina Forer, Hans Sandèn, Axel Mentler, Gernot Bodner, Katharina Keiblinger ... 260

AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER LANDWIRTSCHAFTLICHER BEWIRTSCHAFTUNGSFORMEN AUF BODENQUALITÄTS-PARAMETER

Lea Wellinger, Magdalena Bieber, Niklas Bruhn, Maria Manniche, Axel Mentler, Ingmar Prohaska, Christoph Rosinger, Jaturong Som-Ard, Franziska Weinrich, Sebastian Wieser, Katharina Keiblinger 264

BODENMONITORING (LUCASSA)

Hans-Peter Haslmayr, Andreas Baumgarten, Günther Aust, Monika Tulipan, Elmar Schmaltz, Walter Wenzel 269

MIKROORGANISMEN GEGEN PFLANZENKRANKHEITEN: INNOVATIVE ALTERNATIVEN FÜR ZUKUNFTSSTRATEGIEN?

Siegrid Steinkellner 272

FLÜCHTIGE ORGANISCHE VERBINDUNGEN (VOC) VON *METARHIZIUM BRUNNEUM* - INNOVATIVE ANWENDUNGSMÖGLICHKEIT ZUR KONTROLLE VON SCHADINSEKTEN?

Maria Zottele, Pierre- Antoine Bourdon, Tariq Butt, Hermann Strasser 274

GENETISCHE VIELFALT DES ASPEN MOSAIC-ASSOCIATED VIRUS

Shaheen Nourinejhad Zarghani, Serghei Iancev, Rim Al Kubrusli, Risto Jalkanen, Carmen Büttner, Susanne von Bargen 277

***TRICHODERMA AFROHARZIANUM* – NEUESTE ERKENNTNISSE ZUR TRICHODERMA KOLBENFÄULE AN MAIS**

Annette Pfordt, Eike Tannen, Peet Gaumann, Felix Voll, Lara Steffens, Andreas von Tiedemann 278

EXPLORING THE UNSEEN – THE ROLE OF THE MICROBIOME IN PERENNIAL WHEATGRASS

Kristina Michl, Gabriele Berg, Tomislav Cernava 283

ANWENDUNG DES GRUNDSTOFFES CHITOSAN ZUR REDUKTION DES ECHTEN MEHLTAUS AN SCHNITTBLUMEN

Florian Wulf, Jana Podhorna, Malgorzata Rybak, Carmen Büttner, Martina Bandte 285

QUANTIFIZIERUNG DER VIRUZIDEN WIRKSAMKEIT MIT MENNO FLORADES GEGEN DAS TOMATO BROWN RUGOSE FRUIT VIRUS

Shaheen Nourinejhad Zarghani, Jens Ehlers, Merhan Monavari, Susanne von Bargen, Joachim Hamacher, Carmen Büttner, Martina Bandte 287

BIOLOGISCHE BEKÄMPFUNG VON GÖTTERBAUM AUF LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTEN FLÄCHEN

Benjamin Dauth, Dragana Petrović, Oliver Maschek, Erhard Halmschlager 289

SCHWEFELGEHALTE IM RAUFUTTER VON PRAXISBETRIEBEN AUS ÖSTERREICH

Reinhard Resch, Gerald Stögmüller 294

BEISPIELE VON STOFFBILANZEN BEI (BIOGAS-)GÜLLEDÜNGUNG

M. Sager, L. Doppelbauer, C. Reithofer, M. Bonell, E. Erhart 299

ERTRÄGE UND VERLUSTE BEI PROZESSEN DER BIORAFFINIERUNG VON GRÜNLANDFUTTER

Reinhard Resch, Manuel Winter, Michael Mandl, Andreas Steinwidder, Joseph. B. Sweeney, Kevin McDonnell 305

ISOTOPEN-METHODEN ZUR ANALYSE DER WASSERDYNAMIK BEI ZUCKERRÜBE

Gernot Bodner, Sabrina Santos Pires, Stefan Geyer, Herbert Eigner, Christine Stumpp310

PFLANZENSCHUTZMITTELREDUKTION MITTELS DROHNEN-ANWENDUNG: SPOT SPRAYING – PUNKTGENAUE UNKRAUTBEKÄMPFUNG DURCH EIN HYBRID SYSTEM AUS DROHNEN, KÜNSTLICHER INTELLIGENZ UND PFLANZENSCHUTZSPRITZE

Michael Treilmeier 314

EVALUIERUNG DER ARBEITSQUALITÄT VON IN-ROW HACKSYSTEMEN MITTELS COMPUTER VISION METHODEN

Peter Riegler-Nurscher, Elias Eder, Marie Wenzlaff, Thomas Turic 317

AKTUELLE FELDROBOTIK IN DER LANDWIRTSCHAFT

Michael Haider, Franz Handler 320

HOLISTISCHER ANSATZ FÜR MODERNE NUTZTIERMEDIZIN

Peter M. Roth, Sylwia Koy, Julia Ernst, Oleksandr Pietukhov, Bernd Wachmann 325

VERGLEICH VON APFELSORTEN AUF STARK- UND SCHWACHWÜCHSIGEN UNTERLAGEN UNTER BIOANBAUBEDINGUNGEN MIT BLÜHSTREIFENEINSAATEN

Lothar Wurm 330

ERSTE ERFAHRUNGEN MIT DEM ANBAU VON NEUEN MANDELSORTEN

Mirjam Weißmann 333

BIO- MARILLENANBAU UNTER FOLIE UND IM FREILAND

Lothar Wurm 337

NUTZUNG DER IMPEDANZ-MESSUNG ZUR REIFEBESTIMMUNG

Manfred Gössinger Antonia Skoff, Marc Hejret , Carmen Bock, Marlene Lindner, Helen Murray, Cordula Klaffner, Monika Graf 340

SENSORISCHE BEURTEILUNG VON SÄFTEN AUSGEWÄHLTER ALTER UND NEUER APFELSORTEN

Martina Staples 344

SENSORISCHE BEURTEILUNG VON KRIECHERLKONFITÜREN WALDVIERTLER UND STEIRISCHER HERKÜNFTE

Martina Staples, Magdalena Plattner 347

VORHERSAGE DER POTENZIELLEN FARBSTABILITÄT VON ERDBEERNEKTAR DURCH VERWENDUNG EINES STABILITY PREDICTION VALUE (SPV)

Helen Murray, Claudia Dietl-Schuller, Marlene Lindner, Karin Korntheuer, Heidrun Halbwirth, Manfred Gössinger 350

METHANOLMESSUNG IM BRENNEREIBETRIEB

Monika Graf, Andreas Schneider, Sezer Sari, Reinhard Baumann, Martin Gutternigg, Manfred Gössinger 355

HERSTELLUNG VON APFEL-PETNAT

Manfred Gössinger, Anna Altenriederer, Hannah Schöninger, Ulrich Gantschnigg 358

AKTUELLE MÖGLICHKEITEN DES EINSATZES VON IONENTAUSCHERN IN DER WEINBEREITUNG

Harald Scheiblhofer, Christoph Detz, Michael Winkler, Michael Hecher, Jonas Kerninger, Nikolaus Zemanek Elsa Patzl-Fischerleitner, Christian Phillip 361

REDUKTION VON SO_2 UND UNTERDRÜCKUNG VON UNERWÜNSCHTEN MIKROORGANISMEN DURCH DEN EINSATZ VON METSCHNIKOWIA-HEFEN UND CHITOSAN

Harald Scheiblhofer, Christoph Detz, Michael Winkler, Magdalena Wetschka, Michael Buchmayer, Josef Lobner, Elsa Patzl-Fischerleitner, Christian Philipp 365

CHARAKTERISIERUNG VON WEINEN MIT ZUSATZ VON ÖNOLOGISCHEN TANNINEN IM VERGLEICH ZUM EINSATZ VON EICHENHOLZCHIPS ODER BARRIQUELAGERUNG

Christian Philipp, Karin Korntheuer, Sezer Sari, Jelka Lühring, Harald Scheiblhofer 369

VERSUCHE ZU ÖNOLOGISCHEN METHODEN ZUR STEIGERUNG DER WÜRZIGKEIT IN GRÜNER VELTLINER – TEIL 1 VERSUCHE ZU MAISCHESTANDZEIT UND MAISCHEGÄRUNG

Christian Philipp, Stefan Nauer, Phillip Eder, Reinhard Eder 372

VERSUCHE ZU ÖNOLOGISCHEN METHODEN ZUR STEIGERUNG DER WÜRZIGKEIT IN GRÜNER VELTLINER – TEIL 2 VERSUCHE ZU BLÄTTER- UND TRAUBENZUSATZ

Christian Philipp, Stefan Nauer, Phillip Eder, Reinhard Eder 375

BEITRAG ZUR CHARAKTERISIERUNG DES ANALYTISCHEN FINGERPRINTS VON TRAUBEN & WEINEN DER REBSORTE BLAUFRÄNKISCH ANHAND VERSCHIEDENER BURGENLÄNDISCHER STANDORT-RIEDEN-KOMBINATIONEN MIT FOKUS AUF DIE SUBSTANZKLASSE DER C_{13}-NORISOPRENOIDE

Nikolaus Schlögl, Phillip Eder, Sezer Sari, Karin Korntheuer, Christian Philipp 378

BESTIMMUNG VON FREIEN UND KONJUGIERTEN FLAVONOLEN IN ÖSTERREICHISCHEN WEINEN

Nikolaus Ihl, Karin Korntheuer, Christian Philipp, Reinhard Eder 383

POSTER

INSEKTENFÖRDERUNGSPOTENTIAL VERSCHIEDENER GRÜNFLÄCHEN-TYPEN

Katharina Zenz* Katharina Sandler, Katharina Pospisil, Daniela Lehner, Christine Pavitschitz, Eva Erhart 389

ÖSTERREICHISCHE KARTOFFELSORTENVERSUCHE IM RAHMEN DES ADAPT-PROJEKTS

Alexandra Ribarits, Svenja Bomers, Susanne Kirchmair, Philipp von Gehren, Josef Söllinger 394

WEIßBRAND AN *PHYSALIS PERUVIANA* – NEU FÜR ÖSTERREICH

Gerhard Bedlan, Julia Kauschitz, Juliane Reiterer, Stefan Hamedinger 397

SEIMATOSPORIUM HYPERICINUM, EINE NEUE BLATT- UND STÄNGELFLECKENERKRANKUNG AN JOHANNISKRAUT IN ÖSTERREICH

Astrid Plenk 399

TOPFVERSUCHE MIT *BEAUVERIA*-FORMULIERUNGEN ZUR BEKÄMPFUNG VON *MELOLONTHA MELOLONTHA* L.

Hannah Embleton, Maria Zottele, Lisa-Maria Raschbichler, Hermann Strasser 400

AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER UNTERSTOCK-BODENPFLEGEMAßNAHMEN AUF NICHTZIELORGANISMEN IM WEINBAU

Katharina Neubacher, Markus Redl, Constanze Hauser, Silvia Winter, Siegrid Steinkellner, Monika Riedle-Bauer, Michael Kirchinger, Edgar Remmele 403

BEDEUTUNG VON SALATGEMISCHEN FÜR DIE ERTRAGSSTABILITÄT IM ÖKOLOGISCHEN ANBAU

Monika Götz, Ulrike Behrendt 406

SAMTFLECKENKRANKHEIT AN TOMATE - EIGNUNG EINES NEUEN ZÜCHTUNGSKONZEPTES FÜR DEN ÖKOLOGISCHEN LANDBAU UND ÜBERBLICK ÜBER DIE AKTUELLE BEFALLSSITUATION IN DEUTSCHLAND

Monika Götz, Benjarong Karbowy-Thongbai, Florian Jordan 411

DAS MYCOINSEKTIZID *METARHIZIUM*: EINE ENDOPHYTISCHE PILZASSOZIATION ZUM NUTZEN DER RÜBENPFLANZE *BETA VULGARIS*

Chiara Cattani, Maria Zottele, Hermann Strasser **405**

GLOMERELLA LEAF SPOT IN SÜDTIROLER APFELANLAGEN UND *IN VIVO*-STRATEGIEN

Evi Deltedesco, Stefanie Primisser, Sabine Öttl 419

IDENTIFIZIERUNG CHARAKTERISTISCHER SEQUENZEN DES NUKLEOKAPSIDGENS UND ANALYSE DER GENETISCHEN VARIABILITÄT DES ASH SHOESTRING-ASSOCIATED VIRUS (ASAV), EINES NEUEN ERREGERS VON WALD- UND STADTBÄUMEN

Sahar Nouri, Shaheen Nourinejhad Zarghani, Susanne von Bargen, Carmen Büttner 425

INTERAKTION VON SPARGELSORTEN MIT *FUSARIUM OXYSPORUM* F.SP. *ASPARAGI* IM JUNGPFLANZENSTADIUM – EIN VERGLEICH ZWISCHEN *IN VITRO* UND SANDKULTUR

Roxana Djalali Farahani-Kofoet, Jan Graefe, Rita Zrenner 427

DIE ENTWICKLUNG DER LARVEN DES RÜBENDERBRÜSSLERS *ASPROPARTHENIS PUNCTIVENTRIS* AN VERSCHIEDENEN NAHRUNGSPFLANZEN

Elisabeth H. Koschier, Lena Dittmann 431

ENTWICKLUNG VON LEBKUCHEN MIT APFELTRESTERMEHL

Harald Kurz, Kathrin Heim 434

ENTWICKLUNG VON LEBKUCHEN MIT APFELTRESTERMEHL

Harald Kurz, Kathrin Heim 437

MIKRORESPIRATION: EINE FELDMETHODE ZUR MESSUNG DER MIKROBIELLEN AKTIVITÄT VON ACKERBÖDEN

Franziska Weinrich, Christoph Rosinger, Katharina Keiblinger, Gernot Bodner 440

HYPERSPEKTRALE SPEKTRORADIOMETRIE ZUR ERHEBUNG VON BODENKOHLENSTOFF UND LANDWIRTSCHAFTLICHEM MANAGEMENT

Magdalena Bieber, Francesco Vuolo, Katharina Keiblinger, Gernot Bodner 445

SCHWAMMSTADT FÜR BÄUME – DAS ZUSAMMENSPIEL VON BODEN UND BÄUMEN, BEWERTET NACH DEM KONZEPT DER ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN

Anna Zeiser, Johanna Loicht, Sebastian Rath, Peter Strauss, Thomas Weninger 449

HULK ZU BESUCH IN SCHULEN – VERMITTLUNG VON BODENWISSEN DURCH EXPERIMENTELLES LERNEN

Sabine Huber, Magdalena Bieber, Angelika Hromatka, Katharina Keiblinger, Gernot Bodner 454

ENTWICKLUNG VON PEDOTRANSFERFUNKTIONEN ZUR BESTIMMUNG VON HYDROLOGISCHEN BODENEIGENSCHAFTEN IN ÖSTERREICH

Florian Darmann, Irene Winkler, Monika Kumpan, Peter Strauss, Thomas Weninger 459

EDLER TROPFEN – GECHILLT ODER GESTRESST? BEURTEILUNG DES AKTUELLEN WASSERBEDARFS VON WEINREBEN ZUR DATENBASIERTEN BEWÄSSERUNGSSTEUERUNG

Thomas Weninger, Rosemarie Hösl, Erhard Kührer, Peter Strauss, Anna Zeiser 464

COPPER FUNGICIDE-INDUCED SHIFTS IN THE SOIL MICROBIAL COMMUNITY AND THE NITROGEN CYCLE

Martin Schneider, Katharina M. Keiblinger, Markus Gorfer, Harald Berger, Evi Deltedesco, Lisa Jöchlinger, Melanie Paumann, Gerhard Soja, Axel Mentler, Sophie Zechmeister-Boltenstern, Walter Wenzel, Franz Zehetner..... 469

REDUZIERUNGSPOTENZIAL DER CHASMOTHEZIENBILDUNG DES ECHTEN REBENMEHLTAUS DURCH ANORGANISCHE FUNGIZIDE

Stefan Möth, Markus Redl, Silvia Winter, Florian Hüttner, Siegrid Steinkellner 474

MULTIMODALES PHENOTYPING ZUR VERBESSERTEN DETEKTION VON STRESSRESISTENZEIGENSCHAFTEN

Gernot Bodner, Francesco Flagiello, José Carlos Herrera, Eric Stumpe, Julia Strebl, Matthias Zeppelzauer..... 466

ALVA-
FORSCHUNGSPREIS

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR LEBENSMITTEL-, VETERINÄR- UND AGRARWESEN

Der erweiterte Vorstand der
Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen
hat in seiner Sitzung vom 7. März 2023 beschlossen

Frau Dipl.-Ing. Dr. nat. tech. Sabrina Van den Oever

den

ALVA-Forschungspreis 2023

zu verleihen.

Der Vorstand der ALVA bekundet Ihnen hiermit, sehr geehrte Frau Dipl.-Ing. Dr. nat. tech. Sabrina Van den Oever, eine hervorragende Dissertation abgefasst zu haben, die jene Fachgebiete betrifft, die von der ALVA vertreten und bearbeitet werden und daher für die weitere wissenschaftliche Arbeit innerhalb der ALVA von großer Bedeutung ist.

Linz, am 22. Mai 2023

Univ.-Doz. Dr. Gerhard BEDLAN
Präsident

Mag. Astrid PLENK
Vizepräsidentin

Dipl.-Ing. Martin ROGENHOFER
Geschäftsführer

Spermidin und Vitamin B_{12} als analytische Herausforderungen bei der Untersuchung von Nahrungsergänzungsmitteln

Spermidine and vitamin B12 as analytical challenges in monitoring nutritional supplements

Sabrina P. Van den Oever, Helmut K. Mayer

Einleitung

Ultrahochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (UHPLC) gehört zu den wichtigsten Werkzeugen in der analytischen Chemie zur Qualitätskontrolle verschiedener Lebensmittel. Durch die Entwicklung sogenannter „sub-2 µm-Partikel" wurde die Effizienz gesteigert, sodass eine erhöhte Flussgeschwindigkeit und Auflösung erreicht werden konnten (SWARTZ und MURPHY, 2005). Bei der Entwicklung und Produktion von bestimmten Nahrungsergänzungsmitteln können komplexe Lebensmittelmatrices entstehen, welche Anpassungen bestehender UHPLC-Methoden erfordern.

Das Polyamin Spermidin hat stark an Bedeutung gewonnen wegen vieler potenzieller Vorteile für die menschliche Gesundheit, da es unter anderem als „Anti-Aging"-Substanz beschrieben wird. Natürlich vorkommende Polyamine kommen in allen Säugetierzellen vor, und haben spezifische physiologische und regulatorische Funktionen, die sie unentbehrlich für das Zellwachstum und die Proteinbiosynthese machen, aber auch entzündungshemmende Eigenschaften und antioxidative Aktivitäten wurden berichtet. Eine erhöhte orale Aufnahme von Spermidin mit der Nahrung soll die Stressresistenz erhöhen sowie das Auftreten von altersbedingten Erkrankungen, Herz-Kreislauf-Krankheiten und den Verlust der motorischen Fähigkeiten reduzieren (MADEO et al., 2010). Etliche Spermidin-reiche Nahrungsergänzungsmittel wurden in den letzten Jahren auf Basis verschiedener Rohstoffe wie Sojabohnen, Weizenkeimen oder Algen entwickelt. Neben Spermidin findet man auch oligomere Proanthocyanidine (OPC; werden als kondensierte Tannine klassifiziert und sind weit verbreitet z.B. in Kakao, Äpfeln, Traubenkernen und Preiselbeeren) in diversen Präparaten, da auch OPC mit positiven Wirkungen auf die menschliche Gesundheit beworben werden. Die UHPLC-Analyse von Spermidin könnte in Gegenwart von OPC durch Wechselwirkungen beeinflusst werden, sodass eine exakte Quantifizierung erschwert wird. Daher wurde der Einfluss von oligomeren Proanthocyanidinen auf die UHPLC-Analyse von Spermidin untersucht, weil Spermidin in einem handelsüblichen Nahrungsergänzungsmittel, das beide gesundheitsfördernden Verbindungen (Spermidin + OPC) enthält, nicht (vollständig) nachgewiesen werden konnte.

Neben Spermidin wurden in den letzten Jahren unzählige Nahrungsergänzungsmittel für Vitamin B_{12} (Cobalamin) auf den Markt gebracht. Vitamin B_{12} spielt eine wichtige Rolle in der menschlichen Ernährung. Vor allem wegen seines Fehlens in pflanzlichen Lebensmitteln ist Vitamin B_{12} insbesondere bei einer streng veganen Ernährungsweise ein kritischer Nährstoff. Daher haben algenbasierte Nahrungsergänzungsmittel in der Lebensmittelwissenschaft eine enorme Bedeutung erlangt, da Algen als pflanzliche Quelle für das Vitamin gelten. Die Mikroalgen *Chlorella* sowie die sogenannte „Blaualge" *Spirulina* (*Arthrospira spp*.; Spirulina als Einzeller gehört eigentlich zu den Cyanobakterien, wird aber zu den Mikroalgen gezählt) werden vorrangig für Nahrungsergänzungsmittel verwendet. Beide Mikroalgen sind reich an Vitamin B_{12}, aber es könnte einen Unterschied geben zwischen Nahrungsergänzungsmitteln auf Basis von *Chlorella* oder *Spirulina* bezüglich der Bioverfügbarkeit des Vitamins. Bestimmte Algenarten (darunter unter anderem *Spirulina*) produzieren eine Form von Vitamin B_{12}, die für den menschlichen Körper biologisch nicht verfügbar ist (BITO et al., 2016; WELLS et al., 2017). Dies kann daher zu Produkten führen, die keinen Nutzen für den menschlichen Körper haben, aber teuer und mit Qualitätsversprechen vermarktet werden. Daher sollten auch in der Routineanalytik Methoden zur Differenzierung verschiedener Formen von Vitamin B_{12} etabliert werden.

Material und Methoden

Spermidin: Um Spermidin und andere Polyamine mittels optischer Detektoren nachweisen zu können, bedarf es einer Derivatisierung der Aminogruppe. Diese chemische Reaktion kann mit verschiedenen

Reagenzien erfolgen, hier wurde „AQC“ verwendet. Vor allem Spermidin ist als AQC-Derivat jedoch instabil, was die Analyse erschwert. Die chromatographische Trennung von AQC-Derivaten wurde mit einer Waters Acquity™ Ultra Performance LC (UPLC™) durchgeführt unter Verwendung eines Acquity™ TUV-Detektors sowie eines Acquity™ Fluoreszenz-Detektors (VAN DEN OEVER und MAYER, 2022a). Ein sich in der Produktentwicklungsphase befindendes OPC haltiges Nahrungsergänzungsmittel mit hohem Spermidin-Gehalt wurde untersucht, jedoch konnte kein Spermidin nachgewiesen werden. Daraufhin wurden Spiking-Experimente mit anderen Spermidin haltigen Rohstoffen (Weizenkeime, Gerste und Algenpulver) sowie einem OPC-Präparat durchgeführt.

Vitamin B_{12}: Cobalamin gilt als analytisch herausfordernde Verbindung wegen seiner komplexen chemischen Struktur sowie der vielen möglichen nativen Formen („Vitamere“) und verschiedenen Analoga. Falsch-positive Ergebnisse können durch das sogenannte „Pseudo-Cobalamin“ (analoge Form; unterer Ligand substituiert) verursacht werden. Daher wurde eine schnelle, einfache und zuverlässige UHPLC-Methode basierend auf UV-Detektion zur chromatografischen Trennung von physiologisch aktivem Vitamin B_{12} und seiner nicht-aktiven Pseudo-Form entwickelt. Die chromatographische Analyse wurde auf einer Waters Acquity™ Ultra Performance LC (UPLC™) H-Class ausgestattet mit einem Acquity™ Photodiodenarray (PDA) eλ-Detektor zur Quantifizierung durchgeführt. Zur korrekten Identifizierung von Cyanocobalamin und Pseudocyanocobalamin wurde im Rahmen der Methodenentwicklung ein Massenspektrometer (Acquity™ QDa single Quadrupol-Massendetektor) verwendet (VAN DEN OEVER und MAYER, 2022b). Die entwickelte Methode wurde nach dem EURACHEM-Guide validiert. Anschließend wurden insgesamt 57 algenbasierte Nahrungsergänzungsmittel (n = 41 gekennzeichnet als *Chlorella sp.*; n = 14 als *Spirulina sp*; n = 1 gekennzeichnet als *Chlorella* und *Spirulina* sp.; und n = 1 als weiteres Cyanobakterium markiert) untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Da **Spermidin** in dem OPC haltigen Nahrungsergänzungsmittel mit dieser bereits gut etablierten und optimierten UHPLC-Methode nicht nachgewiesen werden konnte, wurden verschiedene Spiking- und Misch-Experimente durchgeführt, um herauszufinden, ob es zu Wechselwirkungen mit OPC kommt. Diese Wechselwirkungen zwischen Polyaminen und OPC könnten zu dramatisch niedrigeren Werten oder sogar zu falsch-negativen Ergebnissen führen. Ein reiner Spermidin-Standard wurde sowohl von dem OPC haltigen Spermidin-Produkt als auch von einem OPC-Extrakt sofort gebunden, und es kam zu einer deutlichen Reduktion der gefundenen Spermidin-Restkonzentration. Extrakte aus Weizenkeimen, Gerste und Algenpulver führten zu keiner Reduktion der dazugegebenen Konzentration des Spermidin-Standards. Wurden jedoch diese Rohstoffe sowohl mit dem OPC haltigen Nahrungsergänzungsmittel als auch einem OPC-Extrakt gemischt, kam es ebenfalls zu einer Reduktion der gefundenen Spermidin-Restkonzentration, diese war jedoch unterschiedlich stark zu beobachten. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Probenmatrix der Rohstoffe einen Einfluss auf die Bindung von Spermidin durch OPC hat. Reines Spermidin hat eine hohe Affinität, von OPC gebunden zu werden (was zu falsch-negativen Resultaten führen kann).

Die Ergebnisse der 57 im Handel erhältlichen Nahrungsergänzungsmitteln auf Algenbasis zeigten eine große Spannbreite im Gesamtgehalt an **Vitamin B_{12}**, diese war im Bereich von nicht nachweisbar bis 445 µg/100g für *Chlorella*-Proben, und zwischen 92 und 164 µg/100g für *Spirulina*-Produkte. Aber neben der großen Bandbreite bezüglich des Gesamtgehalts gab es auch große Abweichungen in der Konzentration von Pseudo-Vitamin B_{12} in allen analysierten Proben. *Chlorella*-Produkte enthielten hauptsächlich und in höheren Mengen physiologisch aktives Vitamin B_{12}. Im Gegensatz dazu enthielten als *Spirulina* gekennzeichnete Nahrungsergänzungsmittel große Mengen an Pseudo-Vitamin B_{12} bezogen auf den Gesamtgehalt. Der relative Prozentsatz von Pseudocobalamin lag bei *Spirulina*-Präparaten zwischen 72 und 98%. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, geeignete analytische Methoden zur Bestimmung und Unterscheidung von Vitamin B_{12} und seiner Pseudo-Form in Nahrungsergänzungsmitteln aus Algen zu etablieren. Die exakte Quantifizierung des Gesamtgehalts an (physiologisch aktivem) Vitamin B_{12} ist nicht nur für Lebensmittelanalytiker relevant, sondern auch für den Verbraucherschutz, da sich Konsumenten auf eine korrekte Kennzeichnung der Produkte verlassen können müssen. Nahrungsergänzungsmittel mit einem hohen Gehalt an Pseudo-Vitamin B_{12} dürfen nicht (mehr) als gute Quelle

für das Vitamin beworben werden (um eine Irreführung bzw. Täuschung von Konsumenten solcher Vitamin B_{12}-Präparate aus Algen in Zukunft zu vermeiden).

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung und Produktion von bestimmten Nahrungsergänzungsmitteln können komplexe Lebensmittelmatrices entstehen, welche Anpassungen bestehender UHPLC-Methoden erfordern. Die Mischung aus Spermidin und oligomeren Proanthocyanidinen (OPC) hat einige Herausforderungen mit sich gebracht, da der Gehalt von Spermidin mit einer etablierten Methode aufgrund von Interferenzen mit OPC nicht (vollständig) nachweisbar war. Ein weiteres wichtiges Thema in der Lebensmittelkontrolle ist die chromatographische Trennung und Bestimmung von Vitameren und Analoga eines Vitamins. Bei Vitamin B_{12} sind geeignete analytische Methoden erforderlich, die eine Unterscheidung des Vitamins und seiner biologisch nicht-aktiven Pseudo-Form ermöglichen, was vor allem in Nahrungsergänzungsmitteln aus Algen entscheidend ist, da diese große Mengen an Pseudo-Vitamin B_{12} enthalten können.

Abstract

The development and production of certain nutritional supplements can result in complex food matrices requiring further adaption of existing UHPLC methods. The mixture of spermidine and oligomeric proanthocyanidins (OPC) has brought up some challenges since the content of spermidine was not (fully) detectable using a well-established method due to interference with OPC. Another important issue in food control is the chromatographic separation and determination of vitamers and analogues of one specific vitamin. Regarding vitamin B_{12}, appropriate analytical methods are required for the reliable differentiation of the vitamin and its biologically non-active pseudo-form, which is relevant especially in algae-based nutritional supplements.

Literatur

BITO T, BITO M, ASAI Y, TAKENAKA S, YABUTA Y, TAGO K, OHNISHI M, MIZOGUCHI T, WATANABE F (2016): Characterization and quantitation of vitamin B_{12} compounds in various Chlorella supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64, 8516-8524.

MADEO F, EISENBERG T, BÜTTNER S, RUCKENSTUHL C, KROEMER G (2010): Spermidine: a novel autophagy inducer and longevity elixir. Autophagy, 6, 160-162.

SWARTZ ME, MURPHY B (2005): New Frontiers in Chromatography. American Laboratory, 22-27.

VAN DEN OEVER SP, MAYER HK (2022a): Can oligomeric proanthocyanidins interfere with UHPLC analysis of spermidine in nutritional supplements? Journal of Food Composition and Analysis, 109, 104466.

VAN DEN OEVER SP, MAYER HK (2022b): Biologically active or just "pseudo"-vitamin B_{12} as predominant form in algae-based nutritional supplements? Journal of Food Composition and Analysis, 109, 104464.

WELLS ML, POTIN P, CRAIGIE JS, RAVEN JA, MERCHANT SS, HELLIWELL KE, SMITH AG, CAMIRE ME, BRAWLEY SH (2017): Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. Journal of Applied Phycology, 29, 949-982.

Adressen der Autoren

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie, Institut für Lebensmittelwissenschaften, Muthgasse 11, A-1190 Wien

* Ansprechpartner: DI Dr. Sabrina VAN DEN OEVER, sabrina.van-den-oever@boku.ac.at

ALVA-FÖRDERPREIS

ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR LEBENSMITTEL-, VETERINÄR- UND AGRARWESEN

Der erweiterte Vorstand der
Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen
hat in seiner Sitzung vom 7. März 2023 beschlossen

Frau Yasmin FAREED MSc.

den

ALVA-Förderpreis 2023

zu verleihen.

Der Vorstand der ALVA bekundet Ihnen hiermit, sehr geehrte
Frau Yasmin Fareed MSc.,
eine hervorragende Masterarbeit abgefasst zu haben, die jene
Fachgebiete betrifft, die von der ALVA vertreten und bearbeitet
werden und daher für die weitere wissenschaftliche Arbeit
innerhalb der ALVA von großer Bedeutung ist.

Linz, am 22. Mai 2023

Univ.-Doz. Dr. Gerhard BEDLAN
Präsident

Mag. Astrid PLENK
Vizepräsidentin

Dipl.-Ing. Martin ROGENHOFER
Geschäftsführer

Exploring Xenobiotic Phase II Biotransformation in Human Samples by LC-MS/MS

Untersuchung der Phase II Biotransformation von Xenobiotika in Humanproben durch LC-MS/MS

Yasmin Fareed[1*], Dominik Braun[1], Mira Flasch[1], Daniel Globisch[2], Benedikt Warth[1]

Introduction

Humans are constantly exposed to xenobiotics through their external environment such as cosmetics, pollutants, food, consumer products, and medications. Long-term exposure towards some of these compounds might cause toxic, cancerogenic, mutagenic, and teratogenic effects (DENNIS et al. 2017). These environmental chemicals undergo biotransformation reactions after entering the human body. The metabolic reactions are divided into phase I metabolism, where the compounds are activated and phase II biotransformation where more polar groups are added to facilitate excretion (CROOM 2012). It is important to detect these metabolic products in human biomonitoring as they are potentially harmful. A common way to measure these metabolites is utilising enzymes to hydrolyse the conjugates before analysis (TAYLOR 2005). To investigate the most suitable enzyme mixture to determine phase II biotransformation, three β-glucuronidase and arylsulfatase mixtures from different sources were tested.

Materials and Methods

Enzymes: β-glucuronidase and arylsulfatase mixtures from *Helix pomatia*, from recombinant sources (BGS™), and from *Escherichia coli* combined with recombinant arylsulfatase (ASPC™).
Glucuronide and Sulfate Reference Standards: Quercetin-7-O-β-D-glucuronide, genistein-7-β-D-glucuronide, caffeic acid-3-β-D-glucuronide, daidzein-7-β-D-glucuronide, genistein-7-sulfate, kaempferol-3-O-glucuronide, estradiol-17-glucuronide, p-cresol-sulfate, estradiol-3-sulfate, 4-nitrocatechol sulfate, and phenolphthalein β-D-glucuronide.
Enzymatic Hydrolysis: Three tested matrices, breast milk, urine, and plasma were spiked with a mixture containing the above eleven glucuronide and sulfate conjugate reference standards. These samples were digested with the three β-glucuronidase and arylsulfatase mixtures mentioned above and compared to an untreated sample for each biological sample, respectively.
LC-MS/MS Parameters and Analysis: A previously validated method incorporating 86 xenobiotics from a previous study in our group (JAMNIK et al. 2022) was used where a 1290 Infinity II LC system (Agilent) coupled to a QTrap 6500+ mass spectrometer with a Turbo-V™ ESI (Sciex) was applied, with fast polarity switching in multiple reaction monitoring mode (MRM). MS/MS parameters and transitions of the eleven additional glucuronides and sulfates were derived from a previous study from our group (OESTERLE et al. 2022) and added to the method. An Acquity HSS T3 reversed-phase column (1.8 µm, 2.1 mm × 100 mm) together with a VanGuard pre-column (1.8 µm) both purchased from Waters were used for chromatographic separation. 0.3 mM of ammonium fluoride in LC-MS grade water was used as eluent A and acetonitrile was used as eluent B. 5 µL of sample was injected into the system at a flow rate of 0.4 mL/min. The column compartment and autosampler were maintained at constant temperatures of 40°C and 7°C, respectively.

Results and Discussion

The complete set of results can be found in FAREED et al. 2022. In the following section, we present a selection of key findings.

Table 1: **Activity levels of the enzymes in the samples standardised to reach similar levels based on the activities obtained from the enzyme assays, provided in units per millilitres.**

Enzyme	Activity in U/mL		
	BGS	*E. coli* / ASPC	*H. pomatia*
β-glucuronidase	212703	2000	2000
Arylsulfatase	24.5	7.8	24.5

Enzyme Comparison

The deconjugated samples of all three matrices, urine, plasma, and breast milk were analysed in triplicate to determine the most efficient enzyme to hydrolyse phase II metabolites. Based on figure 1, the signal increase of the deconjugated analytes after enzymatic cleavage was assessed. Overall, despite differences in enzyme activities determined in glucuronidase and sulfatase activity assays (Table 1), the three tested enzyme mixtures were able to deconjugate most metabolites in all three tested biological samples sufficiently in comparison to the undigested control, as shown in the student t-test illustrated in figure 1 for urine. Nevertheless, only *H. pomatia* and BGS recombinant were chosen for deconjugation in further experiments. This is due to the enzyme mixture ASPC and *E. coli* having no clear advantages (Figure 1) in hydrolysis efficiencies compared to the other tested enzymes and even required the combination of two enzymes.

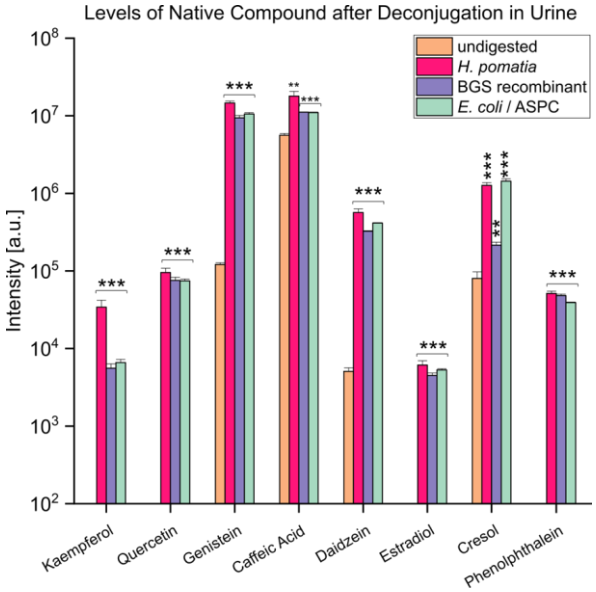


Figure 1: **Levels of deconjugated compounds in urine after hydrolysis with the three enzyme mixtures assessed: *H. pomatia*, BGS recombinant, and a mixture of *E. coli* with ASPC recombinant. Urine is used here as an illustration as it shows the most representative data for the performance of the three enzyme mixtures. Statistical significance was shown with a student t-test against the undigested control, p values below 0.05 were considered significant (n.s. p > 0.05, * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001).**

Background Contamination

In 38 out of the 86 analysed xenobiotics, contamination was found in both enzyme mixtures, mostly in plasticisers, phytoestrogens, and personal care products. *H. pomatia* was observed to be contaminated with 37 xenobiotics, while BGS recombinant only contained 28 xenobiotics. For most classes, the concentration of contamination in the enzyme mixture from *H. pomatia* was higher than in BGS recombinant. The background contamination of these enzymes may originate from the production of recombinant enzymes in cell culture and the extraction of the snail extract (BISWANGER et al. 2006). Phytoestrogens in particular, may originate from the plant-based feed for *H. pomatia* (GRACE and TEALE 2006). These lower contamination levels in BGS may be promising for the detection of trace levels in human biomonitoring studies in comparison to the natural *H. pomatia* extract.

Enzyme Efficiency in Biological Samples

Phase II conjugates are mostly excreted through urine due to the polarity of this biological sample. Hence, xenobiotic metabolites are often analysed in this biofluid (CROOM 2012). In this study, we were able to determine biotransformation products in other matrices, such as breast milk. A direct comparison was conducted in a short-term longitudinal breast milk study, where three different mothers collected urine and breast milk across five consecutive days. Here, 59 xenobiotics were detected in urine samples after deconjugation, whereas only 35 xenobiotics were found in breast milk, which clearly showed that most xenobiotic metabolites are excreted via urine. Nevertheless, biotransformation products were also found in breast milk samples, indicating that they may also be transferred to the infant. In urine samples,

the widely used *H. pomatia* enzyme mixture was clearly able to cleave more glucuronides and sulfates efficiently in comparison to BGS recombinant. However, both enzymes were able to deconjugate metabolites at similar levels, indicating that BGS recombinant could be an alternative for future experiments determining biotransformation products. When looking specifically at breast milk samples, BGS recombinant was able to produce higher concentration levels and detected analytes. As breast milk has a very complex nature which is high in fat, extraction efficiencies are generally lower in comparison to more polar, simple matrices such as urine. Hence, the lower contaminated BGS could provide a better alternative when investigating biotransformation products in comparison to *H. pomatia* with higher background signals in certain analytes of interest.

The presence of phase II metabolites in plasma have been reported in previous studies (PASSON et al. 2018) and confirmed with both enzyme mixtures through our biotransformation assay. In this matrix, the *H. pomatia* enzyme mixture was able to outperform BGS recombinant, detecting more parent compounds.

Despite the extremely high initial glucuronidase activity of BGS recombinant as stated in table 1, *H. pomatia* was able to cleave phase II metabolites most efficiently when looking at all three biological matrices. These discrepancies may be caused by the various isoforms of β-glucuronidases and arylsulfatases in the naturally occurring *H. pomatia* enzyme derived from the gastric juices of a burgundy snail. Synthetically produced enzyme mixtures such as BGS recombinant, ASPC recombinant and *E. coli* may only possess limited isoforms of enzymes possibly covering a smaller range of substrates, providing a less effective enzymatic cleavage (POLLET et al. 1993).

Conclusion

The performance of the β-glucuronidase and arylsulfatase enzyme mixtures, *H. pomatia*, BGS recombinant, and *E. coli* with ASPC recombinant was compared to determine the best enzyme mixture for a simple, fast, and efficient hydrolysis step. The enzyme mixture *H. pomatia* has been associated with many limitations, such as ethical reasons, possible incomplete hydrolysis, and contamination. Despite inherent background contamination, *H. pomatia* possessed the highest efficiency in cleaving conjugated analytes. Due to the nature and composition of breast milk, there are vast matrix effects complicating measurements especially with the highly contaminated *H. pomatia*. Thus, the less contaminated BGS recombinant may be a better choice for this matrix as indicated by the higher signals observed after deconjugation. The mixture of *E. coli* and ASPC displayed similar efficiencies as BGS recombinant in a preliminary experiment but was not included in further experiments, due to an extra treatment step and the costs involved. Biotransformation products are an essential part of the exposome and our comprehensive study highlights the importance of considering these metabolic products in all relevant biospecimens. Otherwise potentially harmful or beneficial exposures might be missed during analysis as they are masked. This investigation of multiple matrices on their biotransformation products would be a crucial tool to determine the total exposure in future exposome wide association studies.

Abstract

Phase II biotransformation involves the conjugation of polar functional groups to xenobiotics or their potentially activated phase I metabolites to be readily excreted by the body. The determination of these biotransformation products is essential in human biomonitoring, as the total exposure and the metabolism of contaminants in an individual can be monitored. In this study, three β-glucuronidase and arylsulfatase enzyme mixtures, namely *H. pomatia*, BGS recombinant, and *E. coli* with ASPC recombinant were compared to monitor the presence of phase II metabolites in urine, plasma and breast milk. In a preliminary experiment, *H. pomatia* was able to deconjugate glucuronides and sulfates in urine and plasma most efficiently. The recombinant enzymes BGS and *E. coli* with ASPC performed similarly, delivering more favourable results with breast milk. The choice of enzyme is highly compound and matrix dependent, but both recombinant and naturally produced enzymes have the potential to improve the coverage of biotransformation products in large-scale studies. An established LC-MS/MS method for over 80 xenobiotics allowed the investigation of the conjugation patterns in the different biofluids in

proof-of-principle experiments. The presence of phase II metabolites was confirmed in all three matrices including breast milk, with urine being the main excretion path of these biotransformation products.

References

BISWANGER C, DAVIS L, and ROBERTS R A (2006): Estrogenic impurities in tissue culture plastic ware are not bisphenol A. In: In vitro cellular & developmental biology. Animal, vol. 42, no. 10, pp. 294–297, doi: 10.1290/0608050.1.
CROOM E (2012): Metabolism of xenobiotics of human environments. In: Progress in molecular biology and translational science, vol. 112, pp. 31–88, doi: 10.1016/B978-0-12-415813-9.00003-9.
DENNIS K K et al. (2017): Biomonitoring in the Era of the Exposome. In: Environmental health perspectives, vol. 125, no. 4, pp. 502–510, doi: 10.1289/EHP474.
FAREED Y et al. (2022): A broad, exposome-type evaluation of xenobiotic phase II biotransformation in human biofluids by LC-MS/MS. In: Exposome 2 (1), osac008, doi: 10.1093/exposome/osac008
GRACE P B and TEALE P (2006): Purification of the crude solution from Helix pomatia for use as beta-glucuronidase and aryl sulfatase in phytoestrogen assays. In: Journal of Chromatography B, vol. 832, no. 1, pp. 158–161, doi: 10.1016/j.jchromb.2005.12.022.
JAMNIK T et al. (2022): Next-generation biomonitoring of the early-life chemical exposome in neonatal and infant development. In: Nature Communications 2022, vol. 13, Article number: 2653, doi: 10.1038/s41467-022-30204-y.
OESTERLE I, et al. (2022): Quantifying up to 90 polyphenols simultaneously in human bio-fluids by LC-MS/MS. In: Analytica Chimica Acta, vol. 1216, p. 339977, doi: 10.1016/j.aca.2022.339977.
PASSON M et al. (2018): Polyphenol Phase-II Metabolites are Detectable in Human Plasma after Ingestion of 13 C Labeled Spinach-a Pilot Intervention Trial in Young Healthy Adults. In: Molecular nutrition & food research, vol. 62, no. 10, e1701003, doi: 10.1002/mnfr.201701003.
POLLET R M et al. (1993): An Atlas of β-Glucuronidases in the Human Intestinal Microbiome. In: Structure, vol. 25, no. 7, 967-977.e5, 2017, doi: 10.1016/j.str.2017.05.003.
TAYLOR J I, GRACE P B, and BINGHAM S A (2005): Optimization of conditions for the enzymatic hydrolysis of phytoestrogen conjugates in urine and plasma. In: Analytical biochemistry, vol. 341, no. 2, pp. 220–229, doi: 10.1016/j.ab.2005.03.053.

Address of the Co-authors

[1]University of Vienna, Faculty of Chemistry, Department of Food Chemistry and Toxicology, Währinger Straße 38, 1090 Vienna, Austria

[2]Department of Chemistry-BMC, Science for Life Laboratory, Uppsala University, Box 599, SE-75124 Uppsala, Sweden

[*]Corresponding author: Yasmin FAREED, yasminfareed@hotmail.com

PLENARVORTRÄGE

Sind die Vorschläge der EU zu weiteren Restriktionen im Pflanzenschutz wissenschaftsbasiert?

Is the EU proposal to further restrict the use of pesticides science-based?

Andreas von Tiedemann

Historische Wohlfahrtseffekte des Pflanzenschutzes

Niemals zuvor haben auf unserem Planeten so viele Menschen so gesund, so gut ernährt und so lange gelebt wie heute. Dass alle wichtigen sozio-ökonomischen und medizinischen Indikatoren seit etwa 1960 global besser geworden sind, daran hat der Produktivitätsfortschritt der modernen Landwirtschaft einen erheblichen Anteil. War 1960 von 3 Mrd. Menschen noch jeder Dritte (34%) unzureichend mit Nahrungsmitteln versorgt, ist es heute bei 8 Mrd Menschen noch jeder Elfte (9%). Ein besonders markanter Parameter für die verbesserten Lebensverhältnisse ist die in den letzten Jahrzehnten gerade auch in den unterentwickelten Ländern gestiegene Lebenserwartung auf heute global über 72 Jahre. Diese bedeutenden Verbesserungen der Lebensverhältnisse der Menschen seit Mitte des 20. Jahrhunderts beruhen ganz wesentlich auf der Modernisierung der Landwirtschaft. Entscheidend waren dabei der Produktivitätsfortschritt und die dadurch möglichen quantitativen Ertragssteigerungen. Diese beruhen auf vier Technologie-Säulen: der Sortengenetik, der Nährstoffversorgung, der Anbau- und Erntetechnik und dem chemischen Pflanzenschutz.

Der moderne Pflanzenschutz sichert global und in der EU etwa 30% der Erträge bei den wichtigsten Nahrungspflanzen (Oerke, 2006; Keulemans et al., 2019). Ein Verzicht auf diese Leistung würde die Zahl der Hungernden von derzeit mehr als 800 Millionen auf 2,9 Mrd und die Hungerrate von 9% auf 37% erhöhen. Damit wäre der gesamte seit 1960 erzielte Fortschritt in der Hungerbekämpfung zunichtegemacht. Da Biologicals oder digitale Pflanzenschutz-techniken nur in wenigen Nischen Lösungen sein können und aussichtsreiche neue Biotechnologien entweder noch in den Kinderschuhen stecken (RNAi-Technik) oder durch rechtliche Rahmenbedingungen blockiert (Genom-Editierung) werden, stehen keine Alternativen zur Verfügung, die die Aufgaben des Pflanzenschutzes in der erforderlichen Breite übernehmen könnten. Der chemische Pflanzenschutz bleibt damit auf absehbare Zeit essentiell für eine nachhaltig-produktive Landwirtschaft und ist ohne Zweifel eine systemrelevante Zivilisationstechnologie, im Rang vergleichbar mit anderen essentiellen Technologien wie Medizin, Energieversorgung, Kommunikation und Mobilität.

Vorschlag der EU zur weiteren Einschränkung des Pflanzenschutzes

Dessen ungeachtet und trotz einer substantiellen Minderung der Umwelt- und Verbraucherrisiken durch Pflanzenschutzmittel in den letzten Jahrzehnten, ist die Skepsis gegenüber modernem Pflanzenschutz ungebrochen, was eine bedenkliche Entkopplung von gesellschaftlicher Wahrnehmung von der landwirtschaftlichen Realität anzeigt. Die Vorbehalte spiegeln sich im aktuellen Vorschlag der Generaldirektion für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit der EU zur weiteren Beschränkung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes wieder. Unterstützt wird diese Politik durch Studien, in denen allein die Existenz geringster Spuren von Substanzen zum Risiko erklärt wird, ohne dass relevante Wirksamkeiten dargestellt sind. Ungeachtet der vielen bereits erfüllten (und berechtigten) Anforderungen an Pflanzenschutzmittel, wie höhere Selektivität, schnellere Abbaubarkeit, geringere Anwendungsdosis und Toxizität, möchte SUR den Pflanzenschutz weiter einschränken, wodurch er als essentielles Produktionsmittel schrittweise immer ineffektiver wird und damit ein weiteres Argument gegen den Pflanzenschutz künstlich geschaffen wird.

Als Begründungen für die vorgeschlagene Novelle der Pflanzenschutzmittelanwendungs-Richtlinie (SUR) werden der Schutz der Gesundheit der Verbraucher und Anwender und des Naturhaushalts angeführt.

Die Begründungen können aus wissenschaftlicher Sicht nicht bestätigt werden. Nachdem das Argument gesunder Lebensmittel nicht mehr zutrifft, denn konventionelle Lebensmittel sind sicher, fokussiert die

Kritik jetzt auf Biodiversitätsverluste durch Pflanzenschutzmittel. Auch wenn dies zunächst plausibel erscheint, gibt es dafür keinen wissenschaftlichen Beleg. Interessanterweise gibt es keine einzige Schaderregerart, weder unter den Pathogenen, noch den Insekten oder Unkräutern, die selbst durch intensiven und langjährigen Pflanzenschutzmitteleinsatz aus dem Agrarökosystem verschwunden ist. In der Praxis ist das ganz einfach daran erkennbar, dass die gleichen Schaderreger jedes Jahr erneut reguliert werden müssen. Wenn aber selbst die Organismen, auf die Pflanzenschutzmittel direkt abzielen, als Arten nicht verloren gehen, dann ist ein Verlust von Nichtzielorganismen oder Organismen außerhalb der Behandlungsflächen nicht anzunehmen.

Moderne Pflanzenschutzmittel haben weder das Ziel, noch das Potenzial, Arten zu eliminieren. Nicht von ungefähr gibt es dafür auch keinen konkreten Beleg. Das leider zu wenig bekannte Konzept des chemischen Pflanzenschutzes besteht in der Herunterregulierung von Schaderregerpopulationen unter die wirtschaftliche Schadensschwelle, und zwar nur bis zur Ernte, nicht aber in deren Eliminierung.

SUR verfolgt berechtigte Ziele, denn gesunde Lebensmittel und eine belebte Umwelt sind grundsätzlich zu bejahen. Da sie aber auf einer falschen Grundannahme beruht, werden die erhofften positiven Wirkungen nicht eintreten, sondern ausschließlich negative Effekte. Wenn man Biodiversitätsverlusten entgegenwirken will, müssen die tatsächlichen Wirkfaktoren beachtet werden. Nach gegenwärtiger Kenntnislage liegen diese im Habitatzustand der Agrarlandschaft. Restriktionen des Pflanzenschutzmittel-einsatzes können keine Verminderung von Biodiversitätsverlusten bewirken, weil sie diese nicht verursachen.

Unberücksichtigt bleibt bei dem EU-Vorschlag auch der seit Jahrzehnten anhaltende, deutliche Rückgang von Risiken für Verbraucher- oder Anwender, sowie für den Naturhaushalt. So sind in der EU seit 1970 die Risiken durch Toxizität um >95% und durch Persistenz um etwa 55% zurückgegangen, während die Anwendungsdosis um etwa 60% gesunken ist (Fernandez-Cornejo et al., 2014). Das Umweltrisiko (nach SYNOPS-Bewertung) durch Fungizide, Insektizide und Herbizide ist zwischen 1996 und 2010 in Deutschland für terrestrische Organismen um 42-66% und für aquatische Lebewesen um 22-65% gesunken (Gutsche, 2012). Diese substantiellen Risikominderungen werden durch den Vorschlag nicht hinreichend berücksichtigt. Wichtiger ist aber, dass diese Verbesserungen nicht durch pauschale dirigistische Maßnahmen, sondern allein durch technischen Fortschritt und das bestehende strenge Zulassungsverfahren erreicht wurden. Aus wissenschaftlicher Sicht wird das Risiko der gegenwärtig eingesetzten Pflanzenschutzmittel somit systematisch überschätzt, während der positive Trend bei der Risikominderung, sowie die Wohlfahrtseffekte des Pflanzenschutzes hinsichtlich Erntesicherung und Produktivität, die essentiell für die Ernährungssicherung und die Schonung von Naturflächen sind, weitgehend ignoriert werden.

Agronomische, ökologische und ökonomische Konsequenzen weiterer Restriktionen im Pflanzenschutz

Während die erhofften positiven ökologischen Wirkungen der vorgeschlagenen Einschränkungen nicht eintreten werden, werden negative agronomische und sozio-ökonomische Effekte dominieren. Fehlende oder weniger effektive Mittel im Pflanzenschutz werden erhebliche Einschränkungen im Anbau mit sich bringen. Schaderreger bleiben eine Realität und die Evolution der Schadorganismen geht weiter. Invasive Arten, neue Pathogene und veränderte Virulenzen verursachen neue Pflanzenschutzprobleme. Ein Beispiel von vielen ist die Schilfglasflügelzikade, ein Rote-Liste-Insekt, welche plötzlich zum Überträger von Phytoplasmen wird, die in Zuckerrüben (SBR) und Kartoffel (Stolbur) schwere Erkrankungen auslösen. Unzureichender Pflanzenschutz gefährdet die Rentabilität von Blattkulturen wie Raps, Zuckerrübe, Kartoffel, Leguminosen und bedeutet in vielen Regionen das Ende von Sonderkulturen wie Gemüse, Obst, Wein und Hopfen.

Aber auch negative ökologische Effekte sind zu erwarten wie die Zunahme mechanischer Bodenbearbeitung mit negativen Effekten für Bodenleben und Erosionsschutz, der Rückgang des Zwischenfruchtanbaus aufgrund fehlender Regulierungsmethoden, die Zunahme von Wirkstoffresistenzen aufgrund eingeschränkter Mittelauswahl oder die Zunahme flächiger Insektizidanwendungen aufgrund des Beizverbots mit Insektiziden.

Weitere Einschränkungen im Pflanzenschutz werden keine Risikominderung bewirken, sondern vor allem negative sozio-ökonomische Effekte auf die landwirtschaftliche Produktion und die Profitabilität der Betriebe auslösen. Auf europäischer Ebene wird die SUR damit auch Auswirkungen auf die EU-Handelsbilanz mit Agrargütern und Lebensmitteln haben. Verschiedene Studien gehen hier von Produktionsrückgängen um etwa 20% aus (z.B. Bremmer et al., 2021). Als Folge ist zu erwarten, dass die EU in der Getreidehandelsbilanz vom Exporteur zum Importeur wird und die Weltgetreidemärkte erheblich belasten wird. Von den globalen Wettbewerbern wird dies sicher als Chance zur Steigerung ihrer Exporte angesehen werden, sofern sie durch Intensivierung und Flächenausdehnung dazu in der Lage sind, unter welchen ökologischen Standards auch immer. Länder mit geringerer Zahlungsfähigkeit, die schon jetzt stark von Lebensmittelimporten abhängen, werden das Nachsehen haben.

Eine nachhaltig produktive Pflanzenproduktion wird auch in Zukunft ohne effektiven Pflanzenschutz nicht möglich sein. Die Evolution der Schadorganismen geht weiter, invasive Arten kommen hinzu. Ersatztechnologien, die den gegenwärtigen Pflanzenschutz in Effizienz und Breite ersetzen können, gibt es nicht und ein solcher Ersatz ist auch perspektivisch nicht zu erkennen. Die weitere Einschränkung des Pflanzenschutzes steht den aktuellen und zukünftigen Herausforderungen der Ernährungssicherung diametral entgegen. Effektiver Pflanzenschutz als integraler Bestandteil des Integrierten Pflanzenschutzes wird noch auf lange Sicht Grundvoraussetzung für eine nachhaltig-produktive Pflanzenproduktion bleiben.

Literatur:

Bremmer, J., Gonzalez-Martinez, A., Jongeneel, R., Huiting, H., Stokkers, R. and Ruijs, M. (2021) Impact assessment of EC 2030 Green Deal Targets for sustainable crop production. Report 2021-150, Wageningen Economic Research.

Gutsche, V. (2012) Managementstrategien des Pflanzenschutzes der Zukunft im Focus von Umweltverträglichkeit und Effizienz. *Journal f. Kulturpflanzen* 64, 325-341.

Keulemans, W. et al. (2019) Farming without plant protection products. EPRS | European Parliamentary Research Service Scientific Foresight Unit (STOA) PE 634.416 – March 2019

Oerke, E.-C. (2006) Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43.

Fernandez-Cornejo, J., Nehring, R., Osteen, C., Wechsler, S., Martin, A. and Vialou, A. (2014) Pesticide Use in U.S. Agriculture: 21 Selected Crops, 1960-2008, EIB-124, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, May 2014. In: Phillips McDougall (2018) Evolution of the crop protection industry since 1960. Agribusiness intelligence, Informa, Vineyard Business Centre, Pathhead, Scotland, 2018.

Adresse des Autors

Abt. Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz, Department für Nutzpflanzenwissenschaften,
Fakultät für Agrarwissenschaften, Georg-August Universität Göttingen
Grisebachstrasse 6, 37077 Göttingen

Identifizierung und Nutzung essenzieller Gene von Pathogenen im HIGS- und SIGS-basierten Pflanzenschutz

Identification and employment of essential genes of pathogens for HIGS- and SIGS-based plant protection

Aysan Ghasemzadeh[1], Sven-Erik Behrens[1,*] und Holger B. Deising[2,*]

Einleitung

Seit vielen Jahren bestehen intensive gesellschaftliche und politische Bestrebungen darin, die Ausbringung chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel deutlich zu reduzieren und den ökologischen Landbau zu stärken. Das Paradox dieser Maßnahmen ist, dass trotz weltweit steigendem Bedarf an Nahrungsmitteln geringere Ernteerträge durch Reduktion chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel in Kauf genommen und kaum thematisiert werden (DEISING 2022). Der Rückgang dieser Pflanzenschutzmittel ist seit 1973 in Deutschland gut dokumentiert. Geht man davon aus, dass man für einen nachhaltigen Pflanzenschutz, in dem die Entstehung von Pestizidresistenzen in Schaderregern weitestgehend vermieden werden kann, drei Wirkstoffe aus unterschiedlichen Klassen mit unterschiedlichen *target sites* benötigt, so standen im Jahr 1973 für lediglich 510 von insgesamt 5.577 Interaktionen weniger al drei Mittel zur Verfügung. Im Jahr 2018 stieg diese Zahl auf 3.539 Interaktionen. Das entspricht mehr als 60% aller Interaktionen zwischen Kulturpflanzen und Schadorgenismen (OLIVEIRA-GARCIA et al. 2021). Bei der Frage nach einem sinnvollen und effizienten Schutz vor Pflanzenkrankheiten wird bei reduzierten Pflanzenschutzmitteln zumeist auf den Einsatz von Kupfer, den Einsatz antagonistischer Mikroorganismen und biotechnologische Methoden wie beispielsweise die Entwicklung Nukleinsäure-basierter Bekämpfungsmethoden verwiesen. Der Einsatz von Kupfer ist wegen des ökotoxikologischen Profils Kupfer-haltiger Substanzen problematisch (BURANDT et al. 2023; LA TORRE et al. 2018). Über die putativ signifikanten toxikologischen Risiken, die mit dem Einsatz antagonistischer Mikroorganismen verbunden sind, wurden auf der 76. ALVA-Tagung berichtet (DEISING 2022); siehe auch (DEISING et al. 2017). Der Nukleinsäure-basierte Pflanzenschutz wurde zunächst als *host-induced gene silencing* (*HIGS*) beschrieben. Dieses Verfahren nutzt gentechnisch modifizierte Pflanzen zum *silencing* (Stilllegung) essentieller Geneexpression in Schadorganismen. Aufgrund der Ablehnung gentechnisch veränderter Pflanzen wird heute versucht, die Expression essentieller Gene von Schaderregern durch aufgesprühte Nukleinsäuren, zumeist doppelsträngige RNAs (dsRNAs) auszuschalten. dsRNAs können inzwischen in großen Mengen zu akzeptablen Preisen chemisch oder mikrobiell synthetisiert werden, aber der Erfolg dieser Methoden wird in entscheidendem Maße von der Identifizierung essentieller Gene in Schadorgenismen, von der Herstellung effizienter dsRNAs und vor allem von der Fähigkeit der zu bekämpfenden Organismen abhängen, derartige Substanzen aufzunehmen. In diesem Artikel wird die Strategie der Entwicklung Nukleinsäure-basierter Pflanzenschutzmittel beschrieben. Der Stand der Anwendung der Methoden wird diskutiert.

Host-induced gene silencing

Das Labor von Dr. Patrick Schweizer am IPK Gatersleben hat nach Suszeptibilitätsgenen der Gerste gesucht. Um derartige Gene zu identifizieren, wurden RNAi-Konstrukte biolistisch in Gerstenepidermiszellen eingebracht, und nach Inokulation mit Konidien des Erregers des Gerstenmehltau-Pilzes (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) wurde die Virulenz quantifiziert. Solche Gene, deren *silencing* die Resistenz der Gerste erhöhte waren für die Herstellung resistenter Pflanzen von großem Interesse. Als Referenzgene, die vermeintlich keinen Effekt auf die Interaktion zwischen Gerste und Gerstenmehltau haben sollten, wurden Pilzgene verwendet. Die erstaunliche Entdeckung war, dass die Transformation der Gerste mit RNAi-Konstrukten gegen Transkripte bestimmter Pilzgene zu einer deutlichen Resistenz führte. Diese Daten führten zu dem Schluss, dass gegen pilzliche Transkripte gerichtete RNAi-Konstrukte von stabil in das pflanzliche Genom integrierten Pilzgenen, von einem konstitutiven Promotor getrieben, spezifische Resistenz gegen den Pilz vermittelt, aus dem das Gen stammt, das zur Erzeugung der RNAi Konstrukte verwendet wurde (Abb. 1).

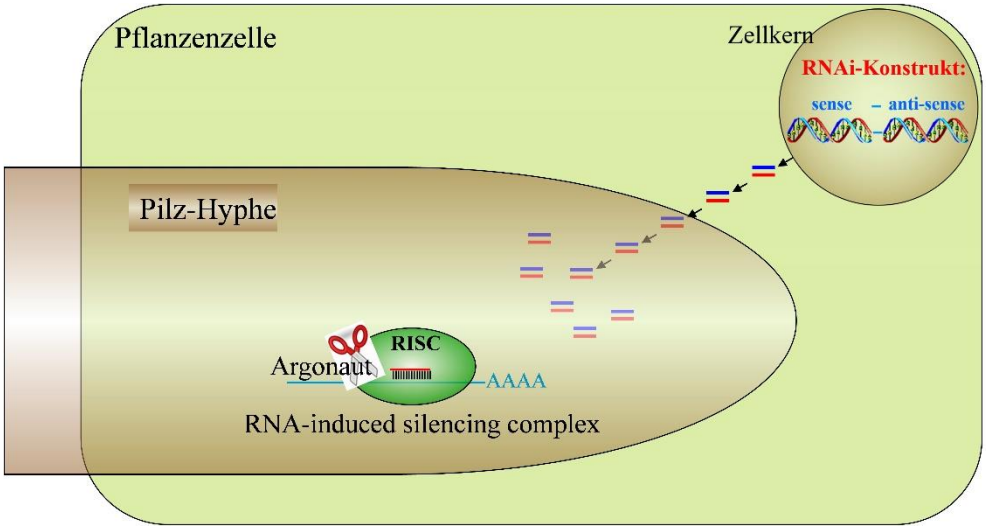


Abbildung 1: **Prinzip des *host-induced gene silencing*. Ein RNAi-Genkonstrukt, gerichtet gegen ein essentielles Gen des Pilzes, bestehend aus sense- und anti-sense-Strang, wird stabil in das pflanzliche Genom integriert. Die Transkripte bilden aufgrund ihrer komplementären Bereiche doppelsträngige RNAs, die von Doppelstrang-RNA-spezifischen RNAsen (Dicer) in kurze Fragmente, die sog. small interfering RNAs, siRNAs, geschnitten werden. Diese siRNAs werden in die Pilzhyphe aufgenommen und vom *RNA-induced silencing complex* (RISC) genutzt, um alle Transkripte im Pilz auf komplementäre Sequenzen zu screenen. Sobald eine komplementäre mRNA gefunden wurde, schneidet eines der Proteine des RISC, das als Argonaute bezeichnet wird, die mRNA. Da das RNAi-Konstrukt im Genom der transgenen Pflanze gegen ein essentielles pilzliches Gen gerichtet ist, werden die mRNAs dieses Gens detektiert und abgebaut (PRATT und MACRAE 2009). Der Pilz verliert die essentiellen Transkripte und wird inaktiviert.**

Identifizierung essentieller Gene des Maispathogens Colletotrichum graminicola

Pilzliche Zellwände geben den Zellen des Pathogens Struktur. Gene, die verantwortlich für die Synthese strukturgebende Kohlenhydrat-Polymere wie Chitin oder verzweigte β-1,3/1,6-Glucane sind, sind daher *per se* essentiell für invasives Wachstum und Pathogenität (DE OLIVEIRA SILVA et al. 2022). Aufgrund ihres essentiellen Charakters können zwar keine Deletionsmutanten mit Defekten in der β-1,3/1,6-Glucan-Synthese hergestellt und charakterisiert werden, aber die Charakterisierung derartiger Gene ist mittels RNAi-Ansätzen möglich. So wurden RNAi-Stämme des Maisanthracnose- und Stängelfäule-Erregers *C. graminicola* hergestellt, die ca. 1000 bp lange *hairpin* Konstrukte generierten, die komplementär zu den Transkripten des β-1,3-Glucan Synthase Gens *GLS1* waren (OLIVEIRA-GARCIA und DEISING 2013). RT-qPCR-Analysen belegten die Reduktion der Transkriptkonzentration des Gens und massive Zellwandschäden wurden in *GLS1*-RNAi-Stämmen anhand von Zellwandschwellungen in *in planta* differenzierten Infektionshyphen deutlich. Interessanterweise gab es eine klare Korrelation zwischen der Reduktion der *GLS1*-Transkriptabundanz und der Wachstumsinhibition (Abb. 2). Auch in Infektionsexperimenten zeigten *GLS1*-RNAi-Stämme so schwerwiegende Zellwanddefekte, dass diese Mutanten selbst auf verwundeten Maisblättern nicht in der Lage waren, Krankheitssymptome hervorzurufen (Abb. 2) (OLIVEIRA-GARCIA und DEISING 2013). In ähnlicher Weise wurden in *C. graminicola* die Transkriptabundanzen der β-1,6-Glucan Synthese Gene *KRE5* und *KRE6* mittels RNA Interferenz reduziert (OLIVEIRA-GARCIA und DEISING 2016). Wie erwartet, zeigten auch die *KRE5*- und *KRE6*-RNAi Stämme massive Hyphendeformationen (Abb. 3) und waren auf Maisblättern apathogen (OLIVEIRA-GARCIA und DEISING 2016). Die Untersuchungen von HIGS-Pflanzen, die *GLS1*-, *KRE5*- und *KRE6*-RNAi Konstrukte exprimierten, zeigten einerseits, dass es sich bei den hier getesteten β-Glucane Synthese Genen um essentielle Gene handelt, andererseits, dass die Etablierung effizienter HIGS-Pflanzen zur Ergänzung von Pflanzenschutzmaßnahmen bei Kulturpflanzen äußerst sinnvoll sind. Die Etablierung dieser Maßnahmen setzt jedoch voraus, dass die Transgentechnologie politische und gesellschaftliche Akzeptanz erfährt.

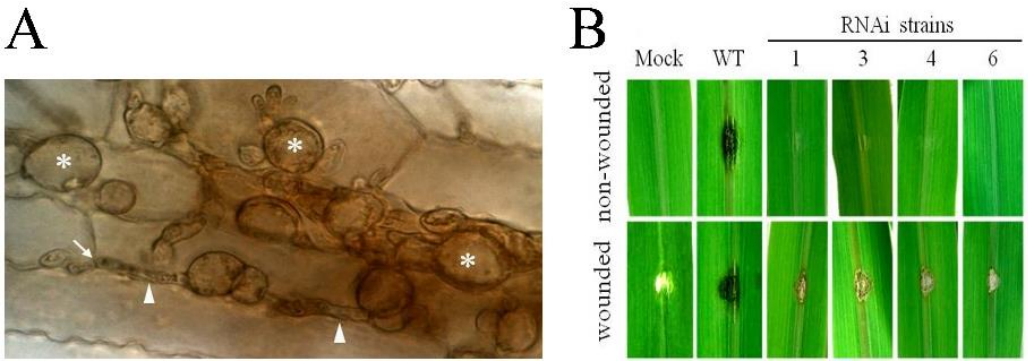


Abbildung 2: A. ***GLS1*-RNAi-Stämme bilden aufgrund zu geringer Zellwandfestigkeit blasige Hyphen (*), die durch kurze Stränge normaler Hyphen verbunden sind (Pfeilspitzen). Trotz der Defekte können Pflanzenzellwände durchwachsen werden (Pfeil).** B. **Im Gegensatz zum Wildtyp (WT) zeigen RNAi-Stämme auf intakten Maisblättern keine Symptome. Auf verwundeten Blättern entstehen nur marginal Verbräunungen.** Aus: OLIVEIRA-GARCIA und DEISING (2013).

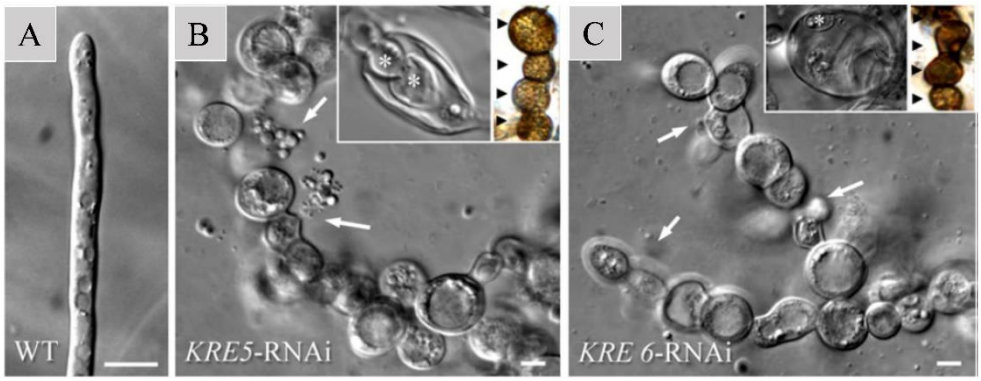


Abbildung 3: A**. Der Wildtyp (WT) Stamm von *C. graminicola* bildet normale vegetative Hyphen.** B, C. **Demgegenüber zeigen *KRE5*- und *KRE6*-RNAi-Stämme schwere Hyphen-Deformationen. Die Zellwanddefekte sind so gravierend, dass Cytoplasma austritt (Pfeile) und intrahyphale Hyphen gebildet werden (*). Zellwanddefekte werden durch starke Pigmentierung bestätigt (**B, C, **inserts, Pfeilköpfe).** Aus: OLIVEIRA-GARCIA und DEISING (2016).

Die Charakterisierung der β-Glucan Synthese Gene *GLS1*, *KRE5* und *KRE6* belegen die Funktionalität die RNAi Maschinerie in *C. graminicola*. Bei diesen Experimenten wurden die siRNAs jedoch in den Pilzzellen generiert, so dass die Transkript-Reduktion unabhängig von der Aufnahme der siRNAs aus dem umgebenden Medium erfolgte. Dass in der Tat siRNAs zwischen Pilz und seiner Wirtspflanze ausgetauscht werden, wurde am Beispiel des polyphagen Pathogens *Botrytis cinerea* gezeigt. Dieser Pilz sekretiert siRNAs in seine Wirte Arabidopsis oder Tomate, in denen dann durch Bindung der siRNAs an Argonaute-1 die RNAi-Maschinerie ausschaltet wird. Interessanterweise zeigten Arabidopsis *ago1*-Mutanten eine geringere Anfälligkeit gegenüber *B. cinerea*. Entsprechend zeigten *B. cinerea* Mutanten, die keine sRNAs produzieren konnten, sowohl auf Arabidopsis als auch auf Tomaten reduzierte Virulenz (Weiberg et al. 2013). Der *cross-kingdom transfer* von siRNAs ist also ein natürlicher Mechanismus zur Manipulation von Resistenz auf der Seite der Pflanze bzw. der Virulenz auf der des Pathogens.

Die Aufnahme von siRNAs aus der Pflanze in Hyphen des Pathogens wurde in Weizenpflanzen bestätigt, die mit einem *Barley stripe mosaic virus* (BSMV) Stamm inokuliert wurden. Dieser Stamm exprimiert *antisense*-Sequenzen gegen das β-1,3-Glucan Synthase Gens *GLS1* des pathogenen Pilzes *Fusarium culmorum* (BSMV:Gls1). Die nachfolgende Inokulation der Weizenpflanzen mit dem Pathogen *F. culmorum* führte, wie bei den *GLS1*-RNAi Stämmen von *C. graminicola* beobachtet, zur Bildung stark deformierter Hyphen (Abb. 3; vergleiche mit Abb. 2). Auch Weizenpflanzen mit stabil integrierten *hairpin* Konstrukten gegen das *GLS1* Gen zeigten entsprechende Hyphen-Veränderungen (Chen et al. 2016).

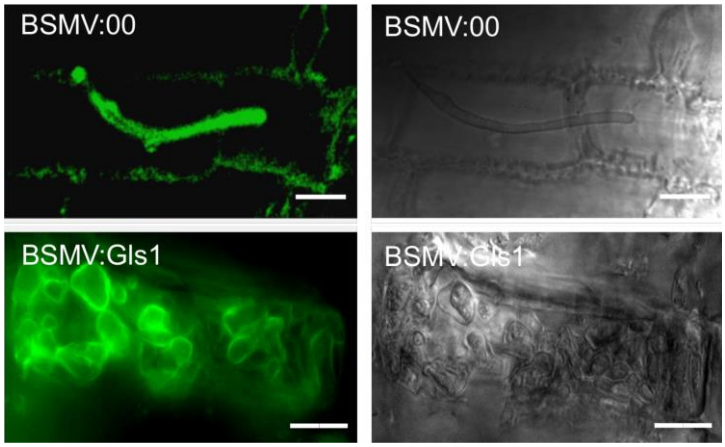


Abbildung 3: **Die Reduzierung der *GLS1* Transkriptabundanz in *F. culmorum*, vermittelt durch einen BSMV:Gls1 Stamm, führte zu deutlichen Veränderungen der Morphologie pathogener Hyphen. BSMV ohne *GLS1 antisense* Sequenzen (BSMV:00) diente als Kontrolle. Links, Weizenagglutinin-gefärbte Proben (konfokale Fluoreszenzmikroskopie); rechts, Hellfeldmikroskopie.** Aus: CHEN et al. (2016).

Der Transfer der siRNAs aus der Pflanze in die Pilzzelle beförderte die Annahme, HIGS sei als Strategie im Pflanzenschutz gegen verschiedene Pathogene anwendbar. In der Tat wurde diese Annahme durch HIGS Experimente zum *silencing* von Cytochrom P450 Lanosterol C14α-Demethylase (*CYP51*) Genen von *Fusarium graminearum* weiter unterstützt (KOCH et al. 2013). Die Expression eines 791 bp langen zu den drei *CYP51* Genen von *F. graminearum* (*CYP51A*, *CYP51B* und *CYP51*) komplementären dsRNA Fragments in Arabidopsis und Gerste führte zu einer starken Erhöhung der Resistenz gegenüber dem Pathogen. Die Inhibition des Pilzwachstums korrelierte mit den *in planta* gebildeten Produktion von siRNAs und der Reduktion der Transkriptabundanz der drei *CYP51* Gene (KOCH et al. 2013). Diese Arbeit zeigte ferner, dass durch die Zugabe des 791 bp langen dsRNA Fragments zu axenischen Kulturen des Pilzes das Wachstum mit einer IC_{50} von nur 1,2 nM (!) inhibierte wurde. Die Tatsache, dass der externe Zusatz von dsRNAs in hoch-effizienter Weise das Wachstum von *F. graminearum* inhibiert, ist bemerkenswert, denn es lässt vermuten, dass inhibitorische dsRNAs von vegetativen Hyphen aufgenommen werden. Das wiederum bietet die Chance, dsRNAs als Spezies-spezifische inhibitorische Agentien im Pflanzenschutz in Spray-Applikationen einzusetzen und so eine Alternative für den Pflanzenschutz mit chemisch-synthetischen Mitteln zu etablieren.

Spray-induced gene silencing (SIGS)

Die Tatsache, dass das Wachstum von *F. graminearum* durch externe Applikation eines dsRNA Fragments gegen drei *CYP51* Gene inhibiert wurde, weckte die Hoffnung auf die Etablierung eines Pflanzenschutz-Verfahrens, in dem inhibitorische dsRNAs auf Pflanzenoberflächen aufgebracht werden. Das Verfahren wurde in Analogie zu HIGS als *spray-induced gene silencing* (SIGS) bezeichnet. Kogel und MitarbeiterInnen zeigten zunächst in einem Kontroll-Experiment, dass die eGFP-Fluoreszenz in dem *eGFP*-exprimierenden *F. graminearum* Stamm Fg-IFA65$_{GFP}$ durch Aufbringen einer *GFP*-spezifischen 720 bp langen dsRNA (20 ng/µl) ausgelöscht wurde. Bedeutender Weise wurde zusätzlich gezeigt, dass durch Aufsprühen des oben beschriebenen 791 nt langen dsRNA Fragments, das gegen *CYP51A*, *CYP51B* und *CYP51C* des Pathogens gerichtet war, zwar kein vollständiger, aber doch ein weitgehender Schutz der Wirtsblätter vor der Pilzinfektion erreicht wurde (KOCH et al. 2016). Die Autoren verbanden diese Ergebnisse mit der Hoffnung, mit SIGS ein effizientes Pflanzenschutzverfahren zu etablieren.
Eine zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung von SIGS ist die Verfügbarkeit effizienter siRNAs (***e***siRNAs). Während des natürlichen und auch während des künstlich ausgeführten silencing mit dsRNAs entsteht eine Vielzahl von siRNAs, von denen aber nur wenige effektiv wirksam sind. Der Grund hierfür liegt in der starken Strukturierung der anvisierten Ziel-mRNAs (*target*-RNAs), die nur wenige „Angriffsstellen" für die siRNAs bieten. Die mit Argonaute-Proteinen assoziierten ***e***siRNAs binden an die verfügbaren „Angriffsstellen" und sind deshalb effizient im silencing. Neben der hohen Effizienz ist mit der Identifizierung von ***e***siRNAs auch die Spezifität für definierte essentielle mRNAs

eines Pathogens und die Spezifität für das zu bekämpfende Pathogen gegeben. Die Arbeitsgruppe von Sven-Erik Behrens hat eine Methode entwickelt, um effiziente ***e***siRNAs aus der Vielzahl anderer siRNAs heraus zu identifizieren. In einem *in vitro*-Verfahren mit einem Pflanzenzellysat (BY-2) wird zunächst aus einer doppelsträngigen RNA des Zielgens eine große Zahl (*pool*) von siRNAs generiert, von denen, wie oben ausgeführt, aber nur sehr wenige wirksam sind. Gleichzeitig werden in dem Zelllysat ein Argonaute Protein und die *target*-RNA hergestellt (Abb. 4A). Das Argonaute-Protein bildet RISC mit allen vorhandenen siRNAs, die Ziel-RNA wird aber nur dann geschnitten, wenn *e*siRNAs das Argonaute zu einer der oben beschriebenen „Angriffsstellen" leiten. In diesem Fall entstehen definierte Schnittprodukte der *target*-RNA (Abb 4B). Diese kann man dann mit einem next generation sequencing-Verfahren (RNA-seq.) sequenzieren, und aus der Art der Fragmente kann man auf die siRNA zurückschließen, die zur Generierung dieses Fragmentes geführt hat. Somit können die ***e***siRNAs identifiziert werden (Abb. 4).

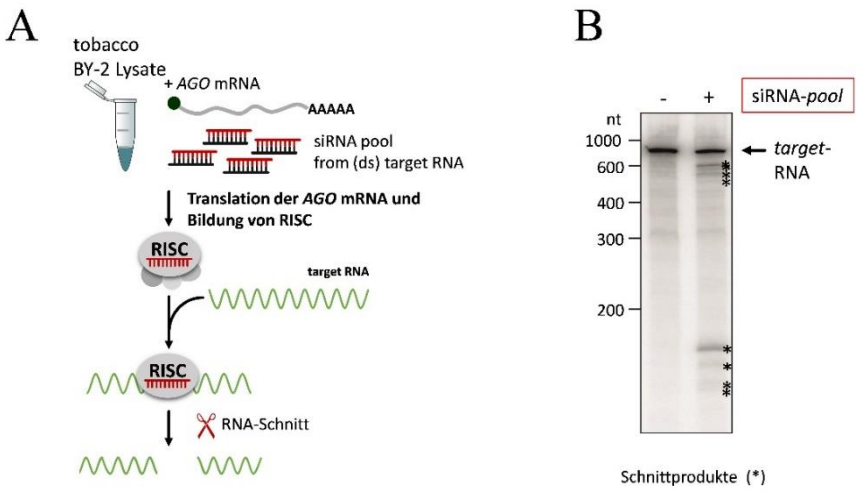


Abbildung 4: **Identifizierung *effizienter* siRNAs. Details siehe Text.**

Die auf diese Weise identifizierten ***e***siRNAs können auf ihre Effektivität im SIGS-basierten Pflanzenschutz getestet werden. Um zu prüfen, ob SIGS auch gegen andere Pathogene als *B. cinerea* und *F. graminearum* eingesetzt werden kann, wurden ***e***siRNAs gegen das β-1,6-Glucan Synthase Gen *KRE6* von *C. graminicola* hergestellt und in zahlreichen Wiederholungen getestet (Abb. 5). Die Ergebnisse zweier Infektions-Experimente auf Maisblättern mit unterschiedlichen Ergebnissen sind in Abb. 5 gezeigt.

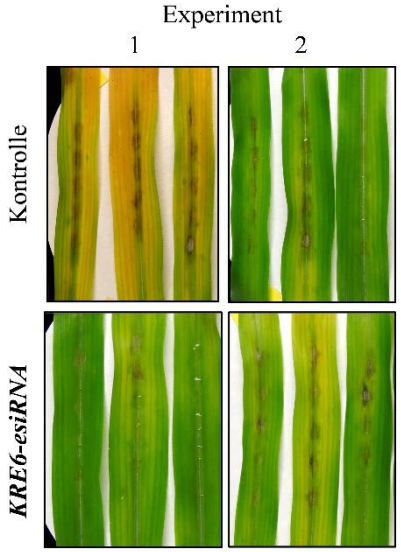


Abbildung 5: **SIGS mittels *e*siRNAs gegen *KRE6* von *C. graminicola*. Segmente des dritten Blattes zwei Wochen alter Maispflanzen wurden mit einer *e*siRNA gegen *KRE6* besprüht, 24 Stunden nach Sprühapplikation mit 10 µl Tropfen einer Konidiensuspension (6×10^5 Konidien/ml) inokuliert und nach weiteren drei Tagen fotografiert.**

Während in manchen Experimenten (Abb. 5, Experiment 1) die Symptomintensitäten auf Blättern, die mit *KRE6-**e***siRNAs behandelt waren, im Vergleich zu den Kontrollen in der Tat reduziert waren, konnte das in anderen Experimenten (siehe Abb. 5, Experiment 2) nicht reproduziert werden. Diese erhebliche Variabilität gab es nicht nur in Experimenten, in denen ***e***siRNAs gegen genetisch vorevaluierte Targets

eingesetzt wurden, sondern auch in Experimenten, in denen versucht wurde, mit *eGFP-**e***siRNAs die Bildung von funktionalem eGFP zu reduzieren. Das Fazit zahlreicher Experimente war, dass es in *C. graminicola* weder mit unterschiedlichen siRNAs noch mit optimierten ***e***siRNAs in reproduzierbarer Weise gelang, Krankheitssymptome auf Maisblättern zu reduzieren.

Die Ergebnisse, die bisher in unseren und in anderen Arbeitsgruppen mit SIGS erzielt wurden, zeigen, dass unterschiedliche Pathogene offenbar in deutlich unterschiedlicher Weise suszeptibel gegenüber siRNAs und sogar gegenüber optimierten ***e***siRNAs sind. Es ist denkbar, dass ausschließlich solche pathogenen Hyphen, die nach Invasion des pflanzlichen Gewebes auf die Aufnahme von Nährstoffen programmiert sind, kurze doppelsträngige RNAs aufnehmen können. So könnte man spekulieren, dass Infektionszellen, die auf der Pflanze gebildet werden, beispielsweise Keimschläuche und Appressorien, weder Nährstoffe noch siRNAs aufnehmen. Infektionshyphen, die erst nach erfolgreicher Penetration differenziert werden, könnten demgegenüber durchaus in der Lage sein, siRNAs aufzunehmen. Auch die Aufnahme von Spray-applizierten siRNAs durch die Pflanze mag sich von einer zur anderen Pflanzenart deutlich unterscheiden, so dass sich die intrazelluläre Konzentration dieser siRNAs und die Anwendbarkeit von SIGS von einem zum anderen Wirt-Pathogen-System deutlich unterscheiden können. Die deutlich unterschiedlichen Bekämpfungserfolge in unterschiedlichen Wirt-Pathogen-Systemen zeigen, dass erheblicher Optimierungsbedarf für diese Pflanzenschutzmaßnahme besteht. Eine Variante, dieses anzugehen, sind Formulierungen der siRNAs oder dsRNAs, z.B. durch kompatible Lipidkomplexe. Der Weg von hoch-definierten Laborbedingungen bis hin zur Feldanwendung wird darüber hinaus weitere Schwierigkeiten bereithalten. So kann man eher nicht davon ausgehen, dass wir in Kürze in der Lage sein werden, in aufwändigen Zulassungsverfahren geprüfte Fungizide durch RNAs zu ersetzen. Der Appell an die Politik ist, die Zulassung bewährter Pflanzenschutzmittel zu erhalten, gleichzeitig aber die Etablierung alternativer Methoden massiv zu fördern, bis diese in der landwirtschaftlichen Praxis sinnvolle Alternativen darstellen. Sichere Erträge benötigen einen Wissenschafts-basierten und keinen Ideologie-basierten Pflanzenschutz.

Zusammenfassung

Das *Host-Induced Gene Silencing* (HIGS) ist eine seit mehreren Jahren etablierte Methode, durch die in gentechnisch modifizierten Pflanzen siRNAs generiert werden, die in Pathogenen die Konzentrationen definierter Transkripte reduzieren. Werden mRNAs essentieller Gene eines Pathogens adressiert, kommt es in zahlreichen Fällen zu deutlich reduzierter Virulenz des Pathogens. Die Methode ist in nicht nur für den Pflanzenschutz, sondern auch für die Charakterisierung definierter Gene auch in obligat biotrophen Pathogenen in hervorragender Weise geeignet. Da gentechnisch veränderte Nutzpflanzen in Europa nicht angebaut werden, könnte die Anwendung des *Spray-Induced Gene Silencing* (SIGS) zu einer Option im Pflanzenschutz werden. Während erste viel versprechende Ergebnisse mit einigen Pathogenen vorliegen, hat sich diese Methode zur Kontrolle anderer Pathogene jedoch als bisher zu wenig reproduzierbar herausgestellt. Die weitere Optimierung dieser Methode ist zur Abschätzung der Praxistauglichkeit zwingend erforderlich.

Abstract

Since several years *Host-Induced Gene Sinencing* (HIGS) is an established method to reduce the concentration of defined transcripts in pathogens via genetically modified plants. Addressing essential mRNAs of given pathogens led to significant reduction of virulence in many cases. This method is not only excellently suited to protect plants, but also to analyze the function of genes of obligate biotrophs. As genetically modified crops cannot be grown in Europe, the employment of HIGS in plant protection is no option in plant protection. However, *Spray-Induced Gene Silencing* (SIGS) could be used as an alternative. While several promising data have been generated with some pathogens, the method has been proven insufficiently reproducible for others. Further experiments are required before final evaluation of this method is possible.

Literatur

BURANDT QC, DEISING HB, VON TIEDEMANN A (2023) Environmental and health risks caused by copper fungicides in crop protection, submitted.

CHEN W, KASTNER C, NOWARA D, OLIVEIRA-GARCIA E, RUTTEN T, ZHAO Y, DEISING HB, KUMLEHN J, SCHWEIZER P (2016) Host-induced silencing of *Fusarium culmorum* genes protects wheat from infection. J Exp Bot 67, 4979-4991.

DE OLIVEIRA SILVA A, ALIYEVA-SCHNORR L, WIRSEL SGR, DEISING HB (2022) Fungal pathogenesis-related cell wall biogenesis, with emphasis on the maize anthracnose fungus *Colletotrichum graminicola*. Plants 11, 849.

DEISING HB (2022) Pilzlicher Sekundärmetabolismus, biologischer Pflanzenschutz und Lebens-mittelsicherheit. Eine molekulargenetische Einschätzung. In: Bedlan G, Plenk A (eds.), 76. ALVA-Tagung: Makro- und Nanoplastik – vom Boden und Wasser auf den Teller. Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), Steiermarkhof, Graz, Austria, 276-280.

DEISING HB, GASE I, KUBO Y (2017) The unpredictable risk imposed by microbial secondary metabolites: How safe is biological control of plant diseases? J Plant Dis Prot 124, 413-419.

KOCH A, BIEDENKOPF D, FURCH A, WEBER L, ROSSBACH O, ABDELLATEF E, LINICUS L, JOHANNSMEIER J, JELONEK L, GOESMANN A, CARDOZA V, MCMILLAN J, MENTZEL T, KOGEL K-H (2016) An RNAi-based control of *Fusarium graminearum* infections through spraying of long dsRNAs involves a plant passage and is controlled by the fungal silencing machinery. PLoS Pathog 12, e1005901.

KOCH A, KUMAR N, WEBER L, KELLER H, IMANI J, KOGEL K-H (2013) Host-induced gene silencing of cytochrome P450 lanosterol C14α-demethylase-encoding genes confers strong resistance to *Fusarium* species. Proc Natl Acad Sci USA 110, 19324-19329.

LA TORRE A, IOVINO V, CARADONIA F (2018) Copper in plant protection: current situation and prospects. Phytopathol Mediterr 57, 201-236.

OLIVEIRA-GARCIA E, DEISING HB (2013) Infection structure-specific expression of β-1,3-glucan synthase is essential for pathogenicity of *Colletotrichum graminicola* and evasion of β-glucan-triggered immunity. Plant Cell 25, 2356-2378.

OLIVEIRA-GARCIA E, DEISING HB (2016) Attenuation of PAMP-triggered immunity in maize requires down-regulation of the key β-1,6-glucan synthesis genes KRE5 and KRE6 in biotrophic hyphae of *Colletotrichum graminicola*. Plant J 87, 355–375.

OLIVEIRA-GARCIA E, VON TIEDEMANN A, DEISING HB (2021) The measure mix matters: multiple-component plant protection is indispensable for coping with the enormous genome plasticity and mutation rates in pathogenic microorganisms. J Plant Dis Prot 128, 3-6.

PRATT AJ, MACRAE IJ (2009) The RNA-induced silencing complex: A versatile gene-silencing machine. J Biol Chem 284: 17897-17901.

WEIBERG A, WANG M, LIN FM, ZHAO HW, ZHANG ZH, KALOSHIAN I, HUANG HD, JIN HL (2013) Fungal small RNAs suppress plant immunity by hijacking host RNA interference pathways. Science 342, 118-123.

Adressen der Autoren

[1] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Professur für Phytopathologie und Pflanzenschutz, Betty-Heimann-Str. 3, D-06120 Halle (Saale), Deutschland

[2] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Biochemie und Biotechnologie, Proteinforschungszentrum „Charles Tanford“ Professur für Mikrobielle Biotechnologie, Kurt-Mothes-Straße 3a, D-06120 Halle (Saale), Deutschland

[*] Ansprechpartner: Prof. Dr. Holger B. Deising, holger.deising@landw.uni-halle.de
Prof. Dr. Sven-Erik Behrens, sven.behrens@biochemtech.uni-halle.de

Neue Wege in der Resistenzforschung: Mehr Immunität und weniger Anfälligkeit gegen

New routes to resistant crop plants: Enhanced immunity or reduced susceptibility to plant diseases

Ralph Hückelhoven

Einleitung

Chemischer Pflanzenschutz funktioniert oft nur lückenhaft, kann unerwünschte Effekte auf Nicht-Zielorganismen haben und ist gesellschaftlich zunehmend weniger toleriert. Unter anderem diese Gründe bewirken eine zunehmend restriktive Haltung politischer Entscheidungsgremien auf nationaler und internationaler Ebene, die dazu anhält, den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel massiv einzuschränken. In diesem Zusammenhang ist die Wissenschaft aufgerufen, in Forschung und Entwicklung neue Wege zu zeigen, die eine Beitrag leisten könnten, diese Ziele zu erreichen. Neben Mikroben- und RNA-basierten Kontrollmechanismen und sensorgestützten Teilflächenapplikationen können auch neue genetische Verfahren dazu beitragen, Pflanzen besser vor Krankheiten zu schützen, so dass weniger chemische Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden müssen. Im Folgenden werde ich Beispiele solcher neuen und neuartigen Methoden aufzeigen und diskutieren.

Pflanzliche Immunität

Es ist seit Jahrzehnten bekannt, dass von pathogenen Mikroben stammende Komponenten von Pflanzen erkannt werden und Abwehrreaktionen auslösen (Saur und Hückelhoven 2021). Einige dieser Erregerkomponenten, die als Elizitoren bezeichnet werden, sind heute gut charakterisiert. Elizitoren werden in verschiedene Klassen unterteilt. Eine Klasse umfasst die so genannten Mikroben- oder Pathogen-assoziierten molekularen Muster (M/PAMPs), bei denen es sich um Elizitormoleküle handelt, die von einer ganzen Gruppe von Mikroben einschließlich nicht-pathogenen Mikroben freigesetzt werden. Eine zweite Klasse umfasst so genannte Effektoren, die spezifisch für bestimmte Erregerarten oder Erregerrassen sind. Effektoren haben für den Erreger die Funktion, pflanzliche Funktionen zu manipulieren, um die Virulenz des Erregers zu fördern. M/PAMPs haben oft strukturelle Funktionen, können aber auch von konservierten Pathogenitätsfaktoren stammen (Saur and Hückelhoven 2021).

M/PAMPs werden im pflanzlichen Apoplast in der Regel durch Transmembranproteine, sogenannte Mustererkennungsrezeptoren, die als Pathogensensoren fungieren, erkannt (Abb. 1). Der Pilzzellwandbestandteil Chitin ist ein prominentes Beispiel für ein pilzliches M/PAMP. Die Erkennung von M/PAMPs durch Mustererkennungsrezeptoren aktiviert eine Signalkette, die pflanzliche Abwehrprozesse in Kraft setzt, so dass der Zustand einer "*pattern-triggered immunity* (PTI)" erreicht wird. Dieser aktivierte Zustand zusammen mit vorgeformten Abwehrmechanismen der Pflanze ist ausreichend, um die Mehrheit potenzieller Erreger abzuwehren.

Mikrobielle Krankheitserreger müssen die PTI überwinden, um erfolgreich zu sein. Sie erreichen das mit Hilfe sogenannter Effektoren, die eine Wirkung auf die Pflanze aber nicht auf das Pathogen erzielen. Ist ein Erreger an eine Pflanze als Wirt angepasst, so besitzt er die passenden Effektoren als Werkzeuge, die ihm erlauben, PTI zu unterdrücken. Andere passende Effektoren zielen auf Anfälligkeitsfaktoren der Pflanzen und steuern pflanzliche Prozesse so um, dass der Erreger in seiner Entwicklung aktiv von der Pflanze unterstützt wird. Insgesamt provozieren die Effektoren so eine anfällige Reaktion der Pflanze (ETS oder *effector-triggered susceptibility*, Abb. 1).

Der lokale Zelltod, der auch als Hypersensitive Reaktion bezeichnet wird und während der Infektion der Pflanze mit biotrophen Pathogenen ausgelöst wird, ist in der Regel das Ergebnis der Erkennung von Effektoren durch Immunrezeptoren, die von Resistenzgenen (*R*) kodiert werden (häufig NB-LRRs für nukleotidbindende leucinreiche Wiederholungsrezeptoren, Abb. 1). Der Zelltod ist wahrscheinlich in hohem Maße daran beteiligt, die Invasion von biotrophen Erregern zu stoppen, da diese Erreger unbedingt lebende Wirtszellen zur Vermehrung benötigen. Die starke Einschränkung der Infektion durch die Funktion eines R-Proteins ist als rassenspezifische Resistenz bekannt und wird auch als *effector-triggered immunity* (ETI) bezeichnet. ETI ist durch den lokalen Zelltod gekennzeichnet, beinhaltet aber auch

viele PTI-typische Abwehrreaktionen, die in der ETI stärker ausfallen (Abb. 1). Die Erregerrassenspezifität der ETI rührt dabei daher, dass Effektoren genetisch divers und nicht in jeder Erregerrasse gleich vertreten sind. Gleichermaßen besitzt jeder Pflanzengenotyp (Kultivare oder Ökotypen) eine andere Zusammensetzung von *R*-Genen und deren Allele. PTI beinhaltet also eine vergleichsweise schwächere aber durch viele Erreger ausgelöste Abwehr, während ETI sehr effektiv aber spezifisch für wenige Erregerrassen ist (Saur und Hückelhoven 2021).

Immunverstärkung durch komplettere Erkennung der Erreger

Sowohl in der unspezifischen PTI als auch der spezifischen ETI spielen Erkennungsprozesse von Erregermolekülen (M/PAMPs oder Effektoren) eine Schlüsselrolle zur Auslösung effektiver Abwehrreaktionen. Mit zunehmendem Wissen um die Mechanismen und Kenntnis der zugrundeliegenden Gene können die kreuzungsbasierte oder die gentechnikbasierte Pflanzenzüchtung heute gezielt Mustererkennungsrezeptoren oder *R*-Gene nutzen, um das Erkennungspotenzial von Nutzpflanzen zu komplettieren (Abb. 1B und 1C). Es können zum Beispiel Mustererkennungsrezeptoren aus Modellpflanzen in Kulturpflanzen eingebracht werden, so dass diese ein breiteres Spektrum verschiedener M/PAMPs erkennen. Da die Signalübertragung und die nachgeschaltete Abwehr universal sind, funktionieren solche Ansätze tatsächlich vom Labor bis in die Anwendung im Feld (Lacombe et al. 2010; Kunwar et al. 2018; Ranf 2018). Auch eine Übertragung zwischen näher verwandten Pflanzenarten oder innerhalb einer Art kann effektiv sein. Vom Ansatz ähnlich funktioniert die Ansammlung verschliedener rassenspezischer *R*-Gene in einem Nutzpflanzenkultivar. Hierbei ergänzen sich verschiedene spezifische Erkennungsrezeptoren zu einem Netz aus sich ergänzenden Funktionen, so dass schließlich alle bekannten Erregerrassen erkennt werden (Luo et al. 2021). Über diese Ansätze hinaus hat das tiefe Verständnis der *R*-Gen Funktionsmechanismen in letzter Zeit Möglichkeiten geschaffen, auch neue Erkennungsmechanismen gezielt zu entwerfen und in Funktion zu setzen (Kim et al. 2016; Förderer et al. 2022; Kourelis et al. 2023).

Immunverstärkung durch weniger Unterstützung der Erreger

Unser Verständnis der Krankheitsanfälligkeit hat in den letzten 20 Jahren große Fortschritte gemacht, und damit wurde die Anfälligkeit zum Ziel von Züchtungs- und gezielten Mutageneseansätzen (Engelhardt et al. 2018). Ursprünglich wurde dieses Forschungsgebiet durch genetische Ansätze vorangetrieben, die die Gene identifizierten, die einer rezessiv vererbten Resistenz zugrunde liegen, wie z. B. die *mlo*-Mehltauresistenzgene bei Gerste. Heute wird zunehmend anerkannt, dass Anfälligkeitsfaktoren über verschiedene Wirkungsweisen zur Krankheitsentwicklung beitragen, wobei die Erreger oft direkt oder indirekt in die pflanzliche Physiologie eingreifen (Abb. 1). Mutanten mit fehlenden oder veränderten Anfälligkeitsfaktoren zeigen häufig weniger Unterstützung der Erreger und damit weniger Krankheitsentwicklung. Die physiologische Rolle von Anfälligkeitsfaktoren in ihren Wirten bedeutet, dass Anfälligkeitsfaktormutanten in ihrer Leistung beeinträchtigt sein können und sich manchmal nur schwer in Zuchtprogrammen einsetzen lassen. Der Einsatz von konventionellem TILLING (*Targeting Induced Lesions In Genomes*) oder Allelsuche in ursprünglichen Verwandten unserer Kulturpflanzen ermöglicht aber heute eine Aufdeckung nützlicher genetischer Diversität, so dass die besten Anfälligkeitsallele durch den Züchter selektiert werden können. Gezielte Mutagenese-Ansätze mit Endonukleasen (auch mikroinvasive Genscheren genannt) könnten zusätzlich Alleldiversität schaffen und so den Weg für eine effiziente Umwandlung von Anfälligkeit in Resistenz ebnen (Engelhardt et al., 2018). In der Tat wurde gezeigt, dass eine breite *mlo*-Mehltau Resistenz in hexaploidem Weizen durch gezielte Nuklease-vermittelte Mutagenese (Wang et al. 2014; Li et al. 2022), aber auch durch Selektion der richtigen Allele aus TILLING Bibliotheken ohne unerwünschte Nebeneffekte etabliert werden kann (Acevedo-Garcia et al. 2017). Auch eine breite Resistenz gegen bakterielle Erreger der Weißblättrigkeit im Reis konnte erzielt werden, ohne dass die Pflanzen weniger leistungsfähig waren (Oliva et al. 2019). Solche Ansätze zeigen fließende Übergänge zwischen natürlicher Immunität, ihrer Nutzung durch den informierten Pflanzenzüchter und gezielten mikroinvasiven biotechnologischen Ansätzen um Pflanzen weniger anfällig zu machen.

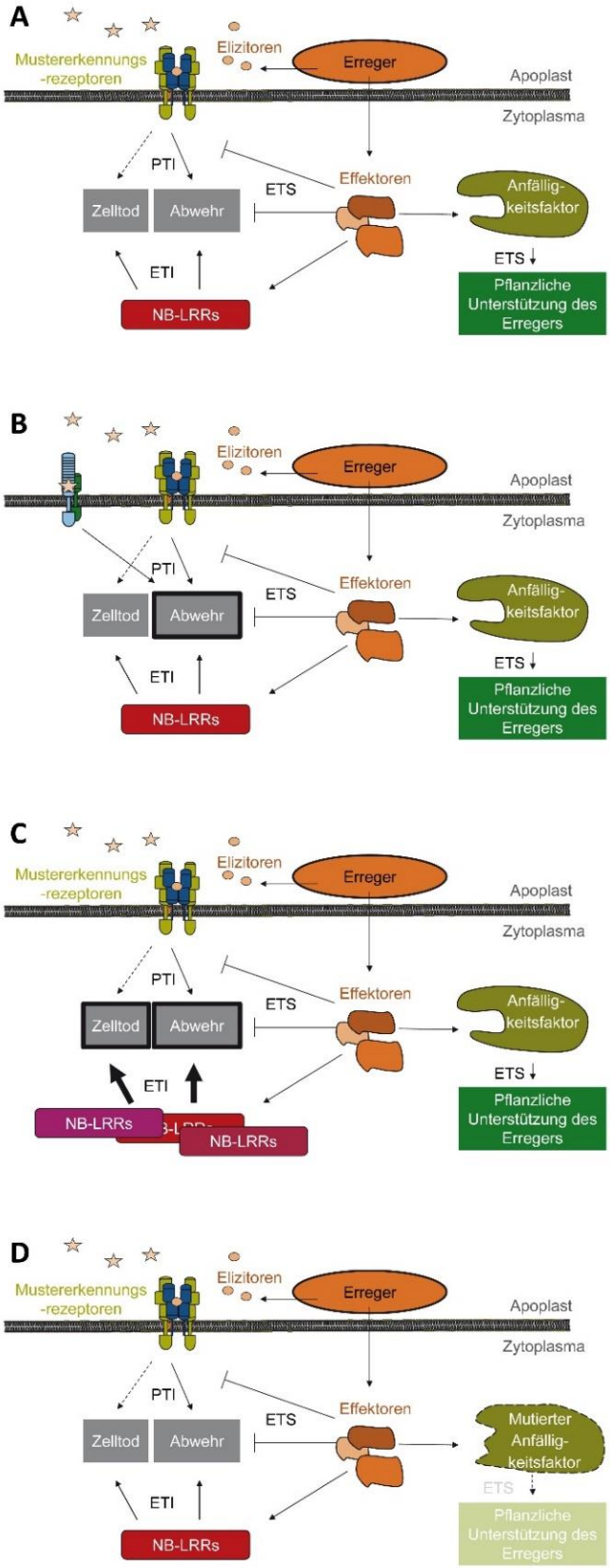


Abbildung 1: **Modell der pflanzlichen Immunität auf zellulärer Ebene. A) Grundzustand pflanzlicher Immunität und ihre Überwindung durch Effektoren der Erreger. B) Erhöhte Immunität durch Addition zusätzlicher Mustererkennungsrezeptoren. C) Erhöhte Immunität durch Addition zusätzlicher NB-LRR Rezeptoren von Effektoren der Erreger. D) Verringerte Anfälligkeit durch Veränderung/Mutation von Anfälligkeitsfaktoren (Abbildung verändert nach Saur und Hückelhoven, 2021).**

Implementation neuer Methodik in den Integrierten Pflanzenschutz

Die konventionelle Pflanzenzüchtung (inklusive vieler hier nicht diskutierter Ansätze), klassische Gentechnik und neue mikroinvasive Züchtungsmethoden sind heute in der Lage, in vergleichsweise kurzer Zeit neue krankheitsresistente Kulturpflanzen für die Anwendung zur Verfügung zu stellen. Dieses Potenzial wird in Europa nur unvollständig genutzt. Die öffentliche und politische Wahrnehmung neuer Technologien ist zurzeit wenig innovationsfreundlich und hat in den letzten Jahren zu einer Hemmung anwendungsorientierter Forschung auf diesem Gebiet geführt. Daher ist der tatsächliche Beitrag, den neue Technologien leisten könnten, um chemischen Pflanzenschutz weniger notwendig zu machen, schwer einschätzbar. Im Einzelfall sollte er aber erheblich sein, da Lösungsansätze für verschiedene Krankheiten in den Köpfen und Schubladen bereitliegen und der Nachweis der Machbarkeit oft schon erbracht ist. Für eine Abschätzung des langfristigen Potenzials solcher Innovationen sollte man aber das Gesamtgefüge von Krankheitsprogressionen im Feld im Auge behalten. Die meisten züchterischen und biotechnologischen Ansätze erreichen Resistenzen gegen einzelne Krankheiten oder Gruppen von Erregern. Völlig krankheitsresistente und gleichzeitig ertragsstabile Pflanzen existieren noch nicht, auch nicht im Labor. Neue Resistenzen versprechen daher keine Allheilmittel zu sein und auch eine Anpassung der Erreger und eine zukünftige Überwindung der verbesserten Resistenzen ist nicht auszuschließen (Engelhardt et al. 2018; Luo et al. 2021). Hier bleibt also nach derzeitigem Stand der Technik eine Flanke offen. Aus diesem Grund muss konventionelle oder "neue" Genetik immer in das Konzept des integrierten Pflanzenschutzes eingebaut werden. Das gilt gleichermaßen für konventionellen und ökologischen Anbau. Die protektive Einschränkung des Erregerpotenzials mit pflanzenbaulichen Maßnahmen, die Diagnostik und ihre zunehmende Genauigkeit (z.B. durch Sensortechnologien) und die Integration von Standort-, Sorten-, Erreger- und Wetterdaten in zunehmend intelligente Entscheidungshilfen haben ein hohes Potenzial zur Einschränkung von Anwendungshäufigkeiten und Aufwandmengen (z.B. durch Teilflächenapplikation). Dieses Potenzial kann durch spezifische Weiterentwicklung gefördert werden. Intergierte Maßnahmen schützten die Umwelt, den Ertrag und den wirtschaftlichen Erfolg des Landwirtes. Die Krankheitsresistenz schränkt dabei das Erregerpotenzial effektiv ein. Sie verstärkt das natürlich vorhandene Abwehrpotenzial der Kulturpflanzen. Dieses Potenzial sollte bestmöglich genutzt und als der vielleicht stärkste Pfeiler des integrierten Pflanzenschutzes genutzt werden. Umgekehrt erschwert eine unvollständige Nutzung dieses Potenzials das Erreichen der hohen Ziele in Bezug auf die Reduktion der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel. Das gilt insbesondere dann, wenn Menge und Qualität des Ernteguts auf vergleichsweise hohem Niveau zu halten oder weiter zu steigern sind, wie von der FAO empfohlen.

Zusammenfassung

Chemischer Pflanzenschutz funktioniert oft nur lückenhaft, kann unerwünschte Effekte auf Nicht-Zielorganismen haben und ist gesellschaftlich zunehmend weniger toleriert. Mit der Akkumulation von grundlegenden Kenntnissen der pflanzeneigenen Immunität zeigen sich neue Möglichkeiten, Kulturpflanzen über Behandlung und neue Züchtungsmethoden resistenter gegen Pflanzenkrankheiten zu machen. Im Vordergrund stehen dabei die Übertragung von Immunsensoren über transgene Ansätze oder die klassische und transgene Pyramidisierung von rassenspezifischen Resistenzgenen. Ein neuer, alternativer Ansatz ist die Immunisierung von Pflanzen über die Mutagenese von Anfälligkeitsgenen. Anfälligkeitsgene kodieren pflanzliche Komponenten, die dem Krankheitserreger in der Interaktion mit der Pflanze zum Vorteil gereichen. Natürlich vorkommende vollständige oder teilweise Funktionsverlustmutanten sind entsprechend resistenter gegen die jeweiligen Krankheiten. Die zunehmende Kenntnis solcher Anfälligkeitsgene und ihrer Funktionen macht es nun möglich, diese gezielt zu nutzen, indem man genetische Variation in Zuchtmaterial findet oder herbeiführt. Letzteres geschieht klassisch über Mutationszüchtung oder neuerdings über zielgerichtete Endonukleasen, die als Genscheren minimalinvasiv in Genome eingreifen. Der Beitrag diskutiert dazu aktuelle Beispiele aus Forschung und Entwicklung sowie Chancen und Grenzen dieser Ansätze.

Abstract

Chemical crop protection often works incompletely, can have undesirable effects on non-target organisms, and is increasingly less tolerated by society. With the rise of fundamental knowledge on plant

immunity, new opportunities emerge to make crops more resistant to plant diseases via treatments and new breeding methods. One corresponding focus is on the transfer of immune receptors via transgenic approaches or classical and transgenic stacking of race-specific resistance genes. A new, alternative approach is the immunization of plants via mutagenesis of susceptibility genes. Susceptibility genes encode plant components that are advantageous to the pathogen in its interaction with the plant. Naturally occurring complete or partial loss-of-function susceptibility mutants are correspondingly more resistant to the respective diseases. Increasing knowledge of susceptibility genes and their functions now makes it possible to exploit them specifically by finding or inducing genetic variation in breeding material. The latter is done classically via mutation breeding or more recently via targeted endonucleases, which act as gene scissors to intervene minimally invasively in genomes. The contribution discusses current examples from research and development and some opportunities and limitations of these approaches.

Danksagung

Die wissenschaftliche Tätigkeit im Labor von Ralph Hückelhoven wird zurzeit dankenswerterweise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz unterstützt.

Literatur

ACEVEDO-GARCIA J, SPENCER D, THIERON H, REINSTADLER A, HAMMOND-KOSACK K, PHILLIPS AL, PANSTRUGA R (2017): mlo-based powdery mildew resistance in hexaploid bread wheat generated by a non-transgenic TILLING approach Plant Biotechnol J 15, 367-378.

ENGELHARDT S, STAM R, HÜCKELHOVEN R (2018): Good Riddance? Breaking Disease Susceptibility in the Era of New Breeding Technologies Agronomy 8, 114

FÖRDERER A, LI E, LAWSON AW, DENG YN, SUN Y, LOGEMANN E, ZHANG X, WEN J, HAN Z, CHANG J ET AL. (2022): A wheat resistosome defines common principles of immune receptor channels Nature 610, 532-539.

KIM SH, QI D, ASHFIELD T, HELM M, INNES RW (2016): Using decoys to expand the recognition specificity of a plant disease resistance protein Science 351, 684-687.

KOURELIS J, MARCHAL C, POSBEYIKIAN A, HARANT A, KAMOUN S 2023 NLR immune receptor-nanobody fusions confer plant disease resistance Science 379, 934-939.

KUNWAR S, IRIARTE F, FAN Q, EVARISTO DA SILVA E, RITCHIE L, NGUYEN NS, FREEMAN JH, STALL RE, JONES JB, MINSAVAGE GV ET AL (2018): Transgenic Expression of EFR and Bs2 Genes for Field Management of Bacterial Wilt and Bacterial Spot of Tomato Phytopathology 108, 1402-1411.

LACOMBE S, ROUGON-CARDOSO A, SHERWOOD E, PEETERS N, DAHLBECK D, VAN ESSE HP, SMOKER M, RALLAPALLI G, THOMMA BP, STASKAWICZ B ET AL. (2010): Interfamily transfer of a plant pattern-recognition receptor confers broad-spectrum bacterial resistance Nat Biotechnol 28, 365-369.

LI SN, LIN DX, ZHANG YW, DENG M, CHEN YX, LV B, LI BS, LEI Y, WANG YP, ZHAO L ET AL. (2022): Genome-edited powdery mildew resistance in wheat without growth penalties Nature 602, 455-460.

LUO M, XIE L, CHAKRABORTY S, WANG A, MATNY O, JUGOVICH M, KOLMER JA, RICHARDSON T, BHATT D, HOQUE M ET AL. (2021): A five-transgene cassette confers broad-spectrum resistance to a fungal rust pathogen in wheat Nat Biotechnol 39, 561-566

OLIVA R, JI C, ATIENZA-GRANDE G, HUGUET-TAPIA JC, PEREZ-QUINTERO A, LI T, EOM JS, LI C, NGUYEN H, LIU B ET AL. (2019): Broad-spectrum resistance to bacterial blight in rice using genome editing Nat Biotechnol 37,1344-1350.

RANF S (2018): Pattern Recognition Receptors—Versatile Genetic Tools for Engineering Broad-Spectrum Disease Resistance in Crops Agronomy 8, 134.

SAUR IML, HÜCKELHOVEN R (2021): Recognition and defence of plant-infecting fungal pathogens J Plant Physiol 256: 153324.

WANG Y, CHENG X, SHAN Q, ZHANG Y, LIU J, GAO C, QIU JL (2014): Simultaneous editing of three homoeoalleles in hexaploid bread wheat confers heritable resistance to powdery mildew Nat Biotechnol 32, 947-951.

Adressen der Autoren

[1] Lehrstuhl für Phytopathologie, TUM School of Life Sciences, Hans Eisenmann-Forum für Agrarwissenschaften, Technische Universität München, Emil-Ramann Straße 2, 85354 Freising-Weihenstephan

[*] Ansprechpartner: R. HÜCKELHOVEN, hueckelhoven@tum. de

Molekulare und spektrale Erkennung von Pathogenen kombiniert mit dem Einsatz von Biologicals

Molecular and Spectral Detection of Pathogens Combined with the Use of Biologicals

Ralf Thomas Voegele*

Einleitung

Eine möglichst frühzeitige Erkennung von Pflanzenkrankheiten stellt eine wesentliche Stellschraube für die Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes dar. Klassischerweise erfolgt eine Bewertung des Befalls durch visuelle Bonitur des Bestandes. Diese Methode ist allerdings sehr subjektiv und hängt stark von der Erfahrung der durchführenden Personen ab. Außerdem kann die visuelle Bonitur erst erfolgreich sein, wenn erste Symptome einer Krankheit bereits deutlich erkennbar sind. Die für eine erfolgreiche Bekämpfung wichtige Latenzphase eines Pathogenbefalls kann so nicht erfasst werden. Molekulare oder spektrale Nachweisverfahren können hier eine entscheidende Verbesserung bringen (HINZE *et al.* 2016, MAHLEIN 2016). Sie sind zumindest teilweise in der Lage Erkrankungen von Pflanzen aufzuzeigen bevor erste Symptome der Krankheit sichtbar werden. Somit wird eine frühere und räumlich begrenzte Bekämpfung der Pathogene möglich. Die quantitative Real-Time PCR als molekulare Nachweismethode bietet darüber hinaus den Vorteil, dass diese Art des Nachweises auch eine gewisse Quantifizierung der Pathogene erlaubt.
Der Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln (csPSM) steht derzeit stark in der gesellschaftlichen Kritik. So wird beispielsweise der zu beobachtende Biodiversitätsrückgang mit dem Einsatz von csPSM in Verbindung gebracht. In der Diskussion wird dabei allerdings häufig außer Acht gelassen, dass eine landwirtschaftliche Produktion auf dem hohen heutigen Ertragsniveau ohne den Einsatz von PSM überhaupt nicht möglich wäre. Es muss allerdings auch festgestellt werden, dass sich über die letzten Jahre ebenso Resistenzen bei verschiedenen Pathogenen gegen viele csPSM entwickelt haben (HUF *et al.* 2020). Dieser Befund, verbunden mit der Tatsache, dass seit mehr als zwei Jahrzehnten keine wirklich neue Wirkstoffgruppe identifiziert werden konnte und immer mehr vorhandene und noch wirksame Produkte ihre Zulassungen verlieren, stellt ein „weiter wie bisher" im Pflanzenschutz in Frage. Mikroorganismen könnten in Zukunft einen wesentlichen Beitrag leisten csPSM, aber auch klassische PSM, zumindest teilweise zu ersetzen.

Material und Methoden

Jahre, Pflanzenarten: Die Versuche wurden in den Jahren 2004 bis 2022 an Apfel, Wein, Weizen und Sojabohne durchgeführt.
Standorte: Die Versuche wurden in den Laboren und Gewächshäusern der Universitäten Konstanz und Hohenheim durchgeführt. Die Apfelversuche wurden in verschiedenen Praxisbetrieben im Bodenseeraum durchgeführt. Versuche mit Weizen und Sojabohne erfolgten auf der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim.
Gerätschaften: Für die quantitative Real-Time PCR kam ein CFX96 Real-time PCR Detection System (Bio-Rad, München), oder ein Smart Cycler System (Cepheid, Sunnyvale) zum Einsatz. Für die Spektralaufnahmen wurde ein MicaSense Dual Camera System (MicaSense Inc., Seattle), oder ein Corning microHSI™ 410 Vis-NIR Hyperspectral Sensor (Corning Inc., Corning) verwendet. Als Drohnen kamen zum Einsatz, eine DJI Matrice 210 V2 und eine DJI Mavic 2 Zoom (Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd., Nanshan).

Ergebnisse und Diskussion

Die von uns etablierte quantitative Real-Time PCR erlaubte erstmals einen quantitativen Nachweis des Feuerbranderregers *Erwinia amlyovora* im Obstbau (VOEGELE *et al.* 2010). Die Methode funktioniert zuverlässig und schnell und wird heute von der Firma Bio-Protect Gesellschaft für Phytopathologie mbH in Konstanz angeboten. Neben einem zuverlässigen und schnellen Nachweis des Erregers, erlaubt die Methode auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Erregers im Gewebe zu bestimmen (VOEGELE

et al. 2010). Die Methode wurde auch angewandt um eine mögliche Vermehrung von *E. amylovora* auf Blüten von Nicht-Wirtspflanzen zu überprüfen (Abbildung 1).

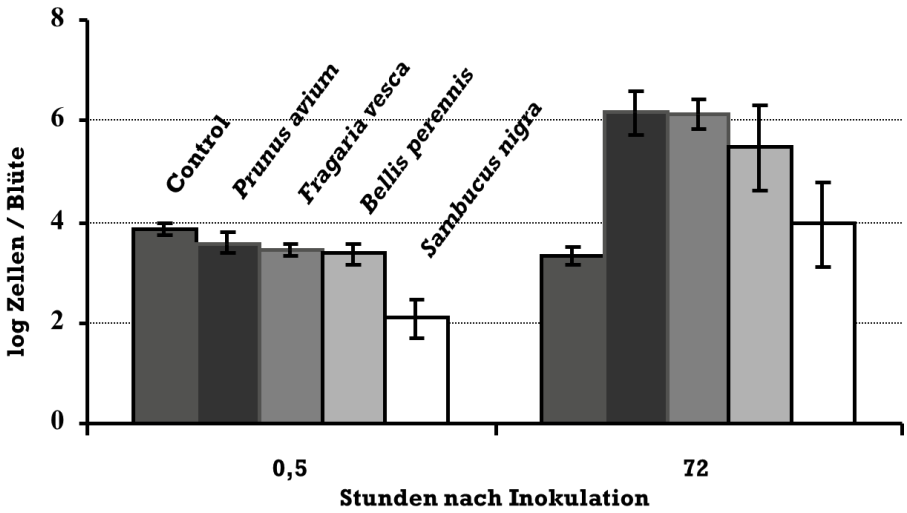


Abbildung 1: **Vermehrung von *E. amylovora* auf Blüten verschiedener Nicht-Wirtspflanzen (VOEGELE *et al.* 2010).**

Unsere Ergebnisse zeigen klar, dass *E. amylovora* in der Lage ist sich auf Blüten von Nicht-Wirtspflanzen zu vermehren. Diese Erkenntnis hat Konsequenzen für den Einsatz bestimmter Pflanzenarten in Blühmischungen zum Einsatz in Blühstreifen in einer Produktionsanlage.

Wir haben die quantitative Real-Time PCR weiterentwickelt, um beispielsweise die Menge des Pathogens in der biotrophen Interaktion des Rostpilzes *Uromyces fabae* mit seiner Wirtspflanze *Vicia faba* zu verschiedenen Zeiten der Infektion zu untersuchen (VOEGELE and SCHMID 2011). *U. fabae* konnte mit dieser Methode bereits vier Tage nach Inokulation nachgewiesen werden, das ist zwei bis drei Tage vor dem Sichtbarwerden erster Symptome. Die Methode erlaubte auch zu zeigen, dass sich in der biotrophen Interaktion ein Gleichgewicht zwischen der befallenen Pflanze und dem Pilz einstellt, welches über Wochen konstant bleibt. In einem Nebenexperiment konnten wir außerdem zeigen, dass sich auch bei den Haustorien, den Nährstoffaufnahmeorganen der Rostpilze, ein Gleichgewicht einstellt (VOEGELE and SCHMID 2011).

Ein nächster Schritt war der Nachweis mehrerer Erreger in einer einzigen PCR Reaktion, das sogenannte Multiplexing. Multiplexing erfordert eine andere Chemie als die bisher für die quantitative Real-Time PCR eingesetzte SYBR Green Technologie. Durch den Einsatz der TaqMan Primer Probe Technologie, wobei die jeweiligen „Probes" mit unterschiedlichen Fluoreszenzfarbstoffen markiert sind, wird ein Nachweis unterschiedlicher Erreger in einer einzigen Reaktion möglich. Durch die Ausweitung des Sojaanbaus in Europa ist mit einem verstärkten Auftreten von Sojapathogenen zu rechnen. Eine der im deutschsprachigen Raum derzeit vorherrschenden Krankheiten der Sojabohne ist der saatgutassoziierte „Phomopsis Seed Decay" ausgelöst durch verschiedene Vertreter aus dem *Diaporthe*/*Phomopsis* Krankheitskomplex. Nach einer ersten klassischen und einer molekularen Bestimmung der in Zentraleuropa vorherrschenden saatgutassoziierten *Diaporthe*/*Phomopsis* Arten (HOSSEINI *et al.* 2020), konnte eine Quadruplex PCR etabliert werden, die den gleichzeitigen Nachweis aller vier in Zentraleuropa vorherrschenden *Diaporthe* Arten erlaubt (Abbildung 2) (HOSSEINI *et al.* 2021). Diese Methode kann nun angewandt werden um einzelne Saatgutpartien sowie Pflanzen- und Bodenproben auf die Präsenz dieser vier Pathogene zu testen. Da der etablierte artspezifische Nachweis eher eine akademische Fragestellung beantwortet und die Untersuchung von umfangreichen Proben einen erheblichen Arbeitsaufwand bedeutet, testen wir derzeit die Kombination der „Seed Soaking Methode" mit der Multiplex PCR. Dies würde einen entscheidenden Schritt hin zu einer praktikablen Hochdurchsatz-Screening Methode für Saatgut darstellen. Außerdem sind wir dabei ein Gattungs-spezifisches Primer/Probe Set für *Diaporthe* zu entwickeln und dieses in Kombination mit anderen Pathogen-spezifischen Primer/Probe Sets in einer

Multiplex Reaktion zu realisieren. Das Ziel verschiedene Proben in hohem Durchsatz auf möglichst viele Pathogene zu untersuchen rückt damit in greifbare Nähe.

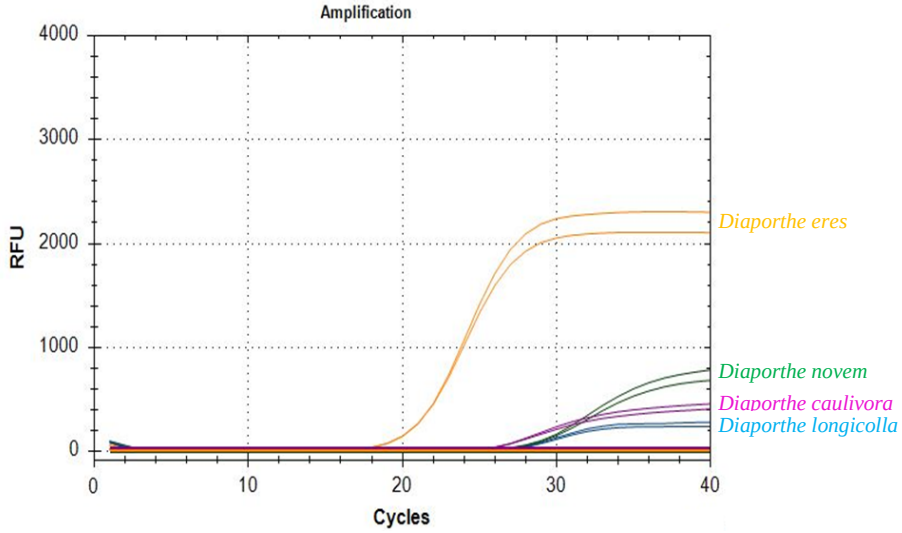


Abbildung 2: **Quadruplex Real-Time PCR Nachweis der in Zentraleuropa vorherrschenden *Diaporthe* Arten, *D. longicolla, D. novem, D. caulivora* und *D. eres* (HOSSEINI *et al.* 2021).**

Die verschiedenen Variationen der quantitativen Real-Time PCR stellen ein wertvolles Werkzeug in der Pathogen-Detektion und -Quantifizierung dar. Allerdings sind mit der molekularen Erkennung von (Pflanzen-)Pathogenen auch einige Probleme verbunden. So erlaubt die Methodik zunächst keine Unterscheidung zwischen toten und lebenden Pathogenen. Solange die DNA oder RNA also nicht stark degradiert ist, können die Ergebnisse fälschlich überhöhte Werte liefern. Mittlerweile existieren Methoden in der PCR zwischen lebend und tot zu differenzieren, allerdings erhöht sich hierdurch die Komplexität der Reaktionen deutlich. Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass Proben genommen werden müssen, d. h. die Methode ist invasiv. Es muss also in der Methodenentwicklung definiert werden wie groß die Stichprobe sein muss, um eine gesicherte Aussage über das Ausmaß des Pathogenbefalls treffen zu können.

Parallel befassen wir uns daher auch mit dem Einsatz von nicht-invasiven photo-optischen Methoden zur Erkennung eines Pathogenbefalls bei Pflanzen. Abiotische und biotische Stressoren beeinflussen die Physiologie einer Pflanze. Diese Beeinflussung kann in einer Änderung des elektromagnetischen Spektrums des reflektierten Lichtes resultieren, was gegebenenfalls Rückschlüsse auf bestimmte Stressoren erlaubt (Abbildung 3).

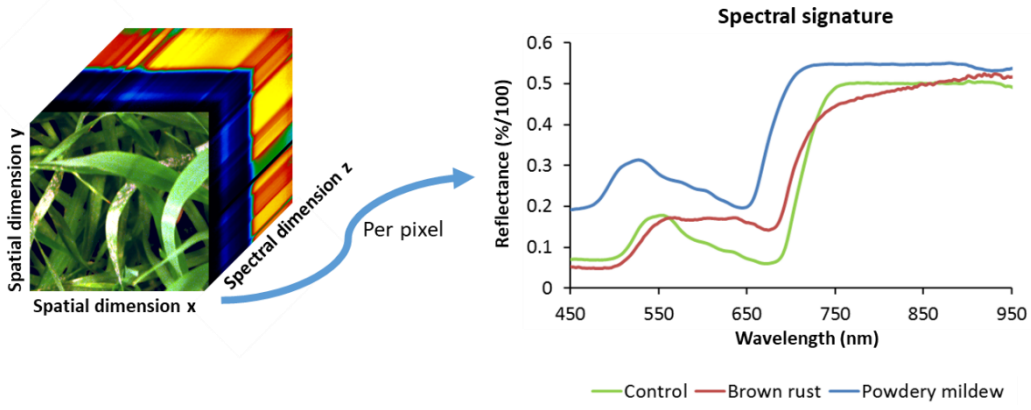


Abbildung 3: **Der hyperspektrale Datenwürfel (links) verfügt zusätzlich zu den üblichen räumlichen Dimensionen des Bildes über eine dritte, spektrale Datendimension. Dies bedeutet, dass jedes Pixel des Bildes eine eindeutige spektrale Signatur aufweist (rechts), die durch Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Krankheitserregern beeinflusst wird (Quelle: Stefan Thomas).**

Unter kontrollierten Bedingungen im Labor funktioniert die spektrale Erkennung von verschiedenen Pflanzenpathogenen sehr gut. Die Kombination von Hyper- oder Multispektralkameras und verschiedenen überwachten oder unüberwachten Computer-Algorithmen erlaubt die sichere und frühe Erkennung verschiedener Pathogene an den unterschiedlichsten Pflanzen wie Weizen, Sojabohne, Apfel oder Wein. In einigen Fällen ist mittels Spektralanalyse sogar eine Differenzierung einzelner Pathogene möglich (Abbildung 3).

Die Herausforderung ist nun der Transfer dieser Technologie hin zum Feldeinsatz. Hier sind zum einen die Bedingungen wie Lichtintensität oder räumliche Ausrichtung der Pflanze in Relation zum Sensor deutlich variabler als unter den kontrollierten Bedingungen im Labor, zum anderen ist der Abstand Sensor-Pflanze deutlich größer und damit die Auflösung geringer. Zu Beginn der Arbeiten im Feld haben wir uns daher für Drohnen-gestützte Sensoren entschieden. Diese Kombination sollte eine ausreichend hohe Auflösung erzielen und gleichzeitig eine realistische Dauer der Daten-Akquise realisieren lassen. Bei den untersuchten Raumkulturen (Wein und Apfel) zeigte sich allerdings recht schnell, dass hier aufgrund des sub-optimalen Winkels in Relation zur Pflanze der Drohneneinsatz weniger gut geeignet ist. Bei den Flächenkulturen (Weizen und Kohl) konnte der Drohnen-gestützte Sensor allerdings vielversprechende Ergebnisse liefern – zumindest in manchen Kulturen. Allerdings besteht hier weiterhin großer Forschungsbedarf. So stellen sich während der Befliegung ändernde Lichtverhältnisse nach wie vor ein großes Problem für die nachgeschaltete Datenverarbeitung dar. Auch das so genannte „Stitching“ – das Zusammensetzen der Einzelaufnahmen zu einem Orthomosaik unter Korrektor der geometrischen Verzerrung und Durchführung eines Farbabgleichs – ist noch verbesserungswürdig. An dieser Stelle ist auch die Integration von Satelliten- und Wetterdaten möglich. Auch hat sich gezeigt, dass die Georeferenzierung durch die an den Drohnen verbauten GPS-Systeme ungenügend ist, was den Einbau eines weiteren Arbeitsschrittes zur genauen Georeferenzierung nötig macht. Der gegenwärtige Stand der Technik erlaubt die Generierung von Datensätzen, welche die Berechnung verschiedener Vegetationsindices welche in der Praxis eingesetzt werden können - beispielsweise zur Kartierung von Ertragszonen (Abbildung 4). Um für die Praxis taugliche photo-optische und feldtaugliche Systeme bereit stellen zu können sind allerdings noch weitere Experimente notwendig.

Abbildung 4: **Schematische Darstellung der Arbeitsschritte zur Daten-Akquise und Verarbeitung hyper- bzw. multispektraler Daten.**

Was aber nützt eine frühe Erkennung von Pflanzenpathogenen, wenn keine entsprechenden Pflanzenschutzmittel mehr zu deren Bekämpfung zur Verfügung stehen? Wir untersuchen seit mehr als zwei Jahrzehnten die Möglichkeit Mikroorganismen nicht nur im geschützten Anbau, sondern auch für Flächen- und Raumkulturen anwendbar zu machen. Neben anderen, sind mit Blossom Protect (bio-ferm) und Serenade ASO (Bayer) bereits einige solcher Mittel kommerziell verfügbar, doch werden die vorhandenen Mittel bei einem Wegfall der csPSM nicht ausreichen.
„Biological Control Agents“ (BCAs) können verschiedene Wirkmechanismen (oder auch Kombinationen davon) besitzen. Während die in Blossom Protect enthaltene Hefe *Aureobasidium pullulans* primär über Konkurrenz wirken soll, produziert das in Serenade ASO enthaltene Bakterium *Bacillus amyloliquefaciens* Stamm QST 713 antibiotisch wirkende Lipopeptide. Neben der Kompetition um Raum und/oder Nährstoffe und der Produktion antibiotisch wirkender Sekundärmetabolite, gibt es noch die

Möglichkeit der Erhöhung der pflanzlichen Stresstoleranz, die Induktion pflanzlicher Resistenzmechanismen oder den Hyperparasitismus. Neben den oben angeführten Mikroorganismen kommen auch bereits verschiedene Vertreter der pilzlichen Gattungen *Trichoderma* und *Clonostachys* als BCAs zum Einsatz. Es hat sich gezeigt, dass beispielsweise die Produktion aktiver Sekundärmetabolite sehr stammspezifisch ist, was auch von uns beobachtet wurde. Einige der von uns unformuliert im Feld getesteten Stämme zeigen vielversprechende Wirkung (Abbildung 5).

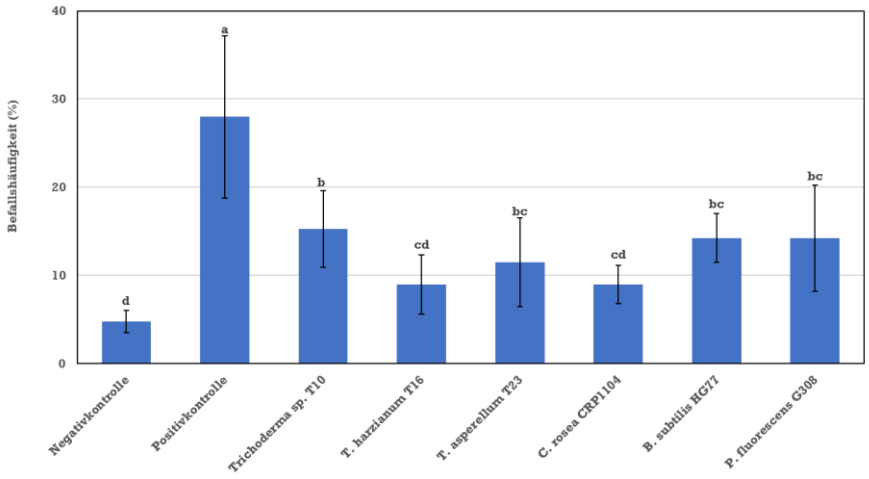


Abbildung 5: **Effizienz einiger von uns in Weizen getesteten BCAs (RIEKER 2022).**

Auch hier lässt sich sagen, dass noch einiges an Forschung notwendig sein wird, bevor BCAs csPSM ersetzen können (DEISING *et al.* 2017).

Die Suche nach Ansätzen für eine ganzheitliche nachhaltige Landwirtschaft erfordert die Entwicklung neuer Anbausysteme, die über die Biomasseversorgung hinaus zusätzliche Ökosystemdienstleistungen für die Nahrungs-, Futtermittel-, Material- und Energienutzung erbringen. Eine frühzeitige Pathogenerkennung und die Reduktion von csPSM sind dabei ein zentrales Instrument zum Schutz empfindlicher natürlicher Ressourcen wie Grundwasser und Biodiversität. Zusammen mit einem optimalen Einsatz von Mineraldünger, agrarökologischen Praktiken und Präzisionslandwirtschaftstechnologien kann ein vollständiger Verzicht auf csPSM in mineralökologischen Anbausystemen (MECS) nicht nur die Umweltleistung von Agrarökosystemen verbessern, sondern auch deren Ertragsleistung sicherstellen. Daher zielt die Entwicklung von MECS darauf ab, die gesamten Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landschaften zu verbessern, indem (i) die Bereitstellung regulierender Ökosystemleistungen im Vergleich zu konventionellen Anbausystemen verbessert wird und (ii) die Bereitstellung bereitstellender Ökosystemleistungen im Vergleich zu ökologischen Anbausystemen verbessert wird. Im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten „Agrarsysteme der Zukunft“ sind wir derzeit mit unserem Verbundprojekt „LaNdwirtschaft 4.0 Ohne chemisch-synthetischen Pflanzen-Schutz“ (NOcsPS) daran alle relevanten Forschungsebenen und Aspekte dieses neuen Landwirtschaftskonzepts zu beleuchten (ZIMMERMANN *et al.* 2021).

Zusammenfassung

Eine neue Form der Landwirtschaft mit einem weitgehenden Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel aber dem Einsatz von Mineraldünger und in Kombination mit neuesten Technologien verspricht ein Modell für die Landwirtschaft der Zukunft darzustellen. Mit unserem Teilprojekt sind wir dabei die Möglichkeiten der molekularen und spektralen Früherkennung von Pflanzenpathogenen kombiniert mit dem Einsatz von „Biological Control Agents“ zu testen. Erste Ergebnisse sind vielversprechend.

Abstract

A novel approach to agriculture that largely reduces reliance on chemical-synthetic pesticides while permitting the use of mineral fertilizers coupled with the latest technologies holds the potential to serve as a model for future farming. With our sub-project we are in the process of testing the possibilities of molecular and spectral early detection of plant pathogens combined with the use of "biological control agents". First results are promising.

Literatur

DEISING, H, GASE, I and KUBO, Y (2017): The unpredictable risk imposed by microbial secondary metabolites: how safe is biological control of plant diseases? Journal of Plant Diseases and Protection 124, 413-419.

HINZE, M, KÖHL, L, KUNZ, S, WEIßHAUPT, S, ERNST, M, SCHMID, A and VOEGELE, RT (2016): Real-time PCR detection of *Erwinia amylovora* on blossoms correlates with subsequent fire blight incidence. Plant Pathology 65, 462-469.

HOSSEINI, B, EL-HASAN, A, LINK, T and VOEGELE, R (2020): Analysis of the species spectrum of the *Diaporthe/Phomopsis* complex in European soybean seeds. Mycological Progress 19, 455-469.

HOSSEINI, B, VOEGELE, RT and LINK, TI (2021): Establishment of a quadruplex real-time PCR assay to distinguish the fungal pathogens *Diaporthe longicolla*, *D. caulivora*, *D. eres*, and *D. novem* on soybean. PLoS One 16, e0257225.

HUF, A, PFLEGER, S, STROBEL, D, BRYSON, R, VOEGELE, R and STAMMLER, G (2020): Distribution and changes of genotypes associated to DMI sensitivity in *Zymoseptoria tritici* in Europe. Modern Fungicides and Antifungal Compounds 9, 93-98.

MAHLEIN, AK (2016): Plant disease detection by imaging sensors - parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. Plant Disease 100, 241-251.

RIEKER, M (2022): Antagonisten gegen Schadpilze. Landwirtschaft ohne Pflug 11, 20-25.

VOEGELE, R, KUNZ, S, OLBRECHT, L, HINZE, M, WEIßHAUPT, S, SCHMID, A, ERNST, M, JOOS, M, MATSCHINSKY, M and MENDGEN, K (2010). Monitoring *E. amylovora* using real time PCR. 14th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, FÖKO eV Weinsberg**:** 110-117.

VOEGELE, RT and SCHMID, A (2011): RT real-time PCR-based quantification of *Uromyces fabae in planta*. FEMS Microbiology Letters 322, 131-137.

ZIMMERMANN, B, CLAß-MAHLER, I, VON COSSEL, M, LEWANDOWSKI, I, WEIK, J, SPILLER, A, NITZKO, S, LIPPERT, C, KRIMLY, T, PERGNER, I, ZÖRB, C, WIMMER, M, DIER, M, SCHURR, F, PAGEL, J, RIEMENSCHNEIDER, A, KEHLENBECK, H, FEIKE, T, KLOCKE, B, LIEB, R, KÜHNE, S, KRENGEL-HORNEY, S, GITZEL, J, EL-HASAN, A, THOMAS, S, RIEKER, M, SCHMID, K, STRECK, T, INGWERSEN, J, LUDEWIG, U, NEUMANN, G, MAYWALD, N, MÜLLER, T, BRADÁČOVÁ, K, GÖBEL, M, KANDELER, E, MARHAN, S, SCHUSTER, R, GRIEPENTROG, H-W, REISER, D, STANA, A, GRAEFF-HÖNNINGER, S, MUNZ, S, OTTO, D, GERHARDS, R, SAILE, M, HERMANN, W, SCHWARZ, J, FRANK, M, KRUSE, M, PIEPHO, H-P, ROSENKRANZ, P, WALLNER, K, ZIKELI, S, PETSCHENKA, G, SCHÖNLEBER, N, VOEGELE, RT and BAHRS, E (2021): Mineral-Ecological Cropping Systems—A New Approach to Improve Ecosystem Services by Farming without Chemical Synthetic Plant Protection. Agronomy 11, 1710.

Adresse des Autors

Universität Hohenheim, Fakultät Agrarwissenschaften, Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Phytopathologie, Otto-Sander-Straße 5, 70599 Stuttgart-Hohenheim

* Ansprechpartner: Prof. Dr. Ralf T. VOEGELE, Ralf.Voegele@uni-hohenheim.de

VORTRÄGE

Nutzung nicht-chemischer Verfahren und digitaler Technologien für eine integrierte Unkrautkontrolle und ein effektives Resistenzmanagement

Use of non-chemical methods and digital technologies for integrated weed control and effective resistance management

Lena Ulber

Einleitung

Die Unkrautkontrolle steht vor dem Hintergrund steigender Resistenzprobleme und der politisch-gesellschaftlichen Debatte um eine Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes vor großen Herausforderungen. Daher gewinnen Maßnahmen und Strategien zur Reduzierung des Herbizideinsatzes sowie nicht-chemische Maßnahmen zur Kontrolle von Unkräutern oder zur Reduzierung des Unkraut-Sameneintrages in den Boden vermehrt an Bedeutung.

Derzeitige Herausforderungen bei der Unkrautkontrolle

Eine der größten Herausforderungen bei der Unkrautkontrolle ist derzeit die zunehmende Entstehung von **Herbizidresistenzen** bei verschiedenen Unkrautarten. Während die Resistenz bei verschiedenen Gräserarten wie Acker-Fuchsschwanz und Gemeinem Windhalm bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt ist, finden sich zunehmen auch Resistenzen bei weiteren Ungrasarten wir Trespe- oder Weidelgrasarten. Da hier die Anzahl an verfügbaren, effektiven Herbizid-Wirkstoffen ohnehin eingeschränkt ist, sind resistente Populationen oft nur noch sehr schwer mit chemischen Maßnahmen zu kontrollieren. Betroffen von Resistenzen sind bei den Ungräsern vor allem die vor allem blattaktive Wirkstoffgruppen der ACCase- und ALS-Hemmer. Aber auch bei einigen über den Boden wirkenden Wirkstoffen wie Flufenacet zeichnet sich zunehmend eine verminderte Wirksamkeit gegenüber Herbiziden ab (DÜCKER et al. 2020). Auch bei dikotylen Unkrautarten nehmen die Resistenzentstehungen zu. Betroffen sind hier vor allem die Kamille-, Amarant-Arten sowie Klatsch-Mohn und Vogelmiere. In den meisten Fällen sind Wirkstoffe der ALS-Hemmer betroffen. Da durch steigende Anforderungen an die Sicherheit der Wirkstoffe für Mensch und Umwelt zunehmend auch die Vielfalt der zur Verfügung stehen herbiziden Wirkstoffe eingeschränkt wird, ist mit einer weiteren Zunahme der Resistenzproblematik zu rechnen.

Derzeit werden auch der **Nutzen und die potentiellen Risiken des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln** in der Gesellschaft kritisch diskutiert. Nach der Europäischen Farm-to-Fork-Strategie sollen sowohl die Fläche, auf der Pflanzenschutzmittel verwendet werden, als auch die eingesetzte Menge sollen deutlich verringert werden. Die Reduzierung dient dem Schutz der Biodiversität, dem Natur-, Arten- und Gewässerschutz und soll zudem die Gefahren, die von Pflanzenschutzmitteln für Menschen und Tiere ausgehen, abwenden. Insbesondere im Bereich der Herbizide geht man hier von einem großen Einsparungspotential aus.

Auch der **Klimawandel** stellt eine Herausforderung für die Unkrautkontrolle dar. Die Veränderungen der klimatischen Bedingungen in Deutschland und Österreich führen dazu, dass sich bisher hier kaum etablierte Unkräuter ausbreiten und sich zu Problemunkräutern vor allem in Sommerkulturen entwickeln können. So treten wärmeliebende Unkrautarten, wie diverse Hirse-Arten (*Setaria*/*Digitaria* spp.), zunehmend auch im Maisanbau in Mittel- und Nordeuropa auf (WALTHER et al. 2002) und bisher seltene Arten, wie Samtpappel (*Abutilon theophrasti*) und Gemeiner Stechapfel (*Datura stramonium*), werden häufiger beobachtet (EDLER et al. 2015).

Zukünftige Optionen für eine nahhaltige Unkrautkontrolle

Derzeit gewinnen alternative Verfahren für die Unkrautkontrolle zunehmen ans Bedeutung. Diese umfassen neben diversen nicht-chemischen Verfahren auch den Einsatz von digitalen Technologien um den Herbizideinsatz auf der Ackerfläche zu minimieren.

Mechanische Unkrautkontrolle

Striegel und Hacken sind die wichtigsten Gerätegruppen zur direkten mechanischen Unkrautkontrolle. Insgesamt hängt der Unkrautregulierungserfolg mechanischer Verfahren stark von dem Stadium der Unkrautentwicklung, den auftretenden Unkrautarten, der Bodenart, dem Bodenzustand sowie der Witterung ab. Daher ist der Wirkungsgrad mechanischer Verfahren in der Regel deutlich variabler als der eines Herbizideinsatzes. Durch die Anpassung der Arbeitsbreiten, hohen Fahrgeschwindigkeiten, GPS-Steuerung und Sensortechnik konnte aber in den letzten Jahren die Effektivität des Striegel- und Hackeinsatzes deutlich gesteigert werden. Auch durch eine verbesserte Konstruktion der Geräte (Zinkenform und -aufhängung z. B. beim Treffler-Striegel, verschleißarmer, vibrierender Stahl usw.) konnte die Wirksamkeit erhöht werden. Im Bereich der mechanischen Unkrautkontrolle erfolgt derzeit eine kontinuierliche Weiter- und Neuentwicklung, so dass in Zukunft mit weiteren Innovationen und Geräten gerechnet werden kann. Von einer Erhöhung des Anteils der mechanischen Unkrautkontrolle ist in Zukunft daher auch im konventionellen Anbau auszugehen („Hybridpflanzenschutz“). So wird das jahrzehntelang in Zuckerrüben angewandte Verfahren der Bandspritzung derzeit wieder vermehrt in der Praxis eingesetzt und auch ein absätziges Verfahren, bei dem z. B. die erste Unkrautwelle mit einem blattaktiven Herbizid kontrolliert wird und im weiterem Vegetationsverlauf die Hacke oder Striegel eingesetzt wird, findet in der Praxis immer mehr Anwendung. Zusätzlich sind verschiedene autonome Hackgeräte („Unkrautroboter“) unterschiedlicher Hersteller auf dem Markt verfügbar und weitere Entwicklungen befinden sich in der Praxiserprobung. Die Mehrzahl dieser Geräte wird GPS-gesteuert. Einige Systeme nutzen künstliche Intelligenz, um über kamerabasierte Systeme Unkräuter von Kulturpflanzen zu unterscheiden, und die Unkräuter dann gezielt mit einer Hacke zu beseitigen. Während einige Systeme nur zwischen den Reihen hacken, können andere z. B. über Nutzung von automatischer Arterkennung auch Unkräuter innerhalb der Reihen beseitigen. Einige Systeme verwenden Solarmodule zur autonomen Stromversorgung, die zu einer höheren Ressourceneffizienz beitragen können.

Verfahren zur Reduzierung des Sameneintrages in den Boden

Eine langfristige Strategie zur Unkrautkontrolle stellt die Reduzierung des Eintrages von Unkrautsamen in den Bodensamenvorrat dar. Unterschiedliche Verfahren zur Reduzierung des Sameneintrages in den Boden wurden erstmals in Australien unter dem Begriff „Harvest Weed Seed Control“ (HWSC) entwickelt und werden dort bereits erfolgreich in der Praxis eingesetzt (WALSH et al., 2017). Ziel von HWSC ist das Sammeln und Zerstören von Unkrautsamen während der Ernte, um so den Eintrag von keimfähigen Samen in die Bodensamenbank zu reduzieren. Üblicherweise werden Unkrautsamen, die bei der Ernte in den Mähdrescher gelangen, zusammen mit dem Kaff (Spreu und kleinere Strohteile) gleichmäßig über das Feld verteilt und tragen so zu einem erhöhten Unkrautauflauf in den Folgekulturen bei. Ein Ansatz von HWSC ist daher die mechanische Zerstörung der Unkrautsamen bzw. deren Keimfähigkeit durch Hammer-Mühlen oder axiale Rotoren, die im hinteren Teil des Mähdreschers integriert sind (SHERGILL et al., 2020). In den letzten Jahren wurde der praktische Einsatzes dieser Verfahren auch in den USA und Europa intensiver getestet. Die Wirksamkeit von HWSC-Maßnahmen ist vor allem von dem Samenverbleib an der Unkrautpflanze und der Höhe der verbleibenden Samen an der Pflanze zum Erntezeitpunkt abhängig. In Versuchen des JKI in Raum Braunschweig zum Samenausfall bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides* Huds.) befanden sich alle A. myosuroides-Samenstände über der praxisüblichen Druschhöhe von 15 cm, so dass sie durch den Mähdrescher vollständig erfasst werden konnten. In Versuchen im Jahr 2020 wurde bei *A. myosuroides* ein Samenverbleib von 31-51 % zum regulären Erntezeitpunkt von Winterweizen festgestellt, welcher auf in mittleres Potential für die Anwendung von HWSC zur Reduzierung des *A. myosuroides*-Befalls hindeutet (Beckie et al., 2018). Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit Studien aus Dänemark, die den Samenverbleib bei A. myosuroides zum Erntezeitpunkt von Wintergetreide mit 29-37 % quantifizierten (Bitarafan und Andreasen, 2020). Auf Standorten mit hohen *A. myosuroides*-Dichten, die z.B. aufgrund von Resistenz nicht mehr ausreihend kontrolliert werden könne, kann die wiederholte Anwendung von HWSC aber dennoch dazu beitragen, den Sameneintrag in den Bodensamenvorrat nachhaltig zu reduzieren. Für andere Ungrasarten wie Weidelgras-Arten wird aus Australien und Spanien ein deutlich höherer Samenverbleib von 85 % angegeben. Diese Ungrasart scheint gegenüber dem Acker-Fuchsschwanz daher ein höheres Potential für HWSC-Maßnahmen zu bieten.

Digitale Lösungsansätze für die Unkrautkontrolle

Die Nutzung von digitalen Technologien und Künstlicher Intelligenz (KI) wird in den letzten Jahren intensiv auch für den Einsatz zur Kontrolle von Unkräutern getestet. So kann z.B. die räumliche Erfassung des Unkrautvorkommens auf einer landwirtschaftlichen Fläche u.A. durch Unmanned Aerial Vehicles (UAV) erfolgen, so dass die folgende Unkrautkontrolle teilflächenspezifisch angepasst werden kann. Hier besteht derzeit noch Entwicklungsbedarf für die automatische Befliegung und Missionsplanung, da kritische Faktoren wie Einhaltung eines definierten Abstandes zum Boden bei unebenen Terrain oder Kollisionsvermeidung bisher nicht ausreichend adressiert werden können. Bisher nicht vollständig gelöst ist auch die KI-basierte, automatische Erkennung der Unkrautarten in verschiedenen Wachstumsstadien. Während häufig vorkommende Arten oder Pflanzen im blühenden Stadium häufig mit einer hohen Wahrscheinlichkeit erkannt werden können, werden seltene, weniger häufig vorkommende Arten oder Pflanzen in frühen Wachstumsstadien oft nicht ausreichend durch eine automatische Bilderkennung identifiziert. Gerade die frühen Wachstumsstadien sind aber für die Management-Entscheidungen oft am relevantesten. In den letzten Jahren haben tieflernende künstliche neuronale Netze (Deep Learning) und im speziellen Convolutional Neural Networks (CNN) in der automatischen Bildklassifizierung einen bedeutenden Durchbruch erzielt. Voraussetzung für die Deep Learning-Algorithmen sind aber große Mengen an annotierten Trainings-Bildern der entsprechenden Unkrautarten, die in vielen Fällen noch nicht umfassend vorliegen. Ziel des vom JKI-koordinierten Projektes „BetterWeeds“ ist daher eine KI-basierte Erfassung, Identifikation und Auswertung der auf landwirtschaftlichen Flächen auftretenden Unkrautarten und die nachfolgende Erstellung von georeferenzierten Verteilungskarten, die als Basis für Managemententscheidungen genutzt werden können. Eine Teilflächen- und Unkrautartenspezifische Kontrolle mit Herbiziden kann technisch neben dem Einsatz von autonomen Robotern derzeit bereits durch Pflanzenschutzgeräte mit Kameramodulen zur Unkrauterkennung sowie einzeln schaltbaren Düsen umgesetzt werden. Diese können zu deutlichen Herbizideinsparungen beitragen, funktionieren aber nur bei Applikationen von Herbiziden im Nachauflauf. Zudem sind entsprechende Geräte aufgrund hoher Investitionskosten vor allem für größerer Betriebe oder die überbetriebliche Nutzung geeignet.

Ausblick

Trotz weiterem Forschungs- und Entwicklungsbedarf und der teilweise noch sehr hohen Investitionskosten sind derzeit verschiedene alternative Ansätze für eine nachhaltige Unkrautkontrolle vielversprechend. Auch wenn die Mehrzahl dieser technischen Ansätze bisher kein vollständiges Äquivalent zur chemischen Unkrautkontrolle darstellt, könnten sie in Kombination eingesetzt in Zukunft dazu beitragen, die Herausforderungen bei der Unkrautkontrolle zu bewältigen.

Zusammenfassung

Die Unkrautkontrolle steht vor großen Herausforderungen, da die zunehmende Entstehung von Herbizidresistenzen bei verschiedenen Unkrautarten zu immer größeren Problemen bei der Kontrolle resistenter Populationen führt. Zudem wird der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln aufgrund der politisch-gesellschaftlichen Debatte um eine Reduzierung des Einsatzes und des damit verbundenen Schutzes von Mensch, Tier und Umwelt immer kritischer gesehen. Auch der Klimawandel stellt eine Herausforderung dar, da sich bisher hier kaum etablierte Unkräuter ausbreiten und sich zu Problemunkräutern entwickeln können.

Als zukünftige Optionen für eine nachhaltige Unkrautkontrolle gewinnen alternative Verfahren zunehmend an Bedeutung. Bei den mechanischen Verfahren z.B. mit Striegel und Hacken hängt der Wirkungsgrad stark vom Stadium der Unkrautentwicklung, den auftretenden Unkrautarten, der Bodenart, dem Bodenzustand und der Witterung ab. Durch die Anpassung der Arbeitsbreiten, GPS-Steuerung und Sensortechnik konnte jedoch die Effektivität des Striegel- und Hackeinsatzes deutlich gesteigert werden. Weitere zukünftige Möglichkeiten bietet der Einsatz von digitalen Technologien zur Minimierung des Herbizideinsatzes auf Ackerflächen, z.B. durch automatische Unkrauterkennung mittels künstlicher Intelligenz und teilflächenspezifischer Applikation.

Weitere Verfahren wie die Reduzierung des Eintrages von Unkrautsamen in den Bodensamenvorrat werden zunehmend erforscht und bieten für einige Arten Möglichkeiten zur Reduzierung der Besatzdichte.

Abstract

Weed control faces major challenges, as the increasing emergence of herbicide resistance in various weed species is leading to ever greater problems in controlling resistant populations. In addition, the use of plant protection products is being viewed increasingly critically due to the political-social debate on their potential risks.
Alternative strategies are becoming increasingly important as future options for sustainable weed control. For mechanical weed control methods, e.g. with harrows and hoes, the efficiency depends strongly on the stage of weed development, the weed species occurring, the soil type, the soil condition and the weather. However, by adapting the working widths, GPS control and sensor technology, the effectiveness of harrow and hoe use could be significantly increased.
Further future possibilities are offered by the use of digital technologies to minimise the use of herbicides on arable land, e.g. through automatic weed detection using artificial intelligence and site-specific application.
Other techniques, such as reducing the entry of weed seeds into the soil seed supply, are increasingly being explored and offer opportunities to reduce the population size for some species.

Literatur

BITARAFAN Z, ANDREASEN C. (2020): Seed Production and Retention at Maturity of Blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) and Windgrass (*Apera spica-venti*) at Wheat Harvest. Weed Science 68(1), 151-156, DOI: 10.1017/wsc.2020.7.
DÜCKER R, PARCHARIDOU E, BEFFA R (2020): Flufenacet activity is affected by GST inhibitors in blackgrass (*Alopecurus myosuroides*) populations with reduced flufenacet sensitivity and higher expression levels of GSTs. Weed Science 68(5), 451-459. DOI:10.1017/wsc.2020.54
EDLER B, BÜRGER J, BREITSAMETER L et al. (2015): Growth Responses to Elevated Temperature and Reduced Soil Moisture During Early Establishment of three Annual Weeds in Four Soil Types. Journal of Plant Diseases and Protection **122**, 39–48. DOI: 10.1007/BF03356529
SHERGILL LS, BEJLERI K, DAVIS A, MIRSKY S.B (2020): Fate of weed seeds after impact mill processing in midwestern and mid-Atlantic United States. Weed Science 68 (1), 92-97. DOI: 10.1017/wsc.2019.66.
WALSH M, OUZMAN J, NEWMAN P, POWLES S, LLEWELLYN R (2017): High Levels of Adoption Indicate That Harvest Weed Seed Control Is Now an Established Weed Control Practice in Australian Cropping. Weed Technology 31 (3), 341-347. DOI: 10.1017/wet.2017.9.
WALSH MJ, BROSTER JC, SCHWARTZ-LAZARO LM et al. (2018): Opportunities and challenges for harvest weed seed control in global cropping systems. Pest Management Science 74 (10), 2235-2245. DOI: 10.1002/ps.4802.
WALTHER GR, POST E, CONVEY P et al. (2002): Ecological responses to recent climate change. Nature 416, 389–395. DOI: 10.1038/416389a

Adresse der Autorin

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland, Messeweg 11-12, DE-38104 Braunschweig

* Ansprechpartner: Dr. Lena ULBER, lena.ulber@julius-kuehn.de

Aufspritzbares Mulchmaterial zur Unkrautbekämpfung im Wein- und Obstbau

Sprayable mulch material for weed control in vineyards and orchards

Swen Follak[1,*], Michael Kirchinger[2], Anja Menger[3],
Markus Redl[4], Arno Schmid[5,]

Zusammenfassung

Beikräuter verringern die Produktivität in Wein- und Obstanlagen. Der Bereich zwischen den Reihen kann leicht bewirtschaftet werden, während für die Beikrautregulierung innerhalb der Reihen spezielle Techniken erforderlich sind. Es werden vorzugsweise Herbizide und mechanische Verfahren eingesetzt. Ihr Einsatz ist jedoch mit Nachteilen für die Umwelt und Produktivität verbunden. Das Thema der alternativen Beikrautregulierung im Obst- und Weinbau wird in dem Projekt ABOW_AT länderübergreifend bearbeitet. Es sind an dem Projekt Forschungseinrichtungen aus Bayern, Südtirol und Österreich beteiligt. Am Technologie- und Förderzentrum (Straubing, Deutschland) wurde ein aufspritzbares Mulchmaterial auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen entwickelt, die den Bodenbereich innerhalb der Reihen abdeckt. Im Jahr 2022 wurden Praxisversuche in Bayern, Südtirol und Österreich im Wein- und Obstbau durchgeführt, um die Wirkung des aufspritzbaren Mulchmaterials auf das Beikrautwachstum zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Beikrautwachstum unterdrückt wurde, die Wirksamkeit jedoch je nach Standort variierte (i. A. v. Deckungsgrad der Beikräuter zum Zeitpunkt der Applikation, Beikrautarten).

Abstract

Weeds reduce productivity in vineyards and orchards. The area between the rows can be easily managed, whereas special techniques are required for weed control within the rows. Preferably, herbicides and mechanical methods are used. However, their use is associated with disadvantages for the environment and productivity. The topic of alternative weed control in orchards and vineyards is addressed transnationally in the ABOW_AT project. Research institutions from Bavaria, South Tyrol and Austria are involved in the project. At the Technology and Support Centre (Straubing, Germany), a sprayable mulch material based on renewable materials was developed to cover the soil area within the rows. In 2022, field trials were carried out in Bavaria, South Tyrol and Austria in vineyards and orchards to investigate the effect of the sprayable mulch material on weed growth. The results showed that the weed growth was suppressed, but the effectiveness varied depending on the location (depending on degree of weed coverage at the time of application, weed species present).

Adressen der Autoren

[1] Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, AGES, Wien, Österreich

[2] Technologie- und Förderzentrum, Straubing, Deutschland

[3] Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Veitshöchheim, Deutschland

[4] Institut für Pflanzenschutz, Universität für Bodenkultur Wien, Österreich

[5] Versuchszentrum Laimburg, Auer, Italien

[*] Ansprechpartner: Swen FOLLAK, swen.follak@ages.at

Veränderungen der Biodiversität mitteleuropäischer Äcker über 90 Jahre

Biodiversity changes in Central European arable fields over 90 years

Michael Glaser[1,2*], Swen Follak[3], Zdeňka Lososová[4], Stefan Dullinger[5], Franz Essl[1]

Zusammenfassung

Durch Veränderungen in der Landwirtschaft, bspw. erhöhte Düngung und generell intensivere Kultur, hat sich die pflanzliche Biodiversität in den Äckern Zentraleuropas maßgeblich verändert und diese Veränderungen betreffen sowohl neue Schadarten, deren Auswirkungen nur schwer abzuschätzen sind, als auch Arten, die als wichtig für die Biodiversität gesehen werden. Daher wird es immer wichtiger, die Veränderungen zu untersuchen, um daraus allgemeine Tendenzen ableiten zu können. Im Rahmen des Projektes AgriWeedClim wurde anhand eines neuen Datensatzes die Arealgröße von 359 Arten zwischen den 1930ern und jetzt modelliert. Das allgemeine Bild von „Gewinnern" und „Verlierern" des Biodiversitätswandels konnte durch den Vergleich der Ergebnisse erweitert werden. Diese unterstreichen den Einfluss der Intensivierung als auch die Rolle biologischer Invasionen. Des Weiteren betonen die Ergebnisse die Bedeutung des Biodiversitätsschutzes in der Kulturlandschaft sowie die Ökosystemdienstleistungen, die viele Beikräuter erbringen.

Abstract

Through changes in agriculture, e.g., increased fertilization rates and overall more intensive methods, the vascular plant biodiversity of Central European has changed drastically. These changes are relevant to the management of new weed species, the impacts of which remain hard to predict, as well as species that are seen as beneficial for biodiversity. Thus, it is becoming increasingly important to study these changes and identify general trends. Within the AgriWeedClim project a new data source was used to model the range size changes of 359 species between the 1930s and present. The knowledge of the general trend of "winners" vs. "losers" of biodiversity changes could be increased through comparison of results, underscoring the influence of intensification and the role of biological invasions. Further investigations revealed the importance of biodiversity conservation in cultural landscapes as well as the ecosystem services many weeds provide.

Adressen der Autoren

[1] Division of BioInvasions, Global Change, Macroecology Group, Department of Botany and Biodiversity Research, University of Vienna, Vienna, Austria

[2] Vienna Doctoral School of Ecology and Evolution, University of Vienna, Vienna, Austria

[3] Institute for Sustainable Plant Production, Austrian Agency for Health and Food Safety, Vienna, Austria

[4] Department of Botany and Zoology, Faculty of Science, Masaryk University, Brno, Czech Republic

[5] Division of Biodiversity Dynamics and Conservation, Department of Botany and Biodiversity Research, University of Vienna, Vienna, Austria

[*] Ansprechpartner: Michael GLASER, michael.glaser@univie.ac.at

KI-gestützter Robotereinsatz zur herbizidfreien Beikrautbekämpfung in Bio-Zuckerrüben

AI-assisted robot use for herbicide-free weed control in organic sugar beets

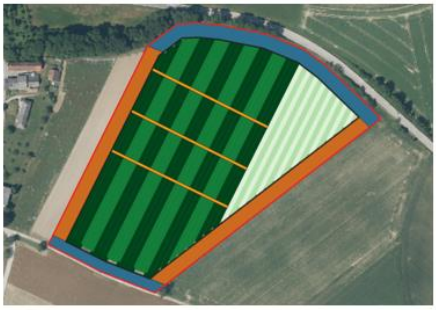
Thomas Rohringer*, DI Franz Handler* und Alexander Waschl

Einleitung

Die EU Kommission hat sich im Zuge des Green Deal zum Ziel gesetzt bis 2030 50% des chemischen Pflanzenschutzes zu reduzieren. Durch den Verzicht auf Herbizide im biologischen Zuckerrübenanbau ist die Kulturführung mit einem deutlich erhöhten Arbeitsaufwand verbunden. Die Beikrautregulierung erfolgt herkömmlich weitgehend mechanisch mit Hackgeräten und zusätzlich ist vielfach Handarbeit in der Reihe mittels Handhacke erforderlich. Mit Feldrobotern ist Beikrautregulierung sowohl zwischen den Reihen, als auch in den Reihen möglich. Durch die autonome Fahrweise ist auch Schlagkraft gegeben. Die Feldrobotik ist eine interessante Alternative für die Zukunft.

Material und Methoden

Standort: Die Versuche wurden bei Familie Preitfellner - Biohof am Engelberg, Engelberg 7, A-4303 Erla durchgeführt.
Versuchsvarianten:
Variante 1 „Roboter“: Zwei Hackdurchgänge werden mit dem Roboter durchgeführt. Eine Wiederholung entspricht 24 Rübenreihen und in Summe sind es fünf Wiederholungen.
Variante 2 „Traktor“: Ein Hackdurchgang wird mit einem herkömmlichen Traktorhackgerät durchgeführt. Eine Wiederholung entspricht 24 Rübenreihen und in Summe sind es vier Wiederholungen.
Datenerhebung: Ausgehackte Kulturpflanzen (Ausfallquote), Ertrag und Qualität der Zuckerrüben, Bewertung des Beikrautaufkommens, Flächenleistung und Störzeiten, Handarbeitszeitbedarf beim Hacken, Arbeitserledigungskosten, Verbesserungsvorschläge.
Versuchsanlage: Auf dem 6,28 ha großen Versuchsfeld wurde ein Versuchsbereich von 2,10 ha festgelegt. Der erste Anbau der Zuckerrüben erfolgte am 14.04.2022 mittels 12-reihiger Einzelkornsämaschine, wobei der Feldaufgang sehr schlecht war und somit am 10.05.2022 erneut angebaut werden musste. In folgender Abbildung ist der Versuchsplan abgebildet. Der blaue Bereich stellt den Wendebereich dar, welcher mit Hafer bepflanzt wurde, damit dem Roboter das Wenden leichter fällt. Der dunkelgrüne Bereich stellt die Robotervariante dar, der hellgrüne Bereich die Traktorvariante. Eine Wiederholung entspricht 24 Zuckerrübenreihen. In den Monitoringbereichen (orange Striche quer zur Bearbeitungsrichtung) sollen Fotos und Daten erhoben werden. Die Skizze ist nicht maßstabsgetreu.



Feldgrenze	Grenze zw. Vorgewende-fläche und Feldinnerem	Randfläche (24 Reihen)	2 Varianten	Monitoring-bereich	Restfläche (je 18 Reihen; keine Messungen)	12m Wende-bereich (Hafer)

Abbildung 1: **Versuchsplan**

Ergebnisse und Diskussion

Ausgehackte Kulturpflanzen:

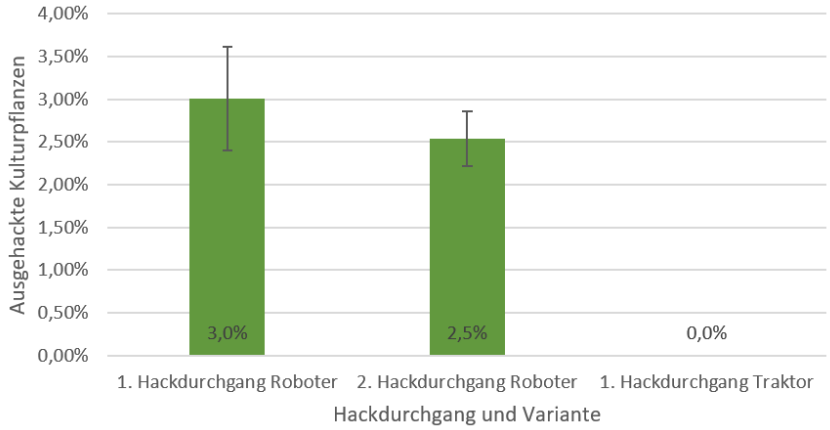
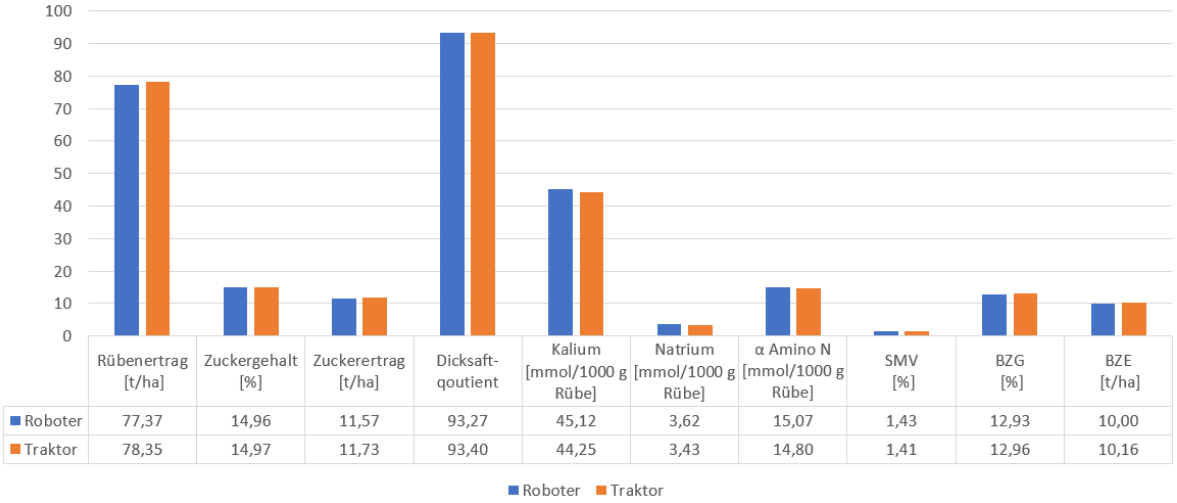


Abbildung 2: **Ausgehackte Kulturpflanzen (Ausfallquote)**

Ertrag und Qualität der Zuckerrüben:



	Rübenertrag [t/ha]	Zuckergehalt [%]	Zuckerertrag [t/ha]	Dicksaft-qoutient	Kalium [mmol/1000 g Rübe]	Natrium [mmol/1000 g Rübe]	α Amino N [mmol/1000 g Rübe]	SMV [%]	BZG [%]	BZE [t/ha]
Roboter	77,37	14,96	11,57	93,27	45,12	3,62	15,07	1,43	12,93	10,00
Traktor	78,35	14,97	11,73	93,40	44,25	3,43	14,80	1,41	12,96	10,16

Abbildung 3: **Ertrag und Qualität der Zuckerrüben**

Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Flächenleistung und Störzeiten:

Für eine Wendung am Vorgewende benötigte der Roboter zwischen 4,30 Minuten und 5,50 Minuten, der Median betrug 4,73 Minuten bei 10 Messungen. Bei einer Feldlänge von 230 m, einer Wendezeit von 5,00 Minuten und einer Arbeitsgeschwindigkeit von 0,9 km/h erreichte der Roboter eine Flächenleistung von 0,036 ha/h. Dies ergibt eine Tagesleistung von 0,86 ha/Tag, jedoch kommen hier noch die Steh- und Störzeiten des Roboters hinzu. Im Versuchsbereich wurde der zweite Hackdurchgang am 13.06.2022 20:30 gestartet und am 16.06.2022 13:00 beendet. Da die Versuchsfläche 1,242 ha betrug, schaffte es der Roboter inklusive aller Steh- und Störzeiten auf eine Flächenleistung von 0,020 ha/h, was einer Tagesleistung (24 h) von 0,46 ha entspricht. Die Störzeiten betrugen schlussendlich 2,48 h/ha.

Handarbeitszeitbedarf:

Um die Handarbeitszeit zu ermitteln, die notwendig war, um den gesamten Versuchsbereich beikrautfrei zu bringen, wurden die fünf Saisonarbeitskräfte von Landwirt Preitfellner mit GPS-Tracker ausgestattet. Diese zeichneten Daten auf, welche mit der Software QGIS ausgewertet wurden, damit auf die benötigten AKh/ha geschlossen werden konnte. Der Beikrautdruck lag durchschnittlich bei 132,5 Beikräuter/m². Bei der Traktorvariante waren im Mittel 105 AKh/ha notwendig, um den Bestand unkrautfrei zu bringen, bei der Robotervariante waren es 80 AKh/ha. Der Unter-schied war nicht signifikant, jedoch konnten im Mittel 25 AKh/ha eingespart werden.

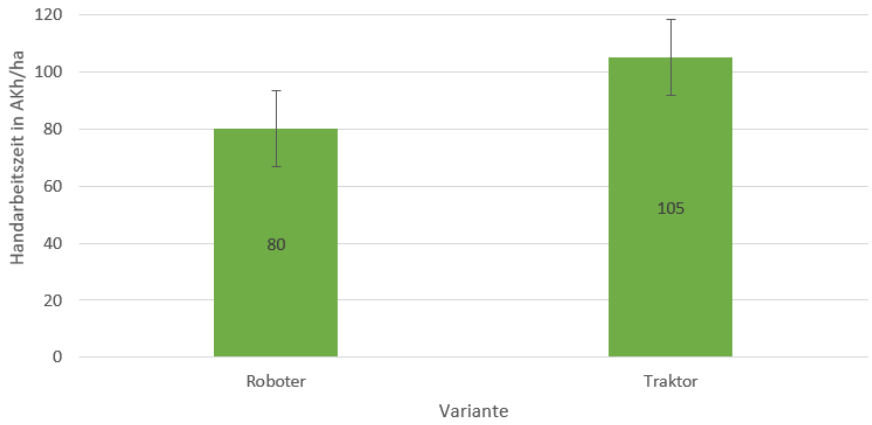


Abbildung 4: **Handarbeitszeitbedarf zur händischen Beikrautbereinigung bei einem Beikrautdruck von 132,5 Beikräutern/m²**

Arbeitserledigungskosten:

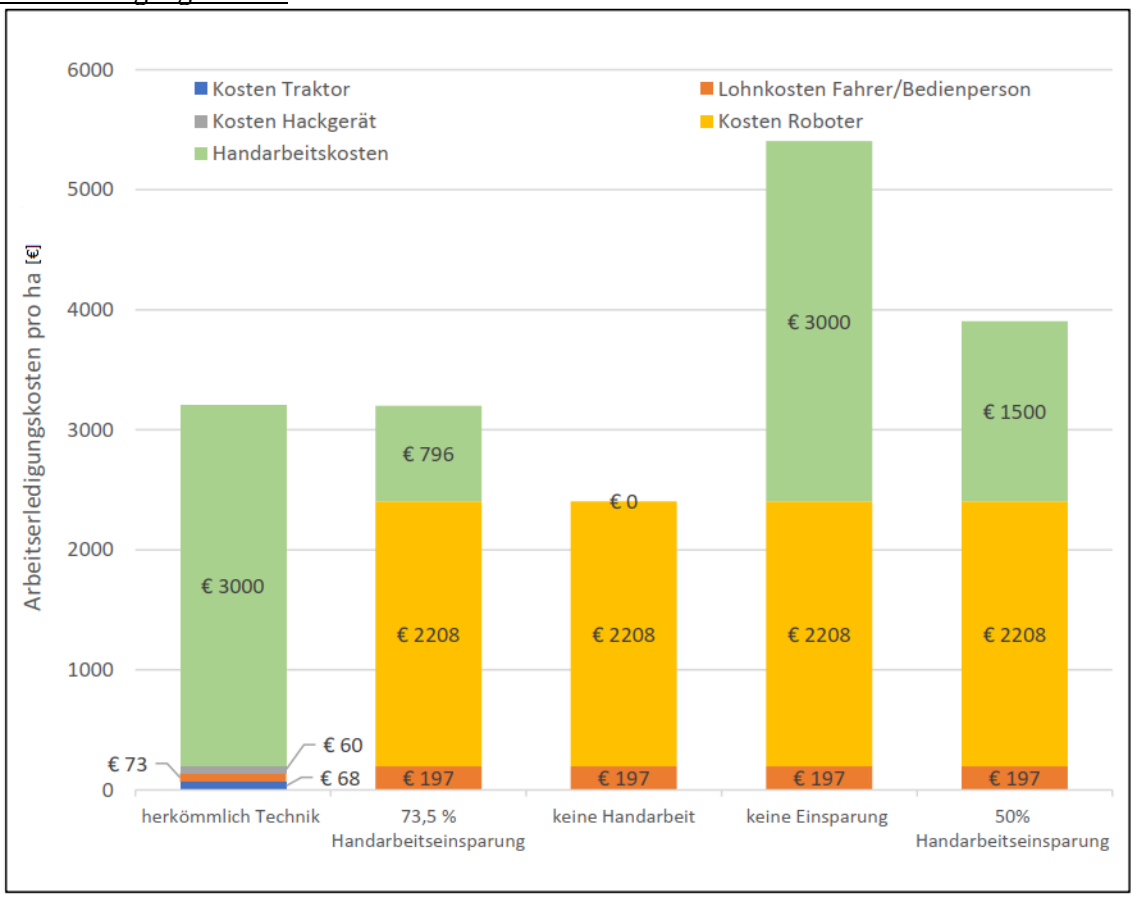


Abbildung 5: **Arbeitserledigungskosten**

Grundsätzlich wurde von zwei Feldern mit je 6 ha und drei Hackdurchgängen ausgegangen. Die Lohnkosten betragen 25 €/h für die Bedienperson des Roboters und den Lenker des Hackgerätes, sowie für die Handarbeitskräfte von 15 €/h. In Summe wurde mit 33 Feldarbeitstagen kalkuliert. Die variablen Kosten des Roboters enthalten die Treib-stoffkosten für den Stromerzeuger, wobei der Verbrauch bei 0,6 Liter Benzin/h lag. Die Verschleiß- und Ersatzteile sind in der Miete (Fixkosten) enthalten. 1,50 € pro Liter Benzin wurden angenommen. Bei der herkömmlichen Technik wurde ein 6-reihiges Hackgerät mit einem 50-kW-Traktor gezogen. In der Abbildung 5 sieht man einen Vergleich von herkömmlicher Technik mit Hackgerät und Traktor zu Robotertechnik mit dem Farming GT. Verglichen wurden die verschiedenen Techniken mit unterschiedlichen Handarbeitseinsparungen. Es wurde bei der Traktormechanisierung von einem Handarbeitszeitbedarf von 200 AKh/ha ausgegangen.

Zusammenfassung

Die Anwender sind sich einig, dass der Roboter sehr leicht zu bedienen war und bis auf die angesprochenen Verbesserungsvorschläge sehr gut funktioniert hat. Ziel ist es, Arbeits-kraftstunden für die Handhacke einzusparen. Der Hackroboter schaffte eine Einsparung von 25 AKh/ha im Vergleich zu einer herkömmlichen Traktorhackgerätvariante. Die Ergebnisse von Josephinum Research ergeben, dass der Roboter 2022 jedoch noch nicht praxistauglich war. Zusammenfassend sei gesagt, dass dieses Konzept des Farming GT der Firma Farming Revolution in Zukunft sehr vielversprechend ist. Der Hackroboter wurde Stand April 2022 innerhalb von einem Jahr konstruiert, wodurch noch Entwicklungszeit benötigt wird. Josephinum Research hat die Verbesserungsvorschläge an Farming Revolution weitergegeben und nun liegt es an der Firma diese umzusetzen. Bei Behebung dieser Probleme kann ein Robotereinsatz in der breiten Praxis durchaus möglich sein. Wichtig ist, dass der Landwirt sehr wenig Betreuungsaufwand bringen muss und der Roboter sehr verlässlich und genau hackt. Durch das Hacken näher zur Pflanze können viele Arbeitskraft-stunden für das händische Hacken eingespart werden. Die Kosten für Saisonarbeitskräfte steigen und auch die Verfügbarkeit ist auf vielen Betrieben nicht immer sichergestellt. Bei einem funktionierenden System kann die Robotik diese Probleme lösen. Zukünftig wird auch der Energieverbrauch eine sehr große Rolle spielen. Mit einer Antriebsleistung des Verbrennungsmotors von 1,5 kW ist der Farming GT sehr energieeffizient. In Zukunft sollte auf jeden Fall die Robotik weiterhin erforscht und untersucht werden, um diese Potentiale zu nutzen und in die Praxis zu bringen.

Abstract

The users agree that the robot was very easy to operate and worked very well except for the suggestions for improvement mentioned. The goal is to save man-hours for hand hoeing. The robot hoe created a savings of 25 AKh/ha compared to a conventional tractor hoe. However, the results of Josephinum Research reveal that the robot was not yet practical in 2022. In summary, this concept of Farming GT from Farming Revolution is very promising in the future. As of April 2022, the chopping robot was constructed within one year, which still needs development time. Josephinum Research has passed the suggestions for improvement to Farming Revolution and now it is up to the company to implement them. If these problems are rectified, robot use may well be possible in widespread practice. Importantly, the farmer must provide very little supervision and the robot will hoe very reliably and accurately. By hoeing closer to the plant, many labor hours can be saved on hand hoeing. The cost of seasonal labor increases and availability is also not always assured on many farms. With a working system, robotics can solve these problems. In the future, energy consumption will also play a very important role. With a drive power of the combustion engine of 1.5 kW, the Farming GT is very energy efficient. In the future, robotics should definitely continue to be researched and investigated in order to utilize these potentials and bring them into practice.

Literatur

WASCHL A (2022): KI-gestützter Robotereinsatz zur herbizidfreien Beikrautbekämpfung in Bio-Zuckerrüben. Bachelorarbeit an der FH Wiener Neustadt

ROHRINGER T, HANDLER F, WASCHL A (2023): KI-gestützter Robotereinsatz zur herbizidfreien Beikrautbekämpfung in Bio-Zuckerrüben. Abschlussbericht Josephinum Research

Adressen der Autoren

Josephinum Research, Rottenhauser Str. 1, A-3250 Wieselburg

* Ansprechpartner: Thomas ROHRINGER, thomas.rohringer@josephinum.at

DI Franz HANDLER, franz.handler@josephinum.at

Ganzheitlich, vielfältig, innovativ – Pflanzenschutz im Gartenbau

Holistic, diverse, innovative – Plant Protection in Horticulture

Ute Katharina Vogler

Einleitung

Nachhaltiger ökologischer und integrierter Pflanzenschutz für Kulturpflanzen ist Voraussetzung für einen effizienten Produktionsgartenbau, moderne gartenbauliche Dienstleistungen und das urbane Grün. Dabei unterliegt die Pflanzenproduktion zahlreichen Herausforderungen wie z. B. Ressourcenknappheit und Wegfall von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzprodukten. Gleichzeitig werden gesunde Pflanzen und pflanzliche Nahrungsmittel, die für das innere Gleichgewicht und eine abwechslungsreiche Ernährung essentiell sind, gefordert.
Das Ziel im ökologischen und integrierten Anbau ist eine nachhaltige Pflanzenproduktion mit hohem Ertrag und hoher Ertragsqualität in resilienten Anbausystemen, die tragfähig sind.
Klimaveränderungen, Digitalisierung in der Pflanzenproduktion, technische Innovationen und sich weiterentwickelnde Produktionsweisen im Freiland und Gewächshaus sowie in vertikalen Produktionssystemen schaffen neue Produktionsbedingungen. Für einen zukunftsweisenden Gartenbau sind daher ganzheitliche Pflanzenschutzkonzepte erforderlich. Diese dienen der Ernährungssicherheit, der Biodiversität und einer lebenswerten Stadt.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Das Ziel eines erfolgreichen Pflanzenbaus ist die ökonomisch erfolgreiche Vermarktung der nachgefragten Menge mit der geforderten Qualität. Hierfür müssen somit Erntemenge und Qualität der Erzeugnisse gesichert und gewährleistet werden. Einerseits gilt es Vermarktungsnormen und Kontrollvorschriften nach europäischen Vorgaben wie der Verordnung (EU) Nr. 1308/2013 und Verordnung (EU) Nr. 543/2011 umzusetzen (https://www.ble.de/DE/Themen/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/Obst-Gemuese/obst-gemuese_node.html). Dazu gehört, dass „pflanzenschutzrechtliche Vorschriften zur Gewährleistung der Hygiene, Genusstauglichkeit der Erzeugnisse und zum Schutz der Gesundheit von Menschen, Tieren und Pflanzen (Verordnung (EU) Nr. 1308/2013) eingehalten werden und die Erzeugnisse in „einwandfreiem Zustand“ (Verordnung (EU) Nr. 1308/2013) und von „vermarktbarer Qualität“ (Verordnung (EU) Nr. 1308/2013) sind. Gleichzeitig ist das Ziel, dass der Lebensmittelverschwendung Einhalt geboten wird (z. B. Koalitionsvertrag der Ampelkoalition in Deutschland 2021). Um beides erreichen zu können, ist es zwingend erforderlich, die Kulturpflanzen und ihre Erzeugnisse vom Mutterpflanzenbestand für die generative (Samen) und vegetative (z.B. Stecklinge) Vermehrung, während der Kulturführung bis zur Ernte und darüber hinaus zu schützen. Dabei nimmt der Pflanzenschutz eine zentrale Rolle ein und wird definiert als „Schutz vor Schadorganismen und nichtparasitären Beeinträchtigungen“ (Pflanzenschutzgesetz PflSchG §2, Begriffsbestimmungen), und der integrierte Pflanzenschutz als eine „Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird“ (PflSchG § 2, Begriffsbestimmungen).
Auf europäischer Ebene wird in der Farm to Fork Strategie (European Union, 2020) gefordert, die Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln bis 2030 um 50% zu reduzieren und sichere Alternativen zum Schutz der Kulturpflanzen und Erntegüter im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes zu entwickeln.

Vorbeugende Maßnahmen im ökologischen und integrierten Pflanzenschutz

Grundlage für den ökologischen und integrierten Pflanzenschutz im Gartenbau bildet der ganzheitliche Ansatz und beginnt mit gesundem Pflanzenausgangsmaterial für einen erfolgreichen Kulturverlauf. Angepasste Anbau- und Kultursysteme im Freiland oder Gewächshaus sind wichtige Voraussetzungen, um das Kulturrisiko zu reduzieren und die erforderliche Qualität und Quantität der Ernteprodukte zu sichern. Zum Beispiel kann durch gezielte Bodenbearbeitung der Befall von Spargel durch die Spargelfliege reduziert werden (Wichura et al. 2022) und durch die Anpassung von Untersaaten mit Weizen in

Kombination mit/ohne blühenden Pflanzen konnte der Befall mit Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* reduziert werden (Köneke et al. 2023). Allerdings war dieser Effekt nicht bei allen Schädlingen an Weißkohl gleichermaßen (Köneke et al. 2023). Anpassungen im Anbausystem sind erforderlich, um führzeitig und vorbeugend abiotische und biotische Einflussfaktoren zu reduzieren. Umso früher ein Gleichgewicht im System aufgebaut wird, umso widerstandsfähiger ist das Anbausystem.
Trotz aller vorbeugenden Maßnahmen sind regelmäßige Kulturkontrollen und ein Monitoring der Pflanzenbestände im Gartenbau erforderlich. Durch genaue Kenntnisse des Pflanzenbestands und der Aktivität sowie Biologie möglicher Schadorganismen, können gezielte Maßnahmen abgewogen und ergriffen werden (Collier et al 2020). Der Befall mit Schadorganismen und damit auch der gezielte Einsatz physikalischer, biologischer, biotechnischer, chemischer und chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmaßnahmen zur Befallsvermeidung, Befallsminderung und Bekämpfung erfolgt situationsbedingt und je nach Bedarf.

Längerfristige Maßnahmen im ökologischen und integrierten Pflanzenschutz

Längerfristige Maßnahmen im ökologischen und integrierten Pflanzenschutz dienen dazu, um mögliche Risikofaktoren, die auf- oder eintreten können, zu reduzieren. Dazu gehört, dass deren Auf- und Eintreten im Jetzt und Heute für die Zukunft abgeschätzt wird. Dabei sind Erfahrungen im Anbau gartenbaulicher Kulturen aus den Vorjahren sowie Modelle und Prognosen notwendig.
Das spielt vor allem bei der Züchtung und Entwicklung neuer Sorten mit Resistenzen und Toleranzen gegenüber abiotische und biotische Schadfaktoren eine große Rolle. So ist das Auftreten von Schadorganismen häufig mit der Kultur bestimmter gartenbaulicher Kulturpflanzen verbunden. Zum Beispiel wird Rittersporn *Delphinium* spp. häufig von Echtem Mehltau *Erysiphe aquilegiae* befallen. Der Befall ist abhängig von der Witterung und häufig findet dieser spätestens zu Mitte des Jahres statt (Idczak und Götz, 2018). Aus diesem Grund ist es aus Sicht des ökologischen und integrierten Pflanzenschutzes für den Privatgarten, das urbane Grün und den Gartenbau, wichtig, widerstandsfähige Sorten anzupflanzen, um den Einsatz von kurzfristigen Pflanzenschutzmaßnahmen zu vermeiden.

Kurzfristige Maßnahmen im ökologischen und integrierten Pflanzenschutz

Kurzfristige Maßnahmen im ökologischen und integrierten Pflanzenschutz sind erforderlich, wenn Situationen eintreten, die im Vorfeld im Anbau einer gartenbaulichen Kultur nicht als möglicher Risikofaktor einkalkuliert wurde oder weil keine längerfristigen Maßnahmen wie z. B. resistente Sorten verfügbar sind. Trotz aller vorbeugenden Maßnahmen kann es zu Befall mit Schadorganismen kommen und erfordern je nach Ausgangs- und Befallssituation angepasste kurzfristige Maßnahmen, um einen Verlust der Ernte zu vermeiden. Zu den kurzfristigen Maßnahmen gehört der gezielte Einsatz physikalischer, biologischer, biotechnischer, chemischer und chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmaßnahmen. Wobei nicht alle der hier genannten kurzfristigen Maßnahmen im ökologischen Pflanzenschutz eingesetzt werden dürfen. Die eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen dienen der Befallsvermeidung, Befallsminderung und Bekämpfung und sind situationsbedingt und je nach Bedarf zu ergreifen (Feldmann und Vogler, 2020).

Diskussion

Der ökologische und der integrierte Pflanzenschutz sind im Gartenbau nicht mehr wegzudenken. Gerade im Einsatz von Nützlingen stellt der Gartenbau eine Vorreiterrolle dar (Backhaus und Vogler, 2018) und biologische Pflanzenschutzverfahren sind in gartenbaulichen Kulturen besonders weit entwickelt (Koch et al., 2019). Unterstützend wirken Automatisierung und Digitalisierung in der Erfassung definierter Parameter im Pflanzenbestand und Überprüfung aufgebauter Fallensysteme, um zum Beispiel gefangene Organismen zu bestimmen (Böckmann et al., 2021).
Vor dem Hintergrund des Klimawandels und Extremwetterereignisse ebenso wie durch das Auftreten neuer heimischer und nicht-heimischer Schadorganismen sind Anbausysteme im Freiland und im Gewächshaus an die sich ändernden Bedingungen anzupassen. Ebenso treten durch den Wegfall von Pflanzenschutzmitteln mit einem breiten Wirkungsspektrum Organismen auch als Schädling auf, die bisher nicht oder kaum als Schadorganismus bekannt waren. Und es werden neue Produkte z. B. auf mikrobieller Basis oder neuen Technologien entwickelt, zu denen noch wenig Erfahrung in der Anwendung und im Einsatz vorhanden sind.

Die Chancen und Risiken des Pflanzenschutzes sind darin begründet, dass in den jeweiligen Anbausystemen für Kulturpflanzen-Schadorganismen-Kombinationen geeignete Maßnahmen entwickelt und für den Anbau verfügbar sein werden müssen. Einige dieser Maßnahmen können aus anderen Kulturen übernommen und für die Ansprüche im Gartenbau angepasst werden. Diese Herausforderung kann nicht alleine auf Betriebsniveau erarbeitet, entwickelt und umgesetzt werden, sondern bedarf der anwendungsorientierten Forschung, und je nach Ausgangslage entsprechende rechtliche Rahmenbedingungen wie z.B. Genehmigung und Zulassung eines bestimmten Verfahrens.
Für einen erfolgreichen integrierten Pflanzenschutz im Gartenbau spielen Ausbildung, Erfahrung und daraus resultierend die Kommunikation zwischen allen Akteuren und Akteurinnen eine entscheidende Rolle (Gott und Coyle, 2019). Das ist auf jede Weiterentwicklung im Pflanzenschutz anzuwenden, um Fortschritt, Innovation und Transformation der Anbausysteme im Gartenbau in Kultur- und Pflanzenschutzmaßnahmen umzusetzen.

Zusammenfassung

Ganzheitlich, vielfältig, innovativ. Das ist der Pflanzenschutz im Gartenbau. Eine große Vielzahl an unterschiedlichsten botanischen Familien wurden im Gartenbau domestiziert und mit einer großen Vielzahl an Sorten in Kultur genommen. Dementsprechend breit ist die Palette an Schadorganismen. Das erfordert unterschiedliche Anbausysteme und die Schaffung von optimalen Bedingungen für die Anzucht der Pflanzen. Rechtliche Vorgaben in der Vermarktung und dem Pflanzenschutz zeigen Grenzen und Möglichkeiten auf. Um diese einhalten und umsetzen zu können, sind vorbeugende, längerfristige und kurzfristige Maßnahmen notwendig. Umso früher ein stabiles Anbausystem mit natürlichen Gegenspielern aufgebaut und etabliert werden kann, um so widerstandsfähiger ist das Anbausystem und trägt zur Produktion gesunder Pflanzen bei. Hierfür sind Forschung, aber auch Ausbildung, Weiterbildung, Beratung und Wissensvermittlung von großer Bedeutung, um Erkenntnisse aus der Forschung in die Praxis zu bringen.

Abstract

Holistic, diverse, innovative. That is plant protection in horticulture. A large number of very different botanical families have been domesticated in horticulture and cultivated with a great variety of cultivars. The range of harmful organisms is correspondingly broad. This requires different cultivation systems and the creation of optimal conditions for growing the plants. Legal requirements in marketing and plant protection show limits and possibilities. In order to comply with and implement these, preventive, longer-term and short-term measures are necessary. The earlier a stable cultivation system with natural antagonists can be built up and established, the more resistant the cultivation system will be and the more it will contribute to the production of healthy plants. For this, research as well as training, further education, advice and knowledge transfer are of great importance in order to bring findings from research into practice.

Literatur

BACKHAUS G. F., Vogler U. (2018). Über den Gartenbau der Zukunft. ZVG Report 11.
BÖCKMANN E., Pfaff A., Schirrmann M., Pflanz M. (2021). Rapid and low-cost insect detection for analysing species trapped on yellow sticky traps. Scientific Reports. 22, 12854.
BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG. Vermarktungsnormen für frisches Obst und Gemüse. https://www.ble.de/DE/Themen/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/Obst-Gemuese/obst-gemuese_node.html (Abgerufen 02.05.2023).
COLLIER R., Mazzi D., Schjoll A. F., Schorpp Q., Thöming G., Johansen T. J., Meadow R., Meyling N. V., Cortesero A.-M., Vogler U., Gaffney M. T., Hommes M. (2020). The potential for decision support tools to improve the management of root-feeding fly pests of vegetables in Western Europe. Insects 11, 369.
EUROPEAN UNION (2020). Farm to Fork Strategy – For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf (Abgerufen 02.05.2023).

FELDMANN F., Vogler U. (2020). Towards sustainable performance of urban horticulture: ten challenging fields of action for modern integrated pest management in cities. Journal of Plant Diseases and Protection. 128, 55-66.
GESETZ ZUM SCHUTZ DER KULTURPFLANZEN (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) §2 Begriffsbestimmung. https://www.gesetze-im-internet.de/pflschg_2012/__2.html (Abgerufen 02.05.2023).
GOTT R. C., Coyle D. R. (2019). Educated and engaged communicators are critical to successful integrated pest management adoption. Journal of Integrated Pest Management. 10, 1, 35.
IDCZAK E., Götz M. (2018). Echter Mehltau – Wie empfindlich sind Delphinium-Sorten? DEGA Gartenbau. 72, 9, 44-46.
KÖNEKE A., Uesugi R., Herz A., Tabuchi K., Yoshimura H., Shimoda T., Nagasaka K., Böckmann E. (2023). Effects of wheat undersowing and sweet alyssum intercropping on aphid and flea beetle infestation in white cabbage in Germany and Japan. Journal of Plant Diseases and Protection 130, 619-631.
KOALITIONSVERTRAG 2021 zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021). https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800 (Abgerufen 02.05.2023).
KOCH E., Herz A., Kleespies R. G., Schmitt A., Stephan D., Jehle J. A. (2019). Statusbericht Biologischer Pflanzenschutz 2018.
VERORDNUNG (EU) Nr. 1308/2013 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 17. Dezember 2013. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Ernaehrung-Lebensmittel/Vermarktungsnormen/EinUndAusfuhrkontrolle/VO_1308_2013_Auszug.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (Abgerufen 02.05.2023).
WICHURA A., Schorpp Q., Kühlmann V., Hommes M. (2022). Routine on-farm soil tillage helps control Asparagus fly (*Plioreocepta poeciloptera*). Gesunde Pflanze 74,1-8.

Adressen der Autoren

Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

* Ansprechpartnerin: Dr. Ute Katharina VOGLER, ute.vogler@julius-kuehn.de

Torfersatz aus Laubholzfasern – Pflanzenschutz von der Wurzelspitze an

Peat substitute from hardwood fibres – plant protection from the tip of the root

Nora Roesky[1*], Fokko Schütt[2], Dirk Behrens[2], Jörn Appelt[2], Rodrigo Coniglio[2], Sina Ehrich[1], Vera Hörmann[1], Benjarong Karbowy-Thongbai[1], Ute Vogler[1]

Einleitung

Intakte Moore sind der größte CO_2-absorbierende terrestrische Lebensraum der Welt (SCHÄFFER 2009). Zum Schutz des Klimas fordert die Deutsche Bundesregierung in ihrer Torfminderungsstrategie den vollständigen Verzicht auf Torf in Kultursubstraten im Hobbygartenbau bis zum Jahr 2026 und eine Torfreduzierung auf das größtmögliche Maß im Erwerbsgartenbau bis zum Jahr 2030 (BMEL 2022).

Holzfasern haben als Torfersatz viele positive Eigenschaften, welche die Pflanze gesund erhalten und einen Pflanzenschutz von Beginn an fördern können. Dazu gehören die Rohdichte, die Luftkapazität, die Wiederbenetzbarkeit sowie der Salz-, Stickstoff-, Phoshor-, Kali-, Natrium- und Chloridgehalt. Die nachteiligen Eigenschaften zeigen sich in einer geringen Wasserkapazität und insbesondere bei der N-Immobilisierung durch mikrobiellen Abbau. (BLE 2020)

Darüber hinaus besteht Klärungsbedarf, ob aus dem thermo-mechanischen Zerfaserungsprozess der Holzhackschnitzel bei Temperaturen über 100 °C phytotoxische Abbauprodukte resultieren könnten.

Ziel des „HoFaTo"-Projektes (Holzfaserstoffe als Torfersatz) ist die Untersuchung von bisher als Torfersatz ungenutzten Ressourcen. Bisher werden Holzfaserstoffe für diesen Einsatzzweck ausschließlich aus Nadelhölzern wie Kiefer oder Fichte erzeugt. Die Nutzungskonkurrenz durch die holzverarbeitende Industrie ist in diesen Rohstoffsortimenten sehr groß. Zusätzlich wird durch die Umstrukturierungen im Forst, die sich durch die Folgen des Klimawandels ergeben, voraussichtlich der Nadelholzanteil sinken. Daher werden im Projekt ausgewählte Laubholzfasern und Rohstoffe aus Paludikulturen für ein gesundes torfreduziertes oder gar torffreies Pflanzenwachstum untersucht. Im Folgenden wird zunächst ein Ausblick auf das Gesamtprojekt gegeben und weiterhin auf die Vorversuche eingegangen.

Material und Methoden

„HoFaTo"-Projekt gesamt: Um im Rahmen der Torfminderungsstrategie möglichst ein breites Spektrum bisher ungenutzter Materialien zu eruieren und den Pflanzen von der Wurzelspitze an ein geeignetes Substrat zu bieten, beschäftigt sich das Projekt „HoFaTo":

- mit der Auswahl von Laubhölzern und Rohstoffen aus Paludikulturen zur Reduzierung des Torfanteils in Substraten
- dem Herstellungsprozess vom Rohstoff zum Substrat
- der Charakterisierung der Holzfasern im Vergleich zu Torf
- der analytischen Bestimmung und Quantifizierung von Holzextrakten und thermischen Abbauprodukten
- der Modifizierung der Holzfasern durch Ligninanlagerung sowie einer Ammonisierung zur Verbesserung der Substrateigenschaften, insbesondere zur Herabsetzung der N-Immobilisierung
- **der entsprechenden Untersuchung des mikrobiellen Abbaus**
- der Pflanzenverträglichkeit in normierten Pflanzenverträglichkeitstest in der Petrischale und im Gewächshaus sowie gartenbaulichen Versuchen bis hin zur
- Treibhausgasbilanzierung.

Das Material für die Untersuchungen in der Eignung als Torfersatz beinhaltet *Betula pendula* Roth. (Birke), *Populus alba L.* (Pappel), *Alnus glutinosa* Gaertn. (Schwarzerle), und *Phragmites australis* (Schilfrohr). Bei der Schwarzerle und dem Schilfrohr handelt es sich gleichzeitig um Pflanzen, welche in Paludikulturen angebaut werden können. *Picea abies* Karst. (Fichte) und *Pinus sylvestris* L. (Kiefer) werden zum Vergleich mit industriell hergestellten Holzfasern, die hauptsächlich in Substraten verwendet werden, in den Test aufgenommen. Baltischer Weißtorf dient als Referenzprobe.

Vorversuch:
Rohstoffe: *Fagus sylvatica* L. (Buche) und *Picea abies* Karst. wurden für die Durchführung von Vorversuchen verwendet. Weißtorf wurde als Referenzmaterial genutzt.
Aufschlüsse: Die Holzhackschnitzel wurden bei einer Prozesstemperatur von 130 °C und 175 °C in einem 10-L-Dampfdruckdefibrator (Martin Busch und Sohn, Schermbeck, Germany) zerfasert. Dabei entsteht ein wässriger Extrakt, der anschließend, ebenso wie die Holzfasern, analysiert und auf seine Pflanzenverträglichkeit hin getestet wurde. Der Extrakt wurde tiefgekühlt und die Holzfasern wurden bei 4 °C bis zur Analyse gelagert.
Faserstoffanalytik: Die Faserstoffe wurden auf ihren **Wassergehalt nach DIN EN 13040:2008, das Wasserrückhaltevermögen** nach **TAPPI UM 256 (2011) und dem Zellcheming Merkblatt IV/33/57 (1957) sowie die Schüttdichte nach DIN EN 13040:2008 untersucht. Die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte zur Bestimmung des C:N-Verhältnisses wurden durch Elementaranalyse nach der DUMAS-Methode mit einem Vario-EL Cube ermittelt. Die Bestimmung des Ligningehaltes der Faserstoffe erfolgte als Rückstand nach zweistufiger saurer Hydrolyse (Klason-Lignin).**
Extraktanalyse: Die pH-Wert-Messung erfolgte nach DIN EN 13037:2012 und die Messung des Salzgehaltes nach DIN EN 13038:2012.
Die Prüfung der neuartigen Substratausgangsstoffe und der zugehörigen Extrakte auf ihre Phytotoxizität (Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit) erfolgten nach dem Kontakt- und Extraktverfahren nach DIN EN 16086-2:2011 mit *Lepidium sativum* L. (Kresse) in quadratischen Petrischalen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Materialsammlung des „HoFaTo"-Projektes ist abgeschlossen und beinhaltet als Referenz die Nadelholzarten Picea abies Karst. (Fichte) und Pinus sylvestris L. (Kiefer). Die Auswahl der Torfsubstitute, wurde nach den folgenden Kriterien getroffen: 1. schnelles Wachstum der Laubholzarten 2. geringe Nutzungskonkurrenz und 3. Anbaumöglichkeit in Paludikulturen. Picea abies Karst. (Fichte, PCAB) und Fagus sylvatica L. (Buche, FASY) wurden in Vorversuchen nach Vordämpfung für 10 min bei 130 °C und 175 °C zerfasert und hinsichtlich ihrer Eigenschaften charakterisiert. Eine Auswahl der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Holzfasern des Vorversuchs ist in Tabelle 1 aufgeführt. Weißtorf wird als Referenz angegeben.

Tabelle 1: **Ausgewählte physikalische und chemische Materialeigenschaften von zerfaserter *Picea abies* Karst. (PCAB) und *Fagus sylvatica* L. (FASY); extreme Unterschiede Holzfaser-Torf in grau markiert; n=3, Mittelwerte; *=Literaturwerte (BLE, 2020). PCAB 130 – *P. abies* aufgefasert bei 130 °C; PCAB 175 – *P. abies* aufgefasert bei 175 °C; FASY 130 – *F. sylvatica* aufgefasert bei 130 °C; FASY 175 – *F. sylvatica* aufgefasert bei 175 °C.**

	PCAB 130	PCAB 175	FASY 130	FASY 175	Weißtorf, fein
Wassergehalt in %	50.1	50.4	53.8	55.6	53.8
Wasserrückhaltevermögen in %	104.2	115.6	104.1	115.6	210.1
Schüttdichte in g/ℓ	24	22	56	45	84
C:N-Verhältnis (Fasern)	295:1	314:1	306:1	264:1	41:1
Klason Ligningehalt in % (Fasern)	31.8	33.7	24.9	25.4	52.6

pH-Wert (Extrakt)	5.5	4.0	5.7	3.9	3.0*
Salzgehalt in g/ℓ (Extrakt)	0.12	0.22	0.22	0.33	<0.2*

Beim Vergleich von Holzfaser- und Torfeigenschaften wird erkennbar, dass die Unterschiede primär in dem Wasserrückhaltevermögen, der Schüttdichte, dem **C:N-Verhältnis** und dem Ligningehalt, in der Tabelle in grau markiert, zu finden sind.
Wie zu erwarten (BLE 2020), ist das Wasserrückhaltevermögen nur etwa halb so hoch wie bei Torf, was eine nachteilige Eigenschaft von Holzfasern als Torfsubstitut darstellt. Jedoch behalten Holzfasern, im Gegensatz zu Torf, ihre hydrophile Eigenschaft, selbst wenn das Substrat einmal vollständig ausgetrocknet war (DURAND et al. 2021), was als eine positive Eigenschaft gewertet werden kann. Weiterhin ist ein deutlicher Unterschied in der Schüttdichte zu vermerken, der sich in der Struktur der Holzfasern im Vergleich zum feineren Torf begründet. Mit einer Verdichtung der Holzfasern kann dieser Unterschied bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden. Die lockere Struktur in Kombination mit hohem Grobporenanteil der Holzfasern bewirkt eine sehr gute Drainage- und Luftkapazität (MAHER et al. 2008). Durch die bessere Durchlüftung im Substrat kann Staunässe verhindert werden, was zu weniger Pilz-, Algen- und Flechtenwachstum führen kann.
Das **C:N-Verhältnis** ist bei allen getesteten Holzfasern erwartungsgemäß (GRUDA et al. 1999) mit einem Maximum von 314:1 bei der Fichtenprobe (PCAB 175) sehr weit. Ein **C:N-Verhältnis** von > 35 führt zu einer mikrobiellen N-Immobilisierung (BRUST 2019). Auch der Rückstand nach saurer Hydrolyse welcher für Holz als Klason-Ligningehalt ausgedrückt wird, liegt beim Torf, insbesondere im Vergleich zu den Buchenholzfasern, doppelt so hoch.
Diesen kritischen Faktoren begegnet das „HoFaTo"-Projekt mit der Modifizierung der Holzfasern. Dabei soll durch eine Ligninanlagerung die Abbaubarkeit der Holzfasern verringert werden. Weiterhin soll eine Ammonisierung zu einem engeren **C:N-Verhältnis** führen. Diese Fasermodifizierungen werden vorgenommen, um die N-Immobilisierung herabzusetzen und eine definiertere N-Verfügbarkeit für die Pflanzen im Substrat herzustellen. Ein gesundes Pflanzenwachstum soll die Folge sein.

Die Experimente zur Pflanzenverträglichkeit mit Lepidium sativum L. (Kresse) nach DIN EN 16086-2:2011 im Kontaktverfahren gegenüber den Fichten- und Buchenholzfasern sind in Abbildung 1 dargestellt.

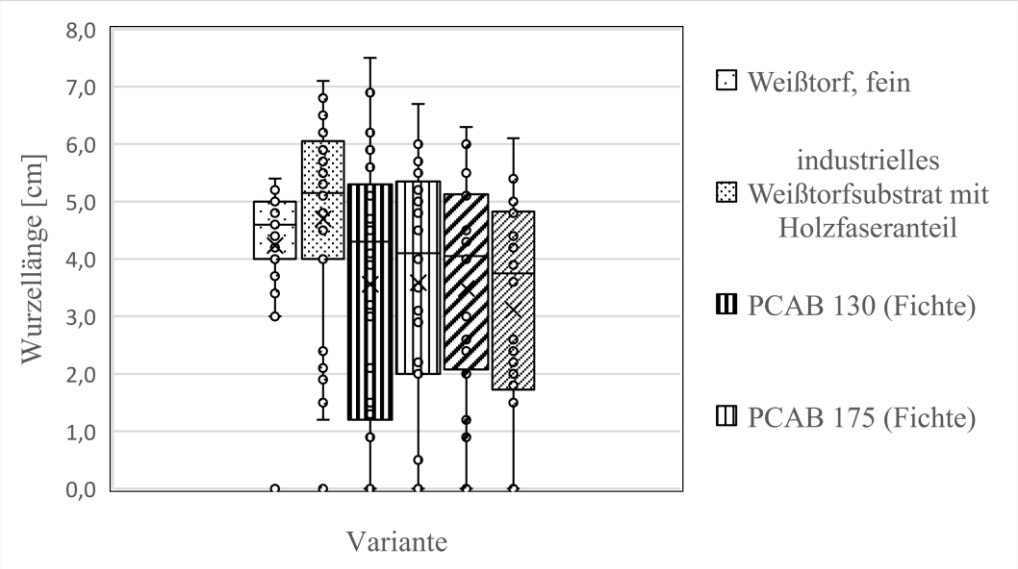


Abbildung 1: **Pflanzenverträglichkeit nach DIN EN 16086-2 Kontaktverfahren, von zerfaserter *Picea abies* Karst. (Fichte) und *Fagus sylvatica* L. (Buche) mit 100 % Faseranteil. PCAB 130 – *P. abies* aufgefasert bei 130 °C; PCAB 175 – *P. abies* aufgefasert bei 175 °C; FASY 130 – *F. sylvatica* aufgefasert bei 130 °C; FASY 175 – *F. sylvatica* aufgefasert bei 175 °C.**

Der Versuch zur Testung potentieller phytotoxischer Stoffe, bei dem neuartige und kommerziell genutzte Substrate in der Petrischale verglichen werden, zeigt gleichzeitig, ob das Substrat generell geeignet ist.
So kann von einer generellen Eignung der bei 130 °C und 175 °C zerfaserten Picea abies Karst. (Fichte, PCAB) und Fagus sylvatica L. (Buche, FASY) ausgegangen werden, wobei das Wachstum der Wurzel bei Torf höher ausfiel als bei den reinen Holzfasern. Das kommerziell vertriebene Substrat mit einem Nadelholzanteil von etwa 20 % schnitt im Gegensatz zu reinem Torf noch besser ab. Hier zeigen sich die positiven Eigenschaften von Holzfasern akkumuliert mit den positiven Eigenschaften von Torf. Die Streuung der Varianten mit Holzfasern erhöht sich, selbst bei der kommerziell vermarkteten Variante, stark. Hier könnten sowohl die Faserstruktur, als auch das **C:N-Verhältnis** und damit die N-Immobilisierung Einfluss haben. Was weiterhin Einfluss auf diese und weitere Unterschiede bei der Nutzung von Laubholzfasern und weiteren Paludikulturen nimmt, wird in zukünftigen Abschnitten des „HoFaTo“-Projekts geklärt.

Zusammenfassung

Potentiell gut geeignete Laubholzfasern wurden bisher nicht als Torfsubstitut verwendet. Um diese ungenutzte Ressource im Rahmen der Torfminderungsstrategie (BMEL 2022) als geeigneten Torfersatz zu untersuchen, wurde kürzlich das Projekt „HoFaTo“ – „Herstellung und Verwendung von Holzfasern als Torfersatz" gestartet. Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf der Aufbereitung und Herstellung von Faserstoffen aus ausgewählten Laubhölzern und Rohstoffen aus Paludikulturen und deren Eignungsprüfung als Torfersatz.
Holzfasern haben als Torfersatz viele Charakteristika, die denen des Torfes ähneln und eignen sich deshalb grundsätzlich gut als Torfersatz. Die nachteiligen Eigenschaften zeigen sich in einer geringen Wasserkapazität und insbesondere bei der N-Immobilisierung durch mikrobiellen Abbau (BLE 2020).
Darüber hinaus besteht Klärungsbedarf hinsichtlich des Vorhandenseins phytotoxischer Abbauprodukte, die aus dem thermo-mechanischen Zerfaserungsprozess der Holzhackschnitzel zur Herstellung des Ausgangstoffes für Kultursubstrate bei Temperaturen über 100 °C resultieren könnten.
Um den ungeklärten Fragen und nachteiligen Eigenschaften zu begegnen, werden in den kommenden Jahren der Projektlaufzeit ausgewählte Laubholzfasern und Rohstoffe aus Paludikulturen in Temperaturreihen von 100 °C bis 180 °C zerfasert, die Fasern modifiziert, um der N-Immobilisierung zu begegnen, und ihre Pflanzenverträglichkeit getestet.
In Vorversuchen für Temperaturreihen von *Fagus sylvatica* L. im Vergleich zu gewöhnlich verwendeter *Picea abies* Karst. konnten hinsichtlich der Zerfaserungstemperatur bereits Unterschiede festgestellt werden. Die Streuung der Varianten hinsichtlich der Keimung und des Längenwachstums der Wurzeln in Holzfasern erhöht sich gegenüber Torf, selbst bei der kommerziell vermarkteten Variante. Bezüglich der Pflanzenverträglichkeit zeigte sich bereits eine vergleichbar gute Eignung. Die ersten Ergebnisse in Verbindung mit der allgemeinen Eignung von Holzfasern als Ersatz für Torf weisen darauf hin, dass vielversprechende Torfsubstitute entwickelt werden können, die die Pflanze schützen - von der Wurzelspitze an.

Abstract

Potentially well-suited hardwood fibres have not yet been used as a peat substitute. In order to investigate this unused resource as a suitable peat substitute within the framework of the peat reduction strategy (BMEL 2022), the project "HoFaTo" - "Production and use of wood fibres as a peat substitute" was recently launched. The focus of the project is on the preparation and production of fibrous materials from selected hardwoods and raw materials from paludiculture and their suitability testing as peat substitutes.

As a peat substitute, wood fibres have many characteristics that are similar to those of peat and are therefore fundamentally well suited as a peat substitute. The disadvantageous characteristics are evident in a low water capacity and especially in N-immobilization through microbial degradation (BLE 2020). Furthermore, there is a need for clarification regarding the presence of phytotoxic degradation products, which could result from the thermo-mechanical defibration process of the woodchips for the production of the feedstock for growing media at temperatures above 100 °C.
To address the unresolved issues and adverse properties, selected hardwood fibres and raw materials from paludiculture will be defibrillated in temperature ranges from 100 °C to 180 °C in the coming years of the project, the fibres will be modified to address N-immobilization and their plant compatibility will be tested. In preliminary tests for temperature series of *Fagus sylvatica* L. compared to usually used *Picea abies* Karst., differences could already be determined with regard to the defibration temperature. The dispersion of the variants with regard to germination and length growth of roots in wood fibres increased compared to peat, even with the commercially marketed variant. With regard to plant compatibility, a comparably good suitability was already shown. The initial results in combination with the general suitability of wood fibres as a substitute for peat indicate that promising peat substitutes can be developed that protect the plant - from the tip of the root.

Literatur

BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG - BLE (2020): Torf und alternative Substratausgangsstoffe.
BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT – BMEL (2022): Torffrei gärtnern, Klima schützen - Die Torfminderungsstrategie des BMEL.
DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. – DIN (2012): Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit – Teil 1: Wachstumstest mit Chinakohl im Topf, Deutsche Fassung EN 16086-2:2011.
DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG e.V. – DIN (2012): Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit – Teil 2: Petrischalentest mit Kresse; Deutsche Fassung EN 16086-2:2011.
DURAND, S., Jackson, B. E. (2021): Nitrogen Immobilization - A high degree of nitrogen immobilization has been observed particularly with nonimpregnated wood fiber. Agronomy 907, 11.
GRUDA N., von TUCHER S., SCHNITZLER W. H. (1999): N-Immobilisierung in Holzfasersubstraten bei der Anzucht von Tomatenjungpflanzen (*Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karst. ex Farw.). Journal of Applied Botany 12, 32-37.
MAHER M., PRASAD M., RAVIV M. (2008): Organic soilless media components. Soilless culture 11, 459-504.
SCHÄFFER S. (2009): Biodiversität und Klimawandel: Synergien aus dem Moorschutz. Biodiversität und Klima-Vernetzung der Akteure in Deutschland V, 18.
VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN e.V. – VDLUFA (2002) Methodenhandbuch I, 3. Teillieferung A 13.5.1.

Adressen der Autoren

[1] Julius-Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

[2] Johann Heinrich von Thünen Institut, Institut für Holzforschung, Haidkrugsweg 1, D-22885 Barsbüttel

[*] Ansprechpartnerin: Dr. Nora ROESKY, nora.roesky@julius-kuehn.de

Das Projekt wird im Rahmen des Klimaschutzsofortprogramms vom BMEL gefördert.

Gärreste und Fasernessel: Herausforderungen und Möglichkeiten als regionale Torfersatzstoffe

Digestates and fiber nettle: challenges and opportunities as regional peat substitutes

Annmarie-Deetja Rohr[1], Katharina Leiber-Sauheitl[2], Doreen Koltermann[3], Christina Eilers[4], Patrick Schnoor[5], Maren Langhof[3], Gerlinde Michaelis[4], Andreas Wrede[5], Ute Katharina Vogler[1]

Bei der Suche nach geeigneten Torfalternativen im professionellen Gartenbau werden im Verbundvorhaben ToPGa (Entwicklung und Bewertung von **To**rfreduzierten Produktionssystemen im **Ga**rtenbau) Gärreste und Fasernesselschäben untersucht und bewertet. Feste Gärrückstände fallen bei der fermentativen Biogasgewinnung an. Die zurzeit am Markt verfügbaren Gärreste wurden gesichtet und in ihren Grundeigenschaften charakterisiert. Mitunter beträchtliche Unterschiede lagen in der Zusammensetzung vor und es wurden hohe pH- und Salz- aber auch Nährstoffgehalte festgestellt. Eine Nutzung dieser vorhandenen Nährstoffe als Düngerersatz wird anhand von salzempfindlichen Baumschulkulturen untersucht.
Bei der Fasernessel (*Urtica dioica* L. convar. f*ibra*) handelt es sich um eine Kovarietät der Großen Brennnessel mit züchterisch gesteigertem Fasergehalt. Fasernesseln haben vergleichbar geringe Ansprüche an den Boden und können auf landwirtschaftlich weniger attraktiven Flächen angebaut werden. Es werden Anbauparameter und Aufbereitungsmethoden untersucht sowie u.a. der Anbau im Agroforstsystem. Als möglicher Torfersatzstoff werden zurzeit die gehäckselten verholzten Anteile der Stängel, die sog. Schäben, untersucht, welche bei der Produktion von Fasern anfallen. Herausforderungen als Torfersatz ergeben sich insbesondere durch eine hohe N-Immobilisierung.
Diese Arbeiten wurden Rahmen des Arbeitspaketes 4 “Neue Stoffe” von ToPGa durchgeführt. ToPGa wird durch das Deutsche Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert.

Adressen der Autoren

[1] Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Julius-Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
[2] Institut für Bodenkunde, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
[3] Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, JKI
[4] Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Bad Zwischenahn, Landwirtschaftskammer Niedersachsen
[5] Gartenbauzentrum Ellerhoop, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

[*] Ansprechpartnerin: Dr. Annmarie-Deetja Rohr, annmarie-deetja.rohr@julius-kuehn.de

Freilanduntersuchungen zum Einfluss von 31 Unterlagsrebsorten auf die generative und vegetative Leistung von Chardonnay

Field trials into the effects of 31 rootstock varieties on the generative and vegetative performance of Chardonnay

Martin Mehofer[1*], Bernhard Schmuckenschlager[1], Karel Hanak[1], Norbert Vitovec[1], Memish Braha[1], Thaci Cazim[1], Andrzej Gorecki[1], Michael Schneider[2]

Einleitung

Im österreichischen Weinbau wurde die Verwendung von Unterlagsreben Ende des neunzehnten Jahrhunderts notwendig, nachdem die Reblaus in Europa eingeschleppt worden war. Das Pfropfen der europäischen Edelsorten auf verschiedenste Unterlagsrebsorten konnte daraufhin als erfolgreiche biologische Bekämpfungsmaßnahme etabliert werden. Die Entwicklung der Rebveredlung und die über 100-jährige konsequente Züchtung von Unterlagsreben haben dem Weinbau in Europa – trotz Reblaus – das Überleben gesichert (BECKER und KRIEG 2017). Die Basis eines zukunftsfähigen Weinbaus ist eine gute Pfropfrebe. Die richtige Auswahl der Unterlagsrebsorte ist dabei Voraussetzung für die Langlebigkeit eines Weingartens und auch in Grenzstandorten kann mit der entsprechenden Unterlagsrebsorte wirtschaftlicher Weinbau betrieben werden (KRIEG 2011). Dass die Gefahr des Reblausbefalls nach wie vor besteht, hat das Auftreten der Reblaus in Form von Blattgallen im Jahr 2018 nicht nur an Unterlagenausschlägen, sondern auch an Ertragssorten gezeigt (RÜHL 2020). Aufgrund der längeren Vegetationszeiträume und des milden Klimas, insbesondere im Herbst, hat sich die Zahl der Generationen im Entwicklungszyklus der Reblaus in den letzten Jahrzehnten erhöht und das zunehmende Aufkommen der geflügelten Reblaus ermöglicht immer mehr auch deren geschlechtliche Vermehrung (SCHMID und MANTY 2017). Unterlagsreben verhindern nicht nur massive Schäden durch die Reblaus. Die Auswahl der entsprechenden Unterlagssorte ist auch als mittelfristiges, strategisches und vorausschauendes Instrument anerkannt, um den Weinbau an den Klimawandel anzupassen (HESSDÖRFER 2021). Dabei ist zu beachten, dass erst langjährige Versuche eine Aussage über die Eigenschaften der Unterlagen aus einem bestimmten Standort erlauben (BECKER et al. 2005). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Einflüsse von 31 Unterlagsrebsorten auf die agrarischen und qualitätsrelevanten Parameter Schnittholzgewicht, Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht und Gehalt an titrierbarer Säure und pH-Wert im Most der Rebsorte Chardonnay zu ermitteln. Des Weiteren wurden die Stockausfälle erhoben und das Auftreten von Chlorose bewertet. Zusätzlich wurden bei acht ausgewählten Pfropfkombinationen Mikrovinifikationen und sensorische Weinbewertungen durchgeführt.

Material und Methoden

Lage und Boden: Der Versuchsweingarten hat sich in der Katastralgemeinde Klosterneuburg in der Ried Harrer in einer steilen Hanglage (Steigung: 20 bis 25 %) mit Ausrichtung nach Südosten befunden. Die Bodenart ist eine carbonathältige Braunerde auf Flyschmergel. Das Ausgangsmaterial ist Flyschmergel, ein marines Sedimentgestein aus Kalk und Ton, wobei der C-Horizont eine deutliche Umlagerung von skelettreichem Material erkennen lässt. Laut Bodenuntersuchung beträgt der pH-Wert 7,5. Der Boden ist schwach alkalisch. Der Kalkgehalt im A- und B-Horizont ist mittel bis hoch (18 bis 40 %) und die Kalkaktivität ist mittel (kA =3). Der Boden hat einen mittleren Humusgehalt von 3,1 % im Oberboden und 1,4 % im Unterboden. Es handelt sich um einen schweren Boden mit einem Tongehalt von 26 - 30 %. Die Bodenbewirtschaftung in den Fahrgassen erfolgte mittels Rotationsbegrünung (25 kg/ha Sommerwicke, 20 kg/ha Buchweizen, 3 kg/ha Phacelia), die jedes Jahr abwechselnd in jeder zweiten Fahrgasse neu angelegt wurde. Zusätzlich zu dieser Gründüngung wurde bedarfsweise mit einem organischen Handelsdünger und mit Qualitätskompost A^+ gedüngt.
Charakteristika der Rebanlage und klimatische Bedingungen: Rebsorte: Chardonnay; Pflanzjahr: 1997; Pflanzweite: 3,00 x 1,20 m; Erziehungssystem: mittelhohe Spaliererziehung mit Kordondraht h = 0,85 m, 3 Heftdrahtpaaren h = 1,15 m, 1,55 m und 1,95 m; Laubwandzielhöhe = 1,30 m; Schnittart: Zweistreckerschnitt als Flachbogen á 8 Augen und zwei Ersatzzapfen á 2 Augen; Schnittstärke: 20 Augen pro Stock bzw. 5,5 Augen pro m². Die Jahresniederschlagsmengen lagen in den Jahren 2003 bis 2021

zwischen 453 und 1044 l/m². Die Niederschlagsmengen in den jeweiligen Vegetationsperioden (April bis September) variierten jahresabhängig zwischen 279 und 776 l/m². Der Huglin-Index lag jahresabhängig zwischen 1774 und 2452. Für eine entsprechende Reife von Chardonnay soll dieser Index mindestens 1700 betragen (PRETTENTHALER und FORMAYER 2013).

Verwendete Unterlagsrebsorten:

Unterlagsrebsorten mit Vitis berlandieri x Vitis riparia – Abstammung: K 5BB (Kober 5BB), T5C (Teleki 5C), SO4 (Selektion Oppenheim 4), 8B (Teleki 8B), K 125AA (Kober 125AA), R 27 (Reckendorfer 27), R 7 (Reckendorfer 7), Cosmo 2, Cosmo 10, 420 A (Millardet et Grasset 420 A), Binova (Selektion Oppenheim 4 Mut.), 225 Ru A2 (Ruggeri 225), EM 33.

Unterlagsrebsorten mit Vitis berlandieri x Vitis rupestris – Abstammung: 725 P (Paulsen 725), 779 P (Paulsen 779), 1103 P (Paulsen 1103), Ru 140 (Ruggeri 140), 99 R (Richter 99), 110 R (Richter 110).

Unterlagsrebsorten mit Vitis riparia x Vitis rupestris – Abstammung: 101-14 MG (Millardet et Grasset 101-14), 3309 C (Couderc 3309).

Unterlagsrebsorten mit teilweiser Vitis vinifera – Genetik: G 26 (Geisenheim 26, Schiava grossa × Vitis riparia), 41 B (Millardet et Grasset 41 B, Chasselas blanche × Vitis berlandieri), Fercal ((Vitis berlandieri × Ugni blanc) × Richter 31), Aripa (Millardet et Grasset 143 A, Aramon × Vitis riparia), Grézot 1 ((Monastrell x Vitis rupestris Ganzin) x Castel 216-3), Ganzin 1 (Aramon × Vitis rupestris).

Sonstige Unterlagsrebsorten: Börner (Vitis riparia 183 × Vitis cinerea Arnold), 1616 C (Couderc 1616, Solonis × Vitis riparia 'Gloire de Montpellier'), Riparia portalis (Vitis riparia 'Gloire de Montpellier'), Rupestris du Lot (Vitis rupestris Scheele).

Die Versuchsanlage wurde randomisiert in Form von drei Wiederholungen pro Pfropfkombination mit fünf Stöcken pro Wiederholung (n = 465) angelegt.

Pflanzenschutz: Zusätzlich zu den jährlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Grubbern, Fräsen, Düngen, Mulchen, Walzen, Rebenschneiden, Binden, Jäten, Einstricken, Teilentblättern der Traubenzone, Laubschneiden und Mähen beziehungsweise Applizieren von Herbiziden im Unterstockbereich) wurden jedes Jahr 6 bis 8 Applikationen mit chemischen Pflanzenschutzmitteln gemäß den Richtlinien der Integrierten Produktion durchgeführt.

Bestimmung der Ertrags- und Reifeparameter und des Schnittholzgewichts: Zur Bestimmung dieser Parameter wurden jährlich gepoolte Proben aus fünf Stöcken pro Wiederholung ausgewertet. Unmittelbar vor der Lese wurden Beerenproben zur Bestimmung der Reifeparameter entnommen. Die Entsaftung der Beeren erfolgte mittels Saftzentrifuge und die Filtration mit Hilfe von Faltenfiltern 3 hw. Der Zuckergehalt wurde mittels Handrefraktometer, der Säuregehalt durch Titration mit 2/15 normaler Blaulauge bis zum Umschlagpunkt (pH = 7) und der pH-Wert mittels elektronischem pH-Messgerät ermittelt. Die Ertragsbestimmung erfolgte unmittelbar nach der Ernte in der Projektanlage mittels transportfähiger Waage. Während der Ernte wurde die Anzahl der Trauben ermittelt. Das Traubengewicht wurde rechnerisch mit Hilfe der erhobenen Ertragsdaten und der ermittelten Traubenanzahl bestimmt. Das Schnittholzgewicht wurde nach dem Rebschnitt mit einer transportfähigen mechanischen Zugwaage abgewogen. Dabei wurde das ein- und zweijährige Rebschnittholz, das im Zuge des Ertragsschnitts entfernt wurde, berücksichtigt.

Bonitur des Auftretens von Chlorose und Stockinventur: In den Jahren 2018, 2019, 2020 und 2021 wurde das Auftreten von Chlorose visuell bonitiert. Die Chlorosestärken der Pfropfkombinationen wurden den folgenden fünf Klassen zugeteilt: 1 = `keine Chlorose´, 2 = `sehr gering´, 3 = `gering´, 4 = `mittel´ und 5 = `stark´. Im Jahr 2021 wurde die Anzahl der bis dahin ausgefallenen Stöcke evaluiert.

Statistische Auswertungen: Die statistische Auswertung der Daten und die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS. Die Daten wurden mittels Varianzanalyse in Verbindung mit dem F-Test aufbereitet. Danach wurden die Mittelwerte mittels Grenzdifferenz nach Tukey beurteilt ($P < 0,05$). Varianzhomogenität und Normalverteilung wurden überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass bis zum 25. Standjahr in Abhängigkeit von der Unterlagsrebsorte zwischen 6,7 % und 46,7 % der Rebstöcke ausgefallen waren. Chardonnay wies auf den verschiedenen Unterlagsrebsorten keine Chlorose oder nur ein sehr geringes Auftreten von Chlorose auf. Nur bei der Unterlagsrebsorte G 26 lag die Chlorosestärke im Bereich von sehr gering bis gering und unterschied sich damit deutlich von allen anderen Unterlagen.

Tabelle 1: **Stockausfall bis zum 25. Standjahr (%) in Abhängigkeit von der Unterlagsrebsorte.**

Stockausfall (%)	Unterlagsrebsorte
6,7	SO4, Reckendorfer 7, Richter 99, 1616 Couderc
10	T5C
13,4	1103 Paulsen, Reckendorfer 27, Cosmo 2, Ru 140, Richter 110, 420 A, Ganzin 1, Aripa, EM 33, 101-14
20	725 Paulsen, 779 Paulsen, 8B, 125 AA, Cosmo 10, Binova, 225 Ru A2, Grézot 1, Börner, Rupestris du Lot
23,4	Kober 5BB
26,7	41 B, Fercal, 3309 C
33,4	Riparia Portalis
46,7	G 26

Kober 5BB lag bei Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht, Säuregehalt, pH-Wert und Schnittholzgewicht im Mittelfeld der Unterlagsreben. Chloroseerscheinungen waren nicht feststellbar. REGNER et al. (2019) beobachteten bei Grüner Veltliner auf Kober 5BB auf einem schweren Ton-Mergelboden im Vergleich zu Grüner Veltliner auf vier anderen Unterlagen höhere Erträge. MEHOFER et al. (2021) ermittelten bei Roesler auf K5BB signifikant höhere Traubengewichte als auf Fercal und 3309 C. Einen erhöhenden Einfluss von Kober 5BB auf den Säuregehalt stellten BECKER und KRIEG (2017) bei Weißburgunder, REGNER et al. (2019) und MEHOFER et al. (2018) bei Grüner Velltliner und MEHOFER et al. (2021) bei Roesler fest. KRIEG (2011) und FARDOSSI (2004) attestierten Kober 5BB eine starke Wuchskraft. Teleki 5C lag bei Ertrag, Mostgewicht, Säuregehalt, pH-Wert und Schnittholzgewicht im Mittelfeld. Auf das Traubengewicht war ein erhöhender Einfluss feststellbar. Chlorose trat nicht auf. Die Stockausfälle waren mit 10 % im 25. Standjahr gering. BECKER und KRIEG (2017) ermittelten bei Weißburgunder auf T5C im 12. Standjahr einen Stockausfall von 19,3 %. LEUMANN et al. (2015) zufolge erbrachte Blauburgunder auf T5C im Vergleich mit Blauburgunder auf fünf anderen Unterlagsrebsorten die höchsten Erträge. REGNER et al. (2019) ermittelten bei Grüner Veltliner auf einem schweren Ton-Mergelboden durch Teleki 5C eine reifeverfrühende Wirkung sowie einen reduzierenden Einfluss auf den Ertrag und den Säuregehalt im Most. SO4 lag bei Mostgewicht, Säuregehalt und pH-Wert im Mittelfeld. Auf den Ertrag und das Traubengewicht hatte SO4 einen erhöhenden Einfluss. Das Schnittholzgewicht wurde durch SO4 verringert. Chlorose trat nicht auf. Die Stockausfälle waren mit 6,7 % im 25. Standjahr sehr gering. REGNER et al. (2019) bescheinigten der Unterlage SO4 ein ausgeglichenes Wachstum. ZINK und EDER (2013) beobachteten bei der Rebsorte Cabernet Mitos auf SO4 auf einem kalkhaltigen Lehm leicht höhere Erträge und Säuregehalte als auf den Unterlagen K5BB und T5C. TERLETH und PATAUNER (2021) ermittelten bei Vernatsch auf SO4 ein höheres Traubengewicht als auf Börner, 8B und T5C. Binova lag bei Mostgewicht, Säuregehalt und pH-Wert im Mittelfeld. Auf den Ertrag, das Traubengewicht und den Säuregehalt hatte Binova einen erhöhenden und auf das Schnittholzgewicht einen reduzierenden Einfluss. Chlorose trat kaum auf. Der Stockausfall betrug im 25. Standjahr 20 %. BECKER und KRIEG (2017) zufolge war der Stockausfall bei Weißburgunder auf Binova mit 5,5 % im 12. Standjahr hingegen gering. Teleki 8B erbrachte bei allen erhobenen generativen und vegetativen Parametern ein Ergebnis im Mittelfeld. Chlorose trat nicht auf. Kober 125AA erzielte bei Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht und pH-Wert Ergebnisse im Mittelfeld. Auf den Säuregehalt und das Schnittholzgewicht hatte Kober 125AA einen erhöhenden Einfluss. Chlorose

trat nicht auf. Reckendorfer 27 erbrachte bei Mostgewicht, pH-Wert und Schnittholzgewicht ein Ergebnis im Mittelfeld. Auf den Ertrag, das Traubengewicht und den Säuregehalt im Most hatte Reckendorfer 27 einen erhöhenden Einfluss. Chlorose trat kaum auf. MEHOFER et al. (2018) beobachteten bei Grüner Veltliner durch Reckendorfer 27 einen erhöhenden Einfluss auf das Traubengewicht und den Säuregehalt bei gleichzeitig geringem Auftreten von Chlorose. Reckendorfer 7 erzielte bei Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht und pH-Wert im Most Ergebnisse im Mittelfeld. Auf das Schnittholzgewicht hatte Reckendorfer 7 einen erhöhenden und auf den Säuregehalt einen reduzierenden Einfluss. Chlorose trat nicht auf. Die Stockausfälle waren sehr gering. Cosmo 2 erbrachte bei Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht und pH-Wert im Most ein Ergebnis im Mittelfeld. Auf den Säuregehalt und das Schnittholzgewicht hatte Cosmo 2 einen erhöhenden Einfluss. Chlorose trat nicht auf. Der Stockausfall betrug im 25. Standjahr 13,4 %. BECKER und KRIEG (2017) ermittelten bei Weißburgunder auf Cosmo 2 im 12. Standjahr einen Stockausfall von 33,3 %. MEHOFER et al. (2018) stellten bei Grüner Veltliner auf Cosmo 2 ein starkes Auftreten von Chlorose fest. Cosmo 10 erbrachte bei allen analysierten Parametern außer beim Schnittholzgewicht ein Ergebnis im Mittelfeld. Auf das Schnittholzgewicht hatte Cosmo 10 einen reduzierenden Einfluss. Das Auftreten von Chlorose war extrem gering und der Stockausfall betrug im 25. Standjahr 20 %. 420 A erzielte bei Mostgewicht, Säuregehalt, pH-Wert und Schnittholzgewicht Ergebnisse im Mittelfeld. Auf den Ertrag und das Traubengewicht hatte 420 A einen erhöhenden Einfluss. Chlorose trat kaum auf. Der Stockausfall betrug im 25. Standjahr 13,4 %. Laut MEHOFER et al. (2018) hatte 420 A bei geringem Chloroseauftreten einen erhöhenden Einfluss auf das Traubengewicht von Grüner Veltliner, während Ertrag, Mostgewicht, Säuregehalt und pH-Wert des Mosts und Schnittholzgewicht im Mittelfeld der verwendeten Unterlagen lagen. 225 Ru A2 erbrachte bei Ertrag, Traubengewicht, Mostgewicht und pH-Wert im Most ein Ergebnis im Mittelfeld. Auf den Säuregehalt und das Schnittholzgewicht hatte 225 Ru A2 einen erhöhenden Einfluss. Chlorose trat nicht auf. EM 33 erzielte bei Ertrag, Traubengewicht, pH-Wert und Schnittholzgewicht Ergebnisse im Mittelfeld. Auf den Säuregehalt hatte EM 33 einen erhöhenden und auf das Mostgewicht einen reduzierenden Einfluss. Chlorose trat nicht auf. Der Stockausfall betrug im 25. Standjahr 13,4 %. Die Ergebnisse zu den Einflüssen der Unterlagsrebsorten 725 P, 779 P, 1103 P, Ruggeri 140, 99 Richter, 110 Richter, 101-14 MG, 3309 C, 41 B, Fercal, G 26, Aripa, Grézot 1, Ganzin 1, Börner, 1616 C, Riparia Portalis und Rupestris du Lot auf Chardonnay werden in der Publikation von MEHOFER et al. (2022) diskutiert und sind dort nachzulesen. Diese Publikation ist im Internet unter https://www.weinobst.at/service/publikationen.html abrufbar.

Zusammenfassung

In einem Langzeitversuch auf einem Standort mit carbonathaltiger Braunerde auf Flyschmergel mit 18 bis 40 % Kalkgehalt und mittlerer Kalkaktivität wurden bei Chardonnay die Einflüsse von 31 Unterlagsrebsorten auf den Ertrag, das Traubengewicht, das Mostgewicht, den Säuregehalt und den pH-Wert im Most, das Schnittholzgewicht und das Auftreten von Chlorose ermittelt. Im Durchschnitt der 21 Versuchsjahre (2001 bis 2021) hatten 1103 P, G 26, Riparia Portalis, 725 P, Ganzin 1, Aripa und 779 P einen signifikant negativen und 420 A, R 27, Binova, 41 B und SO4 einen signifikant positiven Einfluss auf den Ertrag. Das Traubengewicht wurde durch 1103 P, 725 P, G 26 und 779 P signifikant verringert und durch 420 A, Börner, R 27, Binova, Teleki 5C, 41 B, 3309 C und SO4 signifikant erhöht. Auf das Mostgewicht hatten Ru 140, Ganzin 1, 41 B und EM 33 einen signifikant reduzierenden Einfluss. Der Säuregehalt im Most wurde durch Riparia Portalis, G 26, Grézot 1, Aripa, 101-14, R 7 und 3309 C signifikant verringert und durch Börner, 125 AA, R 27, 1616 C, 99 Richter, EM 33, 779 P, Cosmo 2, Binova, 225 Ru A2, Ru 140 und 41 B signifikant erhöht. Das Schnittholzgewicht war bei Aripa, Riparia Portalis, 3309 C, 101-14, G 26, 110 R, 1616 C, Ganzin 1, Börner, SO4, Cosmo 10 und Binova signifikant verringert und bei R 7, 99 R, 725 P, 225 Ru A2, Fercal, 125 AA und Cosmo 2 signifikant erhöht. Dabei führten Aripa und Riparia Portalis zum mit Abstand schwächsten Wuchs. Bis zum 25. Standjahr waren in Abhängigkeit von der Unterlagsrebsorte zwischen 6,7 % (SO4, R 7, 99 Richter, 1616 C) und 46,7 % (G 26) der Rebstöcke ausgefallen. Chlorose trat nicht oder nur in sehr geringem Ausmaß auf. Mikrovinifikationen wurden in einem stark eingeschränkten Umfang bei ausgewählten Propfkombinationen durchgeführt. Bei der sensorischen Weinbewertung konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Abstract

In a long-term experiment with Chardonnay the influences of 31 rootstock varieties on yield, cluster weight, must weight, titratable acidity in the must, pH-value of the must, pruning wood weight and occurrence of chlorosis were determined. The test site was a carbonate containing brown soil on flyschmarl with 18 to 25 % lime content and medium lime compatibility. On average over the 21 experimental years (2001 to 2021) 1103 P, G 26, Riparia Portalis, 725 P, Ganzin 1, Aripa and 779 P had a significant negative effect and 420 A, R 27, Binova, 41 B and SO4 had a significant positive effect on yield. Cluster weight was significantly reduced by 1103 P, 725 P, G 26 and 779 P and significantly increased by 420 A, Börner, R 27, Binova, Teleki 5C, 41 B, 3309 C and SO4. Ru 140, Ganzin 1, 41 B and EM 33 had a significant reducing effect on must weight. Acidity in the must was significantly reduced by Riparia Portalis, G 26, Grézot 1, Aripa, 101-14, R 7 and 3309 C and significantly increased by Börner, 125 AA, R 27, 1616 C, 99 Richter, EM 33, 779 P, Cosmo 2, Binova, 225 Ru A2, Ru 140 and 41 B. Pruning wood weight was significantly decreased by Aripa, Riparia Portalis, 3309 C, 101-14, G 26, 110 R, 1616 C, Ganzin 1, Börner, SO4, Cosmo 10 and Binova and significantly increased by R 7, 99 R, 725 P, 225 Ru A2, Fercal, 125 AA and Cosmo 2. Among these, Aripa and Riparia Portalis had the weakest growth by far. By the 25th year of growth between 6.7 % (SO4, R 7, 99 Richter, 1616 C) and 46.7 % (G 26) of the vines had failed, depending on the rootstock variety. Chlorosis did not occur or only occurred to a very small extent. Microvinification was performed on a limited scale on selected grafting combinations. In the sensory wine evaluation no significant differences could be determined.

Literatur

BECKER, A, DORNBUSCH, H, WAHL, K (2005): Fachgerechte Unterlagenwahl. Das steigert die Weinqualität. Das Deutsche Weinmagazin (13), 12-15.

BECKER, A, KRIEG, U (2017): Unterlagenwahl. Die richtige Sorte für schwierige Standorte. Rebe&Wein (07), 18-21.

FARDOSSI, A (2004): Überlegungen zur Auspflanzung: Unterlagssortenwahl als Investition in die Zukunft. Der Winzer 60 (12), 12-13.

HESSDÖRFER, D (2021): Anpassung an den Klimawandel. Welche Rolle spielt die Unterlage? Rebe&Wein (8), 23-25.

KRIEG, U (2011): Die Unterlagenzüchtung am DLR – RNH in Oppenheim oder … Das Erbe der Reblaus. Das Deutsche Weinmagazin (25/26), 40-43.

LEUMANN, L, RUTISHAUSER, R, SCHILLING, R, MEIER, A (2015): Rebunterlagen und Nährstoffaufnahme. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau 51 (5), 4-7.

MEHOFER, M, REGNER, F, SCHMUCKENSCHLAGER, B, HANAK, K, BRAHA, M, CAZIM, T, CHRISTINER, F, VITOVEC, N, PRINZ, M (2018): Einfluss von 31 Unterlagsrebsorten auf Ertrag und Qualität der Rebsorte Grüner Veltliner (GV) über 17 Jahre. Mitteilungen Klosterneuburg 68, 181-201.

MEHOFER, M, SCHMUCKENSCHLAGER, B, HANAK, K, VITOVEC, N, BRAHA, M, CAZIM, T, GORECKI, A, CHRISTINER, F, HOFSTETTER, I (2021): Freilanduntersuchungen zum Einfluss der Unterlagssorten Kober 5BB, Fercal und 3309 Couderc auf die Blattnährstoffgehalte sowie die generative und vegetative Leistung der Rebsorte `Roesler´. Mitteilungen Klosterneuburg 71, 204-221.

MEHOFER, M, SCHMUCKENSCHLAGER, B, HANAK, K., VITOVEC, N, BRAHA, M, CAZIM, T, GORECKI, A, SCHNEIDER, M, WINKLER, M (2022): Freilanduntersuchungen zum Einfluss von 31 Unterlagsrebsorten auf die generative und vegetative Leistung von `Chardonnay´. Mitteilungen Klosterneuburg 72, 185-203.

PRETTENTHALER, F, FORMAYER, H (2013): Studien zum Klimawandel in Österreich, Band IX: Weinbau und Klimawandel. Erste Analysen aus Österreich und führenden internationalen Weinbaugebieten, 123. ISBN 978-3-7001-7385-4.

RÜHL, E H (2020): Quo vadis Rebenzüchtung? Deutsches Weinbau-Jahrbuch 2020 (71. Jg.), 96-100.

REGNER, F, REICHL, M, ZÖCH, B, EISENHELD, C, HOFSTETTER, I, ROCKENBAUER, A (2019): Die bisher selten verwendeten Unterlagen Fercal und Gravesac im Vergleich. Deutsches Weinbau-Jahrbuch (70. Jahrgang), 115-124.

SCHMID, J, MANTY, F (2017): Neue Unterlagen im Praxistest. Zielsetzung – vollständige Reblausresistenz. Das Deutsche Weinmagazin (4), 26-29.

TERLETH, J, PATAUNER, C (2021): Vernatsch auf Spaliererziehung. Welche Klone und Unterlagen? Obstbau – Weinbau. Fachmagazin des Südtiroler Beratungsringes 58 (2), 25-29.

ZINK, M, EDER, J (2013): Unterlage 125 AA: Affinität und Adaption von neuen Klonen. Das Deutsche Weinmagazin (2): 34-36.

Adressen der Autoren

[1] HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Abteilung Weinbau, Agnesstraße 60, A-3400 Klosterneuburg

[2] HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Abteilung Kellerwirtschaft, Agnesstraße 60, A-3400 Klosterneuburg

[*] Ansprechpartner: DI Martin MEHOFER, martin.mehofer@weinobst.at

Untersuchungen zum Einfluss der Stammhöhe auf Ertrag und Qualität der Rebsorte Zweigelt über elf Jahre

Investigations into the effects of stem height on grape yield and quality of the variety Zweigelt over eleven years

Martin Mehofer[1*], Bernhard Schmuckenschlager[1], Karel Hanak[1], Norbert Vitovec[1], Memish Braha[1], Christian Bader[2], Veronika Schober[2], Monika Riedle-Bauer[1]

Einleitung

Zur Neuauspflanzung eines Weingartens sind zahlreiche Vorüberlegungen und Vorbereitungsarbeiten erforderlich. Bezüglich Boden sind das die Bodenuntersuchung, die Vorratsdüngung und die Tiefenlockerung. Die Auswahl der Rebsorte und der Unterlagsrebe sowie die rechtzeitige Bestellung beziehungsweise Produktion des notwendigen zertifizierten Pflanzmaterials sind weitere wichtige Faktoren. Bedeutende Thematiken stellen auch die Wahl des Erziehungssystems und die rechtzeitige Bestellung der notwendigen Materialien dafür dar. Insbesondere die Pflanzweite und die Stammhöhe sind dabei wichtige Kriterien. Mit der Festlegung auf eine bestimmte Erziehungsart wird auch die Formierung des Altholzes und damit die Stammhöhe für mehrere Jahrzehnte festgelegt. Zum Thema Stammhöhe führten KNOLMAJERNÉ SZIGETI et al. (2014) in Ungarn vergleichende Untersuchungen mit den Rebsorten Welschriesling, Pinot gris und Kéknyelü bei einer mittelhohen Kordonerziehung mit 90 cm Stammhöhe und einer Sylvoz-Erziehung mit 120 cm Stammhöhe durch. REYNOLDS et al. (2004) verwendeten in ihren Untersuchungen in Kanada mit der Rebsorte Riesling die niedrige Kordonerziehung mit 50 cm Stammhöhe, die Lenz Moser-Erziehung mit 140 cm Stammhöhe, die Pendelbogenerziehung mit 50 cm Stammhöhe und ein Erziehungssystem mit V-förmiger doppelter Laubwand mit 40 cm Stammhöhe. TKACHENKO et al. (2017) zufolge beeinflusste die Stammhöhe den Farbstoff- und Tanningehalt der Beerenhaut und den Zucker- und Aromagehalt der Beeren der ukrainischen Rebsorten Aromatnyiy und Zagrey. REDL (1986) ermittelte einen Einfluss der Stammhöhe auf den Stickstoffgehalt der Beeren. MURISIER und SPRING (1986) zufolge zeigten Reben mit unterschiedlicher Stammhöhe eine unterschiedliche Wuchskraft. In den gegenständigen Untersuchungen wurde die Rebsorte Zweigelt in Form einer Spalierdrahtrahmenerziehung mit den Stammhöhen 75 cm und 115 cm bei gleicher Laubwandhöhe formiert. Ziel war, unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen und den damit einhergehenden wärmeren Temperaturen im Spätsommer und Herbst die Einflüsse der unterschiedlichen Stammhöhen auf die phänologischen Entwicklungsstadien BBCH 09 (Knospenaufbruch: grüne Triebspitzen deutlich sichtbar) und BBCH 85 (Weichwerden der Beeren), den Ertrag, das Traubengewicht, das Beerengewicht, das Mostgewicht, die Gehalte an Säuren und Stickstoff im Most, den pH-Wert im Most und das Schnittholzgewicht als Parameter für die Wuchsleistung zu evaluieren.

Material und Methoden

Rebanlage und Versuchsvarianten: Standort: KG Klosterneuburg – Ried Harrer; Rebsorte und Klon: Zweigelt, A 2-3; Unterlage: Kober 5BB; Pflanzjahr: 2006; Pflanzweite: 3,00 x 1,00 m; Erziehungssystem: Spalierdrahtrahmenerziehung; Stammhöhe (= Versuchsvarianten): 75 cm und 115 cm; Laubwandhöhe: 120 – 130 cm (bei beiden Stammhöhen); Schnittart: Zweistreckerschnitt mit je 6 bis 7 Augen und zwei Ersatzzapfen mit je 2 Augen. Die beiden Versuchsvarianten wurden in Form von 8 Wiederholungen je Variante mit 25 Stock pro Wiederholung (n = 400) randomisiert angelegt.
Bodenbearbeitungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen: Unmittelbar nach der jährlichen Ausbringung der organischen Dünger Ende März/Anfang April erfolgte in jeder zweiten Fahrgasse eine seichtgründige Bodenlockerung. Danach wurde in diesen aufgebrochenen Fahrgassen mittels Kreiselegge/Saatkastenkombination eine Frühjahrs-Sommergründüngung angelegt. Dieser Gründüngungsbestand wurde im Frühsommer gewalzt und in weiterer Folge mittels Schlegelmulcher kurzgehalten. In den anderen Fahrgassen wurde der Bewuchs ausschließlich mittels Schlegelmulcher gemäht. Die beiden Bearbeitungsmethoden wurden jährlich zwischen den Fahrgassen gewechselt. Im Unterstockbereich erfolgte ein- bis zweimal pro Jahr eine Herbizidstreifenbehandlung und zusätzlich ein Einkürzen des Bewuchses mittels Mähbürste. Eine Tiefenlockerung mit dem Ratoonpflug wurde in jeder zweiten Fahrgasse jährlich abwechselnd im November durchgeführt. Chemische Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten sowohl mit

teilsystemischen Präparaten als auch mit Kontaktmitteln, wobei in Abhängigkeit vom Pilzinfektions- und Schaderregerdruck sechs bis acht Applikationen pro Vegetationsjahr notwendig waren. Zu den vorbeugenden Pflanzenschutzmaßnahmen zählten das Lockerhalten der Laubwand zur besseren Durchlüftung und rascheren Abtrocknung der Trauben und Blätter sowie zur effektiveren Anlagerung von Pflanzenschutzmitteln.

Bonitur des Wildverbisses und der Traubenwelke: In den Jahren 2009, 2010 und 2019 wurde die Stärke der Wildschäden bewertet. Dazu wurden in den Jahren 2009 und 2010 jene Stöcke, an denen Trauben mit Wildverbiss vorhanden waren, gezählt und danach deren Prozentanteil an der Gesamtstockanzahl pro Wiederholung berechnet. Im Jahr 2019 wurden an einem zufällig ausgewählten Stock pro Wiederholung alle Trauben beurteilt. Der Prozentanteil befallener Trauben im Verhältnis zu nichtgeschädigten Trauben ergab die Schadenshäufigkeit. Der Prozentanteil der geschädigten Beeren an allen Trauben einer Rebe ergab die Schadensstärke. Das Auftreten von Traubenwelke wurde in den Jahren 2016 und 2019 ermittelt. Dazu wurden an einem zufällig ausgewählten Stock pro Wiederholung (n = 25) alle Trauben beurteilt. Der Prozentanteil befallener Trauben im Verhältnis zu gesunden Trauben ergab die Schadenshäufigkeit. Der Prozentanteil der geschädigten Beeren an allen Trauben einer Rebe ergab die Schadensstärke.

Bestimmung der Ertrags- und Reifeparameter und des Schnittholzgewichts: Zur Bestimmung von Ertrag, Traubengewicht, 100-Beerengewicht, Mostgewicht, Gehalt an titrierbarer Säure, pH-Wert und Gehalt an Stickstoff im Most wurde entsprechend dem Versuchsplan jährlich eine gepoolte Probe aus 25 Stöcken pro Wiederholung ausgewertet. Zur Bestimmung der Reifeparameter wurden unmittelbar vor der Ernte Beerenproben entnommen. Die Entsaftung dieser Beeren erfolgte mittels Saftzentrifuge und die Filtration mithilfe von Faltenfiltern. Die Bestimmung des Zuckergehalts wurde mittels Handrefraktometer durchgeführt. Der Säuregehalt wurde durch Titration mit 2/15 normaler Blaulauge bis zum Umschlagpunkt (pH = 7) bestimmt. Der Stickstoffgehalt im Most wurde fotometrisch mittels Photometer Konelab 20 bestimmt. Die Ertragsbestimmung erfolgte unmittelbar nach der Ernte des lesereifen Traubenmaterials im Weingarten. Die Lese erfolgte händisch an folgenden Terminen: 07.10.2009, 04.10.2010, 29.08.2011, 20.09.2012, 14.10.2013, 25.09.2014, 21.09.2015, 21.09.2016, 28.09.2017, 13.09.2018, 30.09.2019 und 24.09.2020. Dabei wurden die mit Botrytis befallenen Beeren ausselektiert. Das Schnittholzgewicht wurde nach dem Rebschnitt mit einer transportfähigen mechanischen Zugwaage ermittelt. Dabei wurde das ein- und zweijährige Holz, das im Zuge des Ertragsschnitts entfernt wurde, berücksichtigt.

Phänologische Erhebungen: In den Jahren 2011 bis 2020 wurde das Eintreten der Entwicklungsstadien "Knospenaufbruch – grüne Triebspitzen deutlich sichtbar" (BBCH 09/OIV 301) und "Weichwerden der Beeren" (BBCH 85/OIV 303) ermittelt.

Statistische Auswertung: Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mittels SPSS. Sämtliche Daten wurden auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft. Mit den Ertrags-, Reife- und Schnittholzgewichtsdaten wurde eine zweifaktorielle ANOVA (Faktoren Stammhöhe und Versuchsjahr) durchgeführt. Die Effektstärke der beiden Faktoren wurde mittels partiellem Eta-Quadrat (η_p^2) ermittelt. Bei den Ergebnissen zu Ertrag, 100-Beeren-Gewicht und pH-Wert lag keine Varianzhomogenität vor. Allerdings waren die Stichprobengrößen für alle Jahre und beide Stammhöhen jeweils gleich. Daher erfolgte dennoch eine zweifaktorielle ANOVA. Die Daten zu Wildverbiss und Traubenwelke wurden für jedes Jahr mit t-Tests analysiert. Die graphische Darstellung der Daten erfolgte mit den Programmen SPSS und Microsoft Excel 2016.

Ergebnisse und Diskussion

Traubenwelke: Traubenwelke trat nicht oder nur auf einem sehr niedrigen Niveau auf. Dabei konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten ermittelt werden.

Wildverbiss: In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass bei einer Stammhöhe von 75 cm Schäden durch Wildverbiss, wie in Abbildung 1 dargestellt, vorhanden waren. Bei einer Stammhöhe von 115 cm traten hingegen keine derartigen Schäden auf. Laut REDL et al. (1996) können durch Rehe verursachte Fraßschäden sowohl an den grünen Rebteilen als auch an reifenden Trauben auftreten. In Abbildung 1 ist ersichtlich, dass die Beeren abgerupft wurden. Daraus kann geschlossen werden, dass der Wildschaden durch Rehwild verursacht wurde, da GRÜNWALD et al. (2004) zufolge Rehwild im Gegensatz zu Nagetieren im Oberkiefer keine Schneidezähne besitzt, welche die Beeren mit einem schneidenden, scharfen Biss abtrennen.

Tabelle 1: **Schäden durch Wildverbiss (Prozentanteil der Stöcke mit geschädigten Trauben) in Abhängigkeit von der Stammhöhe in den Jahren 2009 und 2010**

	Stöcke mit Wildverbiss (%)	
Stammhöhe	**Jahr 2009**	**Jahr 2010**
75 cm	78 a	22 a
115 cm	0 b	0 b

Abbildung 1: **Schäden durch Wildverbiss bei einer Stammhöhe von 75 cm**

Ertrags- und Reifeparameter: In Abbildung 2 ist zu erkennen, dass in allen Jahren, außer in den Jahren 2011 und 2012, der mittlere *Pro Stock-Ertrag* bei einer Stammhöhe von 115 cm höher war als bei einer Stammhöhe von 75 cm. Die durchschnittlichen Erträge lagen jahresabhängig zwischen 1,17 und 5,47 kg pro Stock bei einer Stammhöhe von 75 cm und zwischen 1,59 und 5,54 kg pro Stock bei einer Stammhöhe von 115 cm. Die zweifaktorielle Varianzanalyse über alle Versuchsjahre ergab ein signifikantes Gesamtmodell ($F(21,156) = 27,97$; $p < 0.001$; korrigiertes $R2 = 0,76$; $n = 178$) und zeigte sowohl für den Faktor Stammhöhe als auch für den Faktor Versuchsjahr einen statistisch signifikanten Effekt. Dabei war der Effekt des Faktors Jahr ($\eta p2 = 0,78$) höher einzustufen als jener des Faktors Stammhöhe ($\eta p2 = 0,13$). Ursachen für die Ertragsunterschiede waren der stärkere Wildverbiss an den Trauben oder der stärkere Botrytisbefall an den Beeren. Ebenso ergab MURISIER und SPRING (1986) zufolge die Verlängerung des Stammes bei der Rebsorte Chasselas einen signifikant höheren Ertrag, ohne die Qualität zu verändern. Ähnliche Beobachtungen machten TRANDAFILOVIC und ZUNIC (2010). Sie ermittelten bei den Rebsorten Sauvignon blanc, Weißburgunder und Zupljanka bei einer Stammhöhe von 70 cm höhere Erträge als bei einer Stammhöhe von 40 cm.

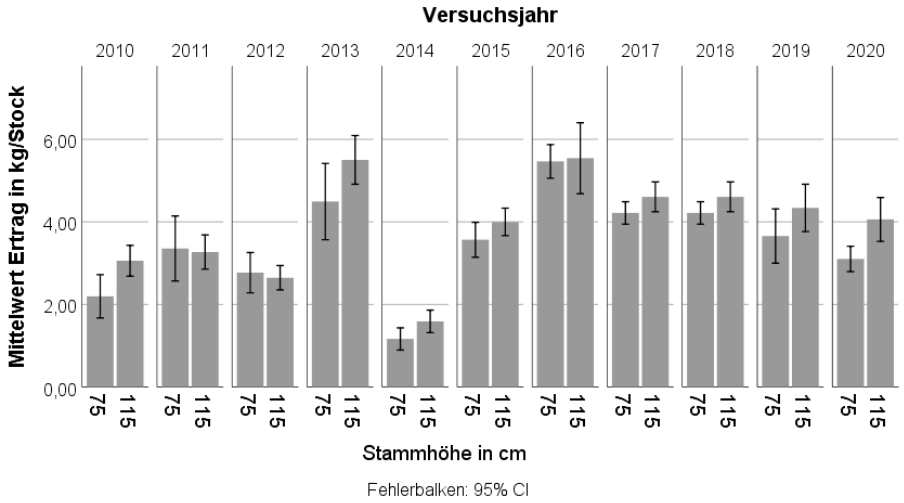


Abbildung 2: **Ertrag (Mittelwerte in kg/Stock) der Rebsorte Zweigelt in Abhängigkeit von der Stammhöhe in den Jahren 2010 bis 2020 nach Auswertung mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (n = 178)**

Die *Traubengewichte* waren in allen Jahren bei einer Stammhöhe von 115 cm höher als bei einer Stammhöhe von 75 cm. Die durchschnittlichen Traubengewichte lagen jahresabhängig zwischen 131 und 256 g bei einer Stammhöhe von 75 cm und zwischen 175 und 264 g bei einer Stammhöhe von 115 cm. Die

zweifaktorielle ANOVA ergab eine Signifikanz für das Gesamtmodell: F (19,141) = 9,75; p < 0,001; korrigiertes R2 = 0,51; n = 177. Sowohl der Faktor Stammhöhe als auch der Faktor Jahr hatten einen signifikanten Einfluss auf das Traubengewicht, wobei der Effekt des Faktors Jahr (ηp2 = 0,60) höher war, als der des Faktors Stammhöhe (ηp2 = 0,16). Ursache für die geringeren Traubengewichte bei niedrigerer Stammhöhe war primär der Wildverbiss an den Trauben. Hingegen erkannten KALKAN und KESKIN (2018) keine signifikanten Unterschiede im Traubengewicht beim Vergleich der Stammhöhen 75, 100 und 125 cm. Die durchschnittlichen *100-Beeren-Gewichte* lagen jahresabhängig zwischen 131,5 und 247,5 g bei einer Stammhöhe von 75 cm und zwischen 133,1 und 226,4 g bei einer Stammhöhe von 115 cm. In der zweifaktoriellen ANOVA (Gesamtmodell: F (19,142) = 20,05; p < 0,001; korrigiertes R2 = 0,69; n = 162) konnte kein statistisch signifikanter Einfluss der Stammhöhe auf das 100-Beeren-Gewicht festgestellt werden. Die durchschnittlichen *Mostgewichte* lagen jahresabhängig zwischen 16,4 und 18,5 °KMW bei einer Stammhöhe von 75 cm und zwischen 16,3 und 19,0 °KMW bei einer Stammhöhe von 115 cm. Ein eindeutiger Einfluss der Stammhöhe über alle Untersuchungsjahre war nicht erkennbar, wie durch die zweifaktorielle ANOVA (Gesamtmodell: F (23,174) = 21,73; p < 0,001; korrigiertes R2 = 0,71; n = 198) bestätigt wurde. Hingegen ermittelten TRANDAFILOVIC und ZUNIC (2010) bei den Rebsorten Sauvignon Blanc, Weißburgunder und Zuplanka bei einer Stammhöhe von 40 cm einen höheren Zuckergehalt in den Beeren als bei einer Stammhöhe von 70 cm. TKACHENKO et al. (2017) zufolge wurde bei einer Stammhöhe von 80 cm im Vergleich mit den Stammhöhen 40, 120 und 160 cm das Optimum des Zuckergehalts erzielt. Die *Gehalte an hefeverwertbarem Stickstoff im Most* lagen jahresabhängig zwischen 105 und 233 mg/l bei einer Stammhöhe von 75 cm und zwischen 114 und 218 mg/l bei einer Stammhöhe von 115 cm. In der überwiegenden Anzahl der Jahre zeigte sich bei einer Stammhöhe von 115 cm ein geringerer Gehalt an hefeverwertbarem Stickstoff im Most als bei einer Stammhöhe von 75 cm. Laut zweifaktorieller ANOVA (Gesamtmodell: F (19,142) = 17,58; p < 0,001; korrigiertes R2 = 0,66; n = 62) waren sowohl der Einfluss des Jahres als auch der Einfluss der Stammhöhe signifikant. Die Ergebnisse zum *Gehalt an titrierbarer Säure*, zum *pH-Wert* und zum *Gesamtstickstoffgehalt im Most* sowie zum *Schnittholzgewicht* und zu den *phänologischen Erhebungen* sind in der Publikation von MEHOFER et al. (2022) nachzulesen und werden dort diskutiert. Diese Publikation ist im Internet unter https://www.weinobst.at/service/publikationen.html abrufbar.

Zusammenfassung

Mit der österreichischen Qualitätsweinrebsorte Zweigelt (Rotburger) wurde in Klosterneuburg (Niederösterreich) eine Rebanlage mit den Stammhöhen 75 cm und 115 cm (= SH 75 und SH 115) angelegt. In einem Langzeitversuch von 2009 bis 2020 wurden die Einflüsse auf Ertrag, Reife, Schnittholzgewicht und Phänologie ermittelt sowie periodisch auftretender Wildverbiss und Traubenwelke quantifiziert. Die statistische Auswertung über alle Jahre ergab bei SH 115 mit durchschnittlich 3,79 kg pro Stock einen signifikant höheren Ertrag als bei SH 75 mit durchschnittlich 3,33 kg pro Stock. Das durchschnittliche Traubengewicht lag bei SH 115 mit 215,91 g signifikant höher als jenes bei SH 75 mit 196,45 g. Ursache dafür war primär der Wildverbiss an den Trauben der niedrigeren Stämme mit einer Schadensstärke von bis zu 15 %. Ebenfalls signifikant höher war bei SH 115 der Gehalt an titrierbarer Säure im Most. Die durchschnittlichen Werte über alle Versuchsjahre betrugen 7,1 g/l bei SH 115 und 6,7 g/l bei SH 75. Der pH-Wert des Mostes war bei SH 115 statistisch signifikant niedriger. Die durchschnittlichen Werte über alle Versuchsjahre betrugen 3,19 bei SH 115 und 3,22 bei SH 75. Die Gehalte an hefeverwertbarem Stickstoff und Gesamtstickstoff im Most waren bei SH 115 signifikant geringer als bei SH 75, und zwar um 6,4 % beziehungsweise 6,2 %. Die Parameter Hundertbeerengewicht, Mostgewicht, Schnittholzgewicht und Rebenentwicklung (BBCH 09 / OIV 301 / "Austrieb" und BBCH 85 / OIV 303 / "Weichwerden der Beeren") und das Auftreten von Traubenwelke wurden durch die Stammhöhe nicht oder nur geringfügig beeinflusst. Neben der Vermeidung von Wildverbiss bei den höheren Stämmen kann der erhöhte Gehalt an titrierbaren Säuren im Most als Vorteil gesehen werden, da wärmere Temperaturen im Spätsommer und Herbst, die einen schnelleren Säureabbau verursachen, klimawandelbedingt häufiger auftreten.

Abstract

A research vineyard with stem heights of 75 cm and 115 cm (= SH 75 and SH 115) was established with the Austrian grapevine variety Zweigelt (Rotburger) in Klosterneuburg (Lower Austria) to determine

the effects on yield, ripeness, pruning wood weight and phenology in a long-term trial from 2009 to 2020. In addition, periodically occurring damage caused by game animals and grape wilt were quantified. The statistical analysis over all years showed a significantly higher yield with SH 115 (average of 3.79 kg per vine) than with SH 75 (average of 3.33 kg). In addition, the average cluster weight was significantly higher with SH 115 (215.91 g) than that with SH 75 (196.45 g). The reason for this was primarily damage caused by game animals on the grapes of the lower stems with a damage intensity of up to 15 %. The content of titratable acidity in the must was also significantly higher with SH 115 (SH 115: 7.1g/l; SH 75: 6.7 g/l). With SH 115 the pH-value in the must was statistically significantly lower than with SH 75. The mean values over all years were 3.19 with SH 115 and 3.22 with SH 75. The contents of yeast assimilable nitrogen (YAN) and of total nitrogen in the must were significantly lower with SH 115 than with SH 75 (6.4 % and 6.2 % resp.). The parameters 100-berries weight, must density, pruning wood weight and phenological development (BBCH 09 / OIV 301/ "time of bud burst" and BBCH 85 / OIV 303 / "time of beginning of berry ripening") and the occurrence of grape wilt were not or only slightly influenced by stem height in this experiment. In addition to avoiding damage caused by game animals with the higher stems, the increased content of titratable acidity in the must can be seen as an advantage, because warmer temperatures in late summer and autumn, which cause faster acid degradation, occur more frequently due to climate change.

Literatur

GRÜNWALD, W, GRUBMANN, Ch, KERN, R (2004): Wildschadensbewertung in Niederösterreich, 26. Österreichischer Jagd- und Fischerei-Verlag, Wien.

KALKAN, N N, KESKIN, N (2018): The Effects of Trunk Height and Training Systems on some Physico-chemical Properties of 'Karaerik' Berries. YYU TAR BIL DERG (YYU J AGR SCI) 28 (özel sayi), 257-267.

KNOLMAJERNÉ SZIGETI, G, KOCSIS, L, HOFFMANN, S, MÁJER, J, JAHNKE, G (2014): Comparison of the mid-wire cordon and the umbrella training system with the grapevine varieties 'Olaszrizling' ('Welschriesling'), 'Szürkebarát' ('Pinot gris') and 'Kéknyelü' varieties in Badacsony (Hungary): Mitteilungen Klosterneuburg 64, 44-53

MEHOFER, M. SCHMUCKENSCHLAGER, B, HANAK, K, VITOVEC, N, BRAHA, M, CHRISTINER, F, GORECKI, A, BADER, C, SCHOBER, V, RIEDLE-BAUER, M (2022): Untersuchungen zum Einfluss der Stammhöhe auf Ertrag und Qualität der Rebsorte `Zweigelt´ über elf Jahre. Mitteilungen Klosterneuburg 72, 1-19.

MURISIER, F, SPRING, J-L (1986): Influence de la hauteur du tronc et de la densité de plantation sur le comportement de la vigne. Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic. Vol 18 (4), 221-224.

REDL, H (1986): Makro- und Mirkonährstoffgehalte in Blättern, Beeren und Rappen in Abhängigkeit von Trieblokalisation und Rebstammhöhe bei der Sorte Grüner Veltliner. Mitteilungen Klosterneuburg 36, 1-4.

REDL, H, RUCKENBAUER, W, TRAXLER, H (1996): Weinbau Heute, 482. Graz – Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.

REYNOLDS, A G, WARDLE, D A, CLIFF, M A, KING, M (2004): Impact of Training System and Vine Spacing on Vine Performance, Berry Composition and Wine Sensory Attributes of Riesling. Am. J. Enol. Vitic. 55:1, 96-103.

TKACHENKO, O, PASHKOVSKIY, A, SHTIRBU, A (2017): Influence of viticultural practices on the sensory characteristics of wine grape varieties. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology and equipment of food production 2/10 (86), 49-56.

TRANDAFILOVIC, V, ZUNIC, D (2010): The effects of the height of grape vine trunks on yield and quality of grapes of vine varieties grown for making white wines. Arhiv za poljoprivredne nauke, 19-26.

Adressen der Autoren

[1] HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Institut Weinbau, Agnesstraße 60, A-3400 Klosterneuburg

[2] HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Abteilung Chemie, Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg

[*] Ansprechpartner: DI Martin MEHOFER, martin.mehofer@weinobst.at

Pilzwiderstandsfähige Rebsorten. Ein allgemeiner Überblick und ihre Eigenschaften in der Traubenverarbeitung

Fungus resistant grape varieties. An overview and their characteristics in the wine production

Michael Winkler*, Harald Scheiblhofer, Mario Strauss, Michael Schneider, Elke Körbler, Florian Masser, Gregor Frühwirth, Andreas Fingerlos

Einleitung

Pilzwiderstandsfähige Rebsorten werden wohl in vielerlei Hinsicht ein wichtiger Bestandteil des zukünftigen Weinbaus sein. Das Engagement vieler Institutionen aus dem Bereich der Rebzüchtung in Europa ist sicherlich der Grundstein für den aufstrebenden Weg der Piwis. Piwi ist die gebräuchliche Kurzform für pilzwiderstandsfähige Rebsorten. Diese Rebsorten haben vorteilhafte Eigenschaften im Weingarten, da sie gewissen Schaderregern gegenüber toleranter sind, und sie haben eine ähnliche Weinaromatik wie die traditionsreichen Europäerreben (REGNER et al. 2016, S. 67). Die Rebsorten entstehen durch Kreuzung etablierter Europäerreben (Vitis vinifera sativa) mit amerikanischen oder asiatischen Arten (Vitis Labrusca, Vitis Rupestris, Vitis Amurensis etc.). Dies bringt den Vorteil die unterschiedlichen positiven Eigenschaften der jeweils gekreuzten Rebsorten in die neuen Rebsorten zu kombinieren und somit im besten Fall die guten qualitativen Eigenschaften in der Sensorik mit Toleranzen gegenüber Pilzerregern wie den falschen oder echten Mehltau im Weingarten zu vereinen. Aufgrund des geringeren Pflanzenschutzaufwands interessieren sich vor allem Betriebe mit biologischer Bewirtschaftung für pilzwiderstandsfähige Rebsorten (BASLER und SCHERZ, 2011). Piwi-Weingärten können nachhaltiger bewirtschaftet werden und im österreichischen Weinmarkt, in dem die Ökologie eine hohe Rolle spielt, wäre noch viel Platz für Piwi-Rebsorten.
Aus Sicht der Rebzüchtung sind pilzwiderstandsfähige Rebsorten ein Erfolg. Im Österreichischen Weinbau nimmt die Aufmerksamkeit zu. So wurden im Jahr 2021 knapp 1,5 % der österreichischen Rebfläche (knapp 700 ha) mit Rebsorten mit erhöhter Pilzwiderstandsfähigkeit bepflanzt (DITINGER 2022, S. 12). Die Anzahl der eingereichten Proben beim Piwi-Weinwettbewerb wächst (PIWI-INTERNATIONAL, 2022) (PIWI-INTERNATIONAL, 2021) und selbst der Salon hat nun eine eigene Piwi-Kategorie gemeinsam mit Alternativweinen (ÖWM 2022a). Eine Integrierung in das DAC-System wäre dennoch wünschenswert und würde vermutlich der Vermarktung von pilzwiderstandsfähigen Weinen helfen.
Durch die wachsende Aufmerksamkeit und zunehmende Bedeutung der pilzwiderstandsfähigen Rebsorten auch im Weinkeller hat sich die Abteilung Kellerwirtschaft der HBLAuBA für Wein- und Obstbau in den letzten Jahren in drei Projekten diesen Rebsorten gewidmet. Zwei davon werden in dieser Arbeit im Anschluss an eine allgemeine Beschreibung von pilzwiderstandsfähigen Rebsorten zusammengefasst.

Pilzwiderstandsfähige Rebsorten

Pilzwiderstandsfähige Rebsorten werden in der Regel so gezüchtet, dass klassische Europäerreben Vitis vinifera mit Amerikanerreben (Vitis Rupestris, Vitis Riparia) oder asiatischen Reben (Vitis Amurensis) gekreuzt werden (REGNER et al., 2016, S. 68). Dabei sind es mehrere Züchtungsschritte, die getätigt werden um die entsprechenden Eigenschaften zu kombinieren. Die zwei Hauptziele, die dabei verfolgt werden, fallen dabei einerseits in die Leistungserhaltung oder Leistungssteigerung der Weinqualität und andererseits die Verbesserung der Resistenzeigenschaften. Dabei sind es mehrere Züchtungsschritte, die getätigt werden um die entsprechenden Eigenschaften zu kombinieren. Pilzwiderstandsfähige Rebsorten fallen somit in den Bereich der interspezifischen Züchtungen. Das Ziel dieser Züchtungen ist die Kombination der jeweiligen positiven Eigenschaften der unterschiedlichen Kreuzungspartner. Die Kombination dieser Ziele ist bereits vielfach geglückt. In Österreich sind fünf Rebsorten mittlerweile zugelassen für die Erzeugung von Qualitätswein: Blütenmuskateller, Muscaris, Rathay, Roesler und Souvignier Gris. Für die Erzeugung von Rebsortenwein sind Bronner, Cabernet Blanc, Cabernet Jura, Donauriesling, Donauveltliner, Johanniter, Pinot Nova und Regent zugelassen. Im Jahr 2021 waren in Summe in Österreich knapp 1,5 % mit pilzwiderstandsfähigen Rebsorten bepflanzt, in Summe sind das knapp 700

ha. Laut der Aussendung zum österreichischen Piwi-Weinwettbewerb sind 2022 bereits 2% der Rebfläche mit Piwi-Rebsorten, das entspräche knapp 890 ha (PIWI-INTERNATIONAL, 2022). Die Steiermark hat mit knapp 3% den größten Anteil an pilzwiderstandsfähigen Rebsorten in Österreich.

Tabelle 1: **Anbaufläche der zugelassenen pilzwiderstandsfähigen Rebsorten, eigene Darstellung nach ÖWM (2022b) und DITTINGER (2022)**

Rebsorte	Farbe	Anbaufläche [ha]	Prozent der gesamten Rebfläche	Zugelassen als	Ursprung
Roesler	Rot	274	0,6	Qualitätswein	Österreich
Blütenmuskateller	Weiß	89	0,2	Qualitätswein	Russland
Muscaris	Weiß	86	0,2	Qualitätswein	Deutschland
Souvignier Gris	Weiß	60	0,1	Qualitätswein	Deutschland
Donauriesling	Weiß	54	0,1	Rebsortenwein	Österreich
Rathay	Rot	42	0,09	Qualitätswein	Österreich

Material und Methoden

Das erste Projekt, welches zusammengefasst wird, beschäftigt sich mit den kellereitechnischen Besonderheiten von Piwis im Allgemeinen und beleuchtet die Frage, ob sich Piwi-Rebsorten im Keller anders verhalten als konventionelle Rebsorten. Das zweite Projekt beschäftigt sich mit den önologischen Eigenschaften der Sorte Pinot Nova.

Önologischen Eigenschaften von pilzwiderstandsfähigen Sorten

Es wurden pilzwiderstandsfähige Rebsorten und bereits etablierte Rebsorten klassisch verarbeitet (Mostgärung bei Weißweinsorten und Maischegärung bei Rotweinsorten). Die produzierten Weine (bzw. Moste) wurden anhand mehrerer Parameter (Reifeparameter, KMW, Gesamtsäure, Hefeverfügbarer Stickstoff, Alkoholgehalt, flüchtige Säurewerte, Aminosäuren, pH-Wert) miteinander verglichen.

Charakterisierung der önologischen Eigenschaften der roten PiWi-Sorte Pinot Nova

In der zweiten Arbeit wurde die Rebsorte Pinot Nova mit etablierten verwandten Rebsorten verglichen. Diese waren Pinot Noir und Sankt Laurent. Ziel war es, Unterschiede im Bereich der Verarbeitung herauszuarbeiten, mit besonderen Augenmerk auf die Gärung bei unterschiedlichen Säurewerten und auf den biologischen Säureabbau unter Anwendung unterschiedlicher Bakterienarten. Dafür wurden zwischen 670 und 1040 kg Trauben je Rebsorte gelesen, geschwefelt mit 50 mg/kg, die jeweilige Menge der Rebsorte homogenisiert und auf mehrere Behälter aufgeteilt, und je nach Versuch unterschiedlich verarbeitet. Um unterschiedliche Jahrgangsbedindungen zu simulieren und herauszufinden, ob die Veränderung des pH-Wertes eine Auswirkung auf die Gärung hat, wurde die Maische des Pinot Nova und des Pinot Noir in mehrere 25 L Glasballons aufgeteilt und die erste Variante um 1 g/L entsäuert, die zweite Variante nicht säurebehandelt und die dritte Variante um 1g/L mit Weinsäure gesäuert. Jede Variante wurde in doppelter Wiederholung durchgeführt. Der Sankt Laurent wurde nach einem Saftabzug in Großkisten vergoren. Für die Gärung wurden zwei verschiedene Hefen gleichzeitig zugesetzt. Einmal LALVIN Rhône 2056, wovon zwei Drittel hinzugefügt wurden und von LALVIN Uvaferm 43 Restart wurde ein Drittel hinzugefügt. Alle Varianten wurden anschließend in einer temperierten Klimakammer bei 25°C vergoren. Während der Gärung wurde der Maischekuchen 3-mal täglich untergestoßen und für die Dokumentation des Gärfortschritts regelmäßig die Dichte gemessen. Zusätzlich wurden regelmäßig FTIR-Analysen durchgeführt.

Für die nähere Betrachtung des biologischen Säureabbaus der drei verwendeten Rebsorten wurde nach dem Pressen der Maischen die Weine ohne Säurebehandlung jeweils auf 50 Liter Ballons aufgeteilt und dabei je Sorte drei unterschiedliche Varianten untersucht. Bei der ersten Variante wurde ein spontaner biologischer Säureabbau durchgeführt. Bei der zweiten Variante wurden Bakterien zugesetzt, die Kultur Oenococcus Oeni (Lalvin VP41 von der Firma Lallemand), welches aktuell eines der gebräuchlichsten Bakterien am Markt ist. Bei der dritten Variante wurden auch Bakterien zugesetzt, die Kultur Lactobacillus Plantarum (MLPrime von der Firma Lallemand). Alle Untersuchungen wurden in doppelter Wiederholung durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Önologischen Eigenschaften von pilzwiderstandsfähigen Sorten

Die Rebsorten kamen alle mit hohen Zuckergradationen in den Keller (zwischen 18 und 19° KMW). Die Säurewerte waren gleichzeitig teilweise recht hoch, wie beispielsweise bei Blütenmuskateller mit 10,8 g/L In Summe unterschieden sich die Piwi-Rebsorten nicht signifikant von den etablierten Rebsorten.

Spannend sind die Ergebnisse des hefeverfügbaren Stickstoffs (NOPA. Hierbei weisen die Piwi-Rebsorten signifikant höhere Gehalte auf als im direkten Vergleich zu klassischen Rebsorten wie Grüner Veltliner, Sauvignon Blanc oder Zweigelt. Die durchaus höheren Werte der Piwi-Rebsorten lassen den Schluss zu, dass sie besser in der Lage sind, die Hefe mit notwendigem Stickstoff für die Ernährung zu versorgen als klassische Rebsorten. Allerdings sollten hier noch weiterführende Forschung getätigt werden. Die Analysenergebnisse der Aminosäuren sind ebenso spannend, da sich hier große Unterschiede zeigen konnten. In Abbildung 1 sind die Ergebnisse aller untersuchten Aminosäuren dargestellt und in Abbildung 2 die Ergebnisse der Aminosäure Prolin bei welcher sich ein signifikanter Unterschied zwischen klassischen Rebsorten und Piwi-Rebsorten gezeigt hat. Die genaue Ursache oder auch einen Effekt auf die Weine konnte nicht weiter gezeigt werden. Prolin ist als Aminosäure in der Weinbereitung noch wenig erforscht worden, jedoch dürfte sie für die Hefen und Bakterien soweit irrelevant sein (SCHEIBLHOFER 2021, S. 9). In der Stressresistenz der Rebe leistet Prolin allerdings einen wichtigen Beitrag (REGNER 2022, S. 18).

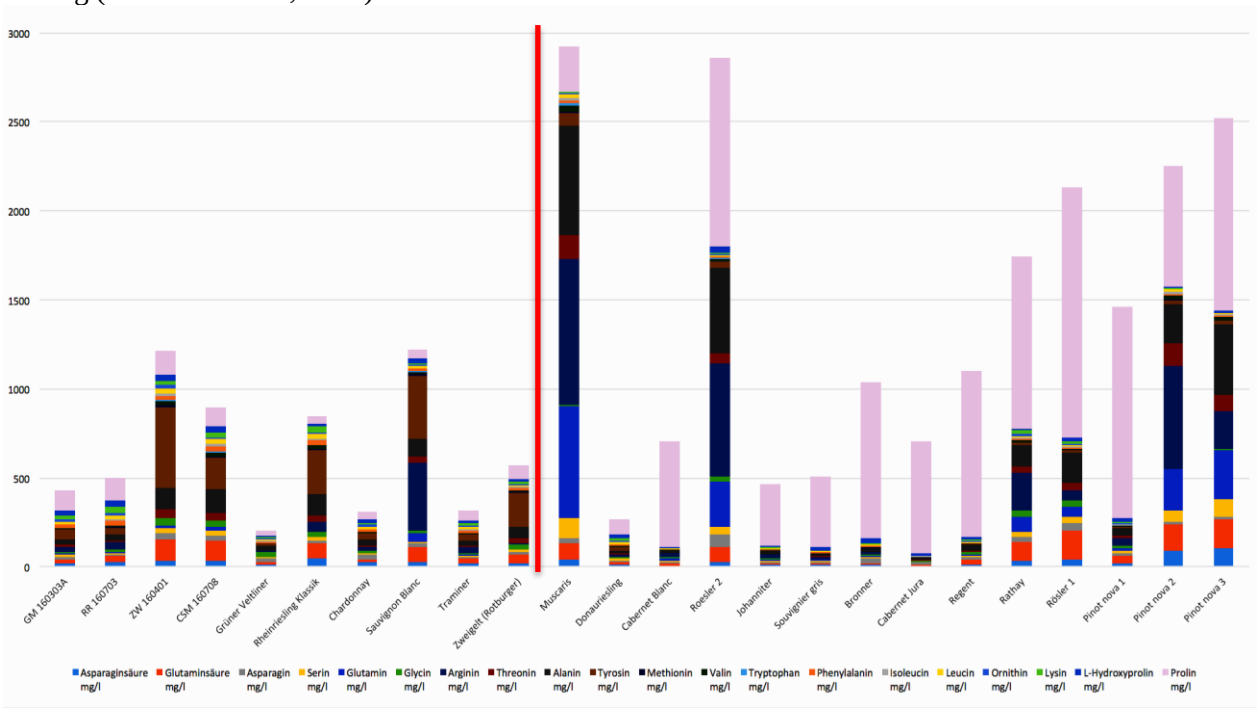


Abbildung 1: **Übersicht über Aminosäuren-Gehalte der ausgewählten Rebsorten**

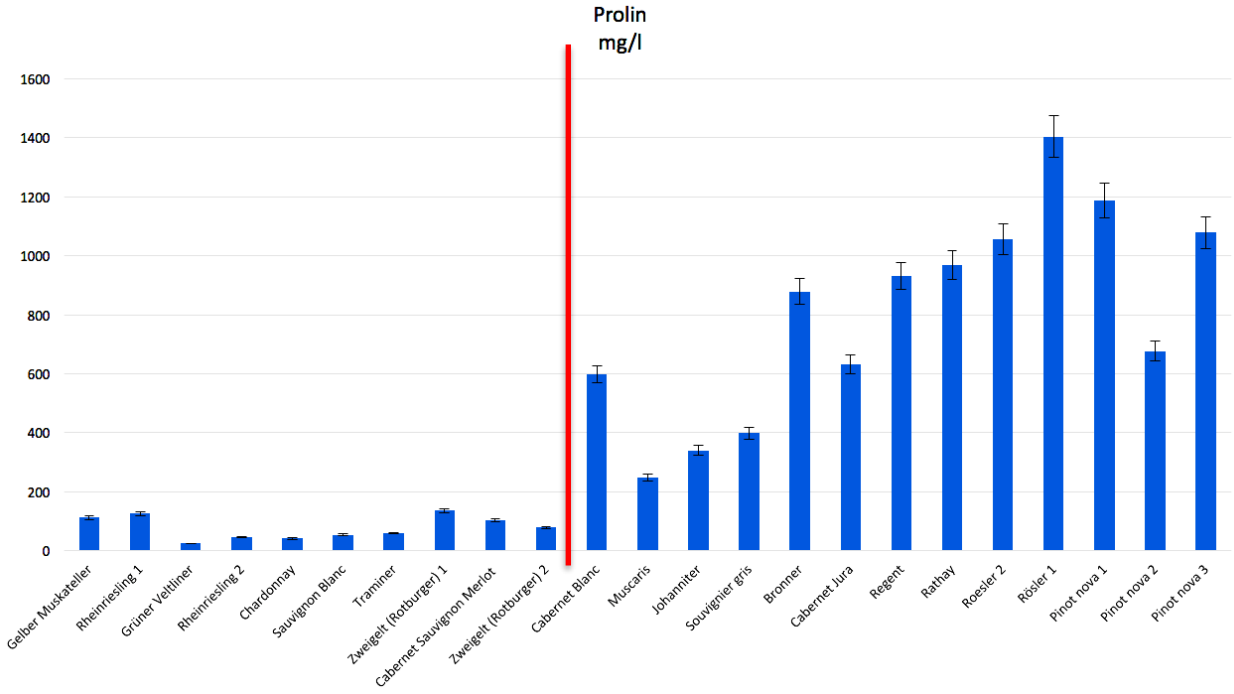


Abbildung 2: **Darstellung der Prolin-Gehalte der ausgewählten Rebsorten**

In beiden Abbildungen sind die pilzwiderstandsfähigen Rebsorten rechts des roten Striches dargestellt und links die etablierten Rebsorten.

Die Ergebnisse zur flüchtigen Säure, zu den Gesamtphenolen und pH-Wert oder weitere Analysewerte wie Alkoholgehalte werden hier nicht näher betrachtet, da keine Auffälligkeiten der Ergebnisse zu erkennen waren.

Charakterisierung der önologischen Eigenschaften der roten PiWi-Sorte Pinot Nova

Die Gärungen sind im Allgemeinen sehr rasch und problemlos verlaufen. Dies war zu erwarten durch den Einsatz von Reinzuchthefen und der Lagertemperatur von 25°C. Es gab leichte Abweichungen bzgl. der Gärdauer innerhalb der Varianten, dies jedoch hauptsächlich bei Pinot Noir und die Abweichungen sind nicht weiter relevant. Bei den Varianten mit unterschiedlichem pH-Wert lässt sich ebenso resümieren, dass jede Variante gleichmäßig vergor. Die Varianten mit höheren Säurewerten vergoren minimal langsamer. Die Entsäuerung und die Säuerung haben keine wesentliche Auswirkung auf die Gärung.
Bezüglich des biologischen Säureabbaus wurde mehrere Parameter wie Titrierbare Säure, pH-Wert, Äpfelsäure, flüchtige Säure etc. untersucht und keine wesentlichen Unterschiede, die auf die Rebsorte zurückzuführen sind, erkannt. Pinot Noir weist etwas niedrigere titrierbare Säure und niedrigere Weinsäure auf als Pinot Nova und St. Laurent. Unterschiede gab es bei der Schnelligkeit des biologischen Säureabbaus abhängig von der Bakterienart. Lactobacillus Plantarum war am schnellsten, gefolgt von Oenococcus Oeni und die spontanen Varianten waren deutlich langsamer. Pinot Noir war die einzige Sorte, die spontan den biologischen Säureabbau nicht abschloss. Die Ergebnisse der flüchtigen Säure weisen für Pinot Nova die geringsten Werte aus.

Die Untersuchungen in der Verarbeitung zeigten, dass sich Pinot Nova in Summe sehr ähnlich verhält wie die verglichenen klassischen Rebsorten Pinot Noir und Sankt Laurent. Anhand der Ergebnisse konnte festgestellt werden, dass bei jeweils gleichen Bedingungen keine relevanten Unterschiede der drei untersuchten Sorten auftraten.

Zusammenfassung

Pilzwiderstandsfähige Rebsorten sind ein wichtiges Themengebiet in der Weinproduktion. Sie fallen in der Rebzüchtung in den Bereich der interspezifischen Züchtungen. Dabei werden mehrere Kreuzungsschritte aus beispielsweise Amerikanerreben mit Europäerreben durchgeführt. Eine Kombination aus den jeweiligen positiven Eigenschaften, also die hohe Weinqualität der Europäerreben und die Toleranzen gegenüber gewissen Pilzkrankheiten im Weingarten der Amerikanerreben ist das eindeutige Ziel der Züchtung pilzwiderstandsfähiger Rebsorten. Damit lässt sich eine Reduktion des Pflanzenschutzes und der Applikationshäufigkeit erzielen und die Piwi-Rebsorten sind ein wesentlicher Bestandteil in der Entwicklung des Weinbaus in Richtung Nachhaltigkeit. Im Jahr 2021 wurden in Österreich knapp 700 ha der Rebfläche mit Piwis bepflanzt, das entspricht knapp 1,5%. Im Bereich der Traubenverarbeitung hat sich gezeigt, dass sich pilzwiderstandsfähige Rebsorten in der Regel sehr ähnlich den etablierten Rebsorten verhalten. Erhöhte Werte im Bereich des hefeverfügbaren Stickstoffs und die signifikant höheren Prolin-Werte sind als Unterschied hervorzuheben. Bei dem genaueren Vergleich zwischen Pinot Nova zu Sankt Laurent und Pinot Noir konnten keine relevanten Unterschiede herausgearbeitet werden.

Abstract

Fungus resistant grape varieties are important in the wine production sector. These interspecific grape varieties are the result of cross-breeding Mediterranean species V. vinifera with e.g. North American or Asian Vitis spp. This leads to new grape varieties with a combination of the positive characteristics from either of the used grape varieties, such as the high quality of the resulted wines from the Mediterranean species and the fungus resistance from the North American species. A lower necessity for plant protection is the result and fungus resistant grape varieties have the capability in playing a big part in making viticulture more sustainable. In 2021 about 700 ha or 1.5 per cent of the total cultivated vine growing area in Austria were fungus resistant grape varieties. Concerning the grape processing the results of two projects demonstrate that these grape varieties show hardly any difference to established grape varieties. The few difference that are worth mentioning are higher amounts of Primary Amino Nitrogen (NOPA) and higher values of the amino acid proline for fungus resistant grape varieties. The second project showed that even with different simulated harvesting scenarios Pinot Nova behaves in the same way as St. Laurent and Pinot Noir.

Literatur

BASLER, P. und SCHERZ, R. 2011: Piwi-Rebsorten. – Wädenswil, Stutz Druck AG

DITTINGER J. 2022: Gegenwärtige Situation von Piwis im Überblick. Vortrag bei der ÖSF-Wintertagung von Renner Wolfgang. Der Winzer, 04/2022, S. 12-13

ÖWM 2022a: Salon 2022. Aufgerufen am 01.12.2022 unter https://www.oesterreichwein.at/salon-2022?gclid=Cj0KCQiAvqGcBhCJARIsAFQ5ke7OfYgEK7IjAzbKljp7E5A-7CaG9G5VvG1kd5QfLfBb2KmCpJefhlIaAgBREALw_wcB

ÖWM 2022b: Dokumentation Österreich Wein, Stand 18.Oktober 2022. Aufgerufen am 02.12.2022 unter https://www.oesterreichwein.at/fileadmin/user_upload/PDF/Doku/Dokumentation_OEsterreich_Wein_2021_Gesamtdokument_20221018.pdf

PIWI INTERNATIONAL 2022: Piwi Wettbewerb: Neue/innovative Rebsorten. Weine aus allen neun Bundesländern. Aufgerufen am 01.12.2022 unter https://piwi-international.de/wp-content/uploads/2022/07/PIWI-Weinpreis__2022_PA.pdf

PIWI INTERNATIONAL 2021: Piwi Wettbewerb: Neue/innovative Rebsorten. Einige Überrraschungen. Aufgerufen am 01.12.2022 unter https://piwi-international.de/wp-content/uploads/2021/07/Presseaussendung_PIWI_AT_2021.pdf

REGNER F. et al. 2016: Die neue Rebsorte „Donauriesling“ und ihre wesentlichen Charakteristika. Deutsches Weinbau-Jahrbuch 2017, 68. Jahrgang, Eugen Ulmer Verlag, S. 67- 81.

REGNER F. 2022: Pinot Nova aus Klosterneuburg. Der Winzer, 12/2022, S. 16-20.

SCHEIBLHOFER H. 2021: Produktion von Piwi- und veganen Weinen. Der Winzer 09/2021, S. 9-11

Adressen der Autoren

Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Wiener Straße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: DI Michael WINKLER BSc., michael.winkler@weinobst.at

Invertase-Aktivitäten in Apfelblattknospen während der Dormanzaufhebung – beharrlich UND nachgiebig

Invertase activities in apple leaf buds during dormancy release

Anna M. Hubmann*, Alexandra Jammer, Stephan Monschein

Einleitung

Die Knospendormanz ermöglicht es Obstbäumen wie dem Apfel ungünstige Bedingungen während der Wintermonate zu überdauern und beeinflusst somit maßgebend das Pflanzenwachstum und den Reproduktionserfolg im Frühjahr. Daher ist die Untersuchung der Knospen-Physiologie während der Dormanz und ihrer Aufhebung sowohl aus wissenschaftlicher wie auch agrarökonomischer Sicht von großer Bedeutung – insbesondere in Zeiten des Klimawandels. In den letzten Jahren wiesen zahlreiche Studien auf eine Schlüsselrolle des Kohlenhydratstoffwechsels während der Dormanz und ihrer Aufhebung hin (VITRA et al., 2017; BEAUVIEUX et al., 2018; ZHANG et al., 2018; ROSA et al., 2022). Invertasen, die die irreversible hydrolytische Spaltung von Saccharose in Glucose und Fructose katalysieren (WAN et al., 2018) spielen nicht nur im primären Kohlenhydratstoffwechsel eine wesentliche Rolle, sondern sie haben auch regulierende Funktionen bei Entwicklungs- und Wachstumsprozessen, sowie in diversen abiotischen Stressreaktionen von Pflanzen (ROITSCH und GONZÁLEZ, 2004). In dieser Studie wurden die Aktivitäten der vakuolären Invertase (vacINV) und der Zellwand-gebundenen Invertase (cwINV) in Apfelblattknospen der Sorte Idared während der Dormanzaufhebung bis zum Knospenaufbruch über zwei Jahre untersucht. Die kontinuierliche Aufzeichnung der Lufttemperatur über beide Untersuchungszeiträumen dient zur Diskussion der Veränderlichkeit der Enzymaktivitäten in Bezug auf diesen physiologisch wirksamen Umwelt(stress)faktor (HEIDE und PRESTRUD, 2005).

Material und Methoden

Pflanzenmaterial, Beprobungszeiträume: Apfelblattknospen von fünfzig 14-jährigen Apfel-Spalierbäumen der Sorte Idared (veredelt auf M9) wurden vom 6. März 2020 bis 10. April 2020 und vom 5. März 2021 bis 2. April 2021 in ein-Wochen-Intervallen beprobt. Die Versuchsbäume standen in der Versuchsstation für Obst- und Weinbau in Haidegg, Graz. Je Probennahme wurden fünfzehn Blattknospen pro Baum gesammelt. Die Apfelblattknospen wurden sofort in flüssigem Stickstoff schockgefroren. Anschließend wurden die Knospen von zehn Bäumen zu einer Mischprobe zusammengeführt. Die Knospen der Mischproben (n = 5) wurden anschließend gefriergetrocknet und gemahlen.
Proteinextraktion und Aktivitäts-Assays für saure Invertasen: Die Extraktion von intrazellulären und Zellwand-gebundenen Proteinen in Apfelblattknospen wurde nach HUBMANN et al. (2022) durchgeführt. Die Aktivitätsmessungen der sauren Invertasen wurden nach JAMMER et al. (2015) durchgeführt. Alle Messungen wurden in Triplikaten in 96-well Mikrotiterplatten ausgeführt und mittels eines Mikroplatten-Photometers gemessen.
Lufttemperatur: Ein Datenlogger mittig der Spalierbaumreihe nahm die Lufttemperatur [°C] stündlich über den gesamten Untersuchungszeitraum auf.

Ergebnisse und Diskussion

Die Knospendormanz und ihre Aufhebung ist für das Wachstum und eine erfolgreiche Reproduktion von Obstbäumen im Frühjahr entscheidend. Bevor ausdauernde Pflanzen in die winterliche Ruhephase eintreten, werden empfindliche Gewebe wie Blätter abgeworfen und das Sprossapikalmeristem, sowie die Blatt- und Blütenanlagen durch derbe Knospenschuppen geschützt (HORVATH et al., 2003; LEIDA et al., 2012; VITI et al., 2013). Gerade im Frühjahr stellt die Dormanzaufhebung und der Beginn der Wachstumswiederaufnahme, wenn junge Blätter und Blüten aus den Knospen hervorgehen (i.e. Knospenaustrieb), eine kritische Phase dar, die bestimmend für das potenzielle Risiko von Frostschäden sowie für die gesamte Vegetationsperiode der Pflanze ist (VITASSE et al., 2014; BAUMGARTEN et al., 2021). Aus pflanzenphysiologischer Sicht ist die Dormanzaufhebung und die Wachstumswiederaufnahme geprägt von einem Balanceakt zwischen physiologischen Prozessen, die die Entwicklung und

das Wachstum vorantreiben, und Prozessen, die zur Toleranzsteigerung gegenüber abiotischen Stressfaktoren (Kältestress) beitragen.
Invertasen, die die Spaltung von Saccharose katalysieren, sind sowohl an entwicklungs- und organabhängigen Wachstumsprozessen, (RUAN et al., 2010) wie auch bei Stressreaktionen (ROITSCH und GONZÁLEZ, 2004) in Pflanzen beteiligt. Hinsichtlich entwicklungsbezogener Aspekte trägt die Zellwand-gebundene Invertase (cwINV) zur sogenannten „sink strength" (also der Fähigkeit eines Sink-Gewebes Saccharose möglichst effizient zu sich zu leiten) bei, indem sie einen Saccharose-Konzentrationsgradienten zwischen Source- und Sink-Gewebe aufrecht hält (ZHANG et al., 2004; LEMOINE et al., 2013). Zusätzlich liefert die cwINV-Aktivität mit ihrem gekoppelten apoplastischen Hexosetransport Glucose und Fructose für den cytoplasmatischen Hexose-Pool, womit sie auch Energie und Kohlenstoff für sich schnell teilende Zellen in wachsenden Geweben liefert (THAKUR et al., 2010). Die vakuoläre Invertase (vacINV) hydrolysiert Saccharose in der Vakuole zu Glucose und Fructose, wodurch das osmotische Potenzial erhöht und ein Wassereinstrom in wachsende Gewebe gefördert wird (WAN et al., 2018). Aufgrund dessen wird allgemein akzeptiert, dass die vacINV-Aktivität an der Zellexpansion durch osmotische Regulation beteiligt ist (ROITSCH und GONZÁLEZ, 2004). Darüber hinaus spielt die vacINV eine wichtige Rolle in der Zuckerakkumulation und – wie auch die cwINV – in der Einspeisung von Hexosen in den cytoplasmatischen Hexose-Pool (KOCH, 2004).
In der vorliegenden Studie war die cwINV-Aktivität in Apfelblattknospen zu Beginn des Untersuchungszeitraums (als die Blattknospen dem phänologischen Stadium BBCH 00, also „Winterknospe" zugewiesen werden konnten) in beiden Jahren relativ gering und stieg bis zum Ende der Untersuchungszeiträume (zum Austrieb der Blattknospen, BBCH 07) kontinuierlich an (vgl. Abb. 1). Entsprechend jener Beobachtungen darf angenommen werden, dass sich durch die Aktivitätszunahme der cwINV, die „sink strength" der Knospen im Zuge der Dormanzaufhebung und der Wachstumswiederaufnahme erhöhte, was sich fördernd auf den Austrieb der Knospen auswirkt (ROSA et al., 2022). Wenngleich die vacINV-Aktivität in Summe ebenfalls anstieg, zeigte sie einen diskontinuierlichen Aktivitätsverlauf in beiden Untersuchungszeiträumen (vgl. Abb. 1). Bei der Betrachtung der beiden letzten Untersuchungszeitpunkte beider Jahre, also zum Beginn des Knospenaustriebs (BBCH 07), zeigte die vacINV-Aktivität einen starken Anstieg. Diese Beobachtung unterstützt die Annahme, dass eine Erhöhung des Zellturgors, vermittelt durch die Spaltung von Saccharose durch vacINV, eine Schlüsselrolle in der Induktion und Etablierung des Knospenaustriebs spielt (GIRAULT et al., 2010).
Neben wachstums- und entwicklungsregulatorischen Leistungen weisen zahlreiche Studien darauf hin, dass Invertasen diverse Funktionen bei abiotischen Stressreaktionen in Pflanzen erfüllen (QIAN et al., 2018). So wirkt sich Kältestress (Temperaturen unterhalb des entwicklungs- und organspezifischen Optimums) insbesondre negativ auf die pflanzliche Entwicklung, die Produktivität und entsprechend auf den Ertrag aus (PENG et al., 2023). Auch während der Dormanzaufhebung und der Wachstumswiederaufnahme, wenn die Knospen zunehmend empfindlicher gegenüber fluktuierenden Umweltbedingungen werden, verzögern kalte Temperaturen das Wachstum und damit den Zeitpunkt des Knospenaufbruchs. Weiters erhöhen Minustemperaturen das Risiko der intrazellulären Eisbildung, was unweigerlich zum Zelltod führt (VITRA et al., 2017; ROSA et al., 2022).
Da in der vorliegenden Studie die cwINV-Aktivität, während der Dormanzaufhebung in Apfelblattknospen in beiden Beobachtungszeiträumen (2020 und 2021) stetig anstieg, kann angenommen werden, dass starke Temperaturabnahmen wenig Einfluss auf die cwINV-Aktivität hatten (vgl. Abb. 1). Währenddessen konnte in beiden Beobachtungszeiträumen eine negative Auswirkung starker Temperaturabnahmen auf die vacINV-Aktivität beobachtet werden (vgl. Abb. 1). Die signifikanten Abnahmen in der vacINV-Aktivität, in Verbindung mit den Temperaturabnahmen (z.B. zwischen DOY [day of the year] 87 und 94 im Jahr 2020 und zwischen DOY 71 und 78 im Jahr 2021) deuten darauf hin, dass die vacINV sensibler auf Kältestress vor dem Knospenaufbruch reagiert. Da die vacINV-Aktivität, wie oben erwähnt, fördernde Wirkung auf den Knospenaustrieb hat (GIRAULT et al., 2010), könnte eine Reduktion der vacINV-Aktivität aufgrund von Minustemperaturen zu einer Verzögerung des Knospenaustriebs führen, wodurch junge Gewebe länger vor Frostschäden geschützt wären.

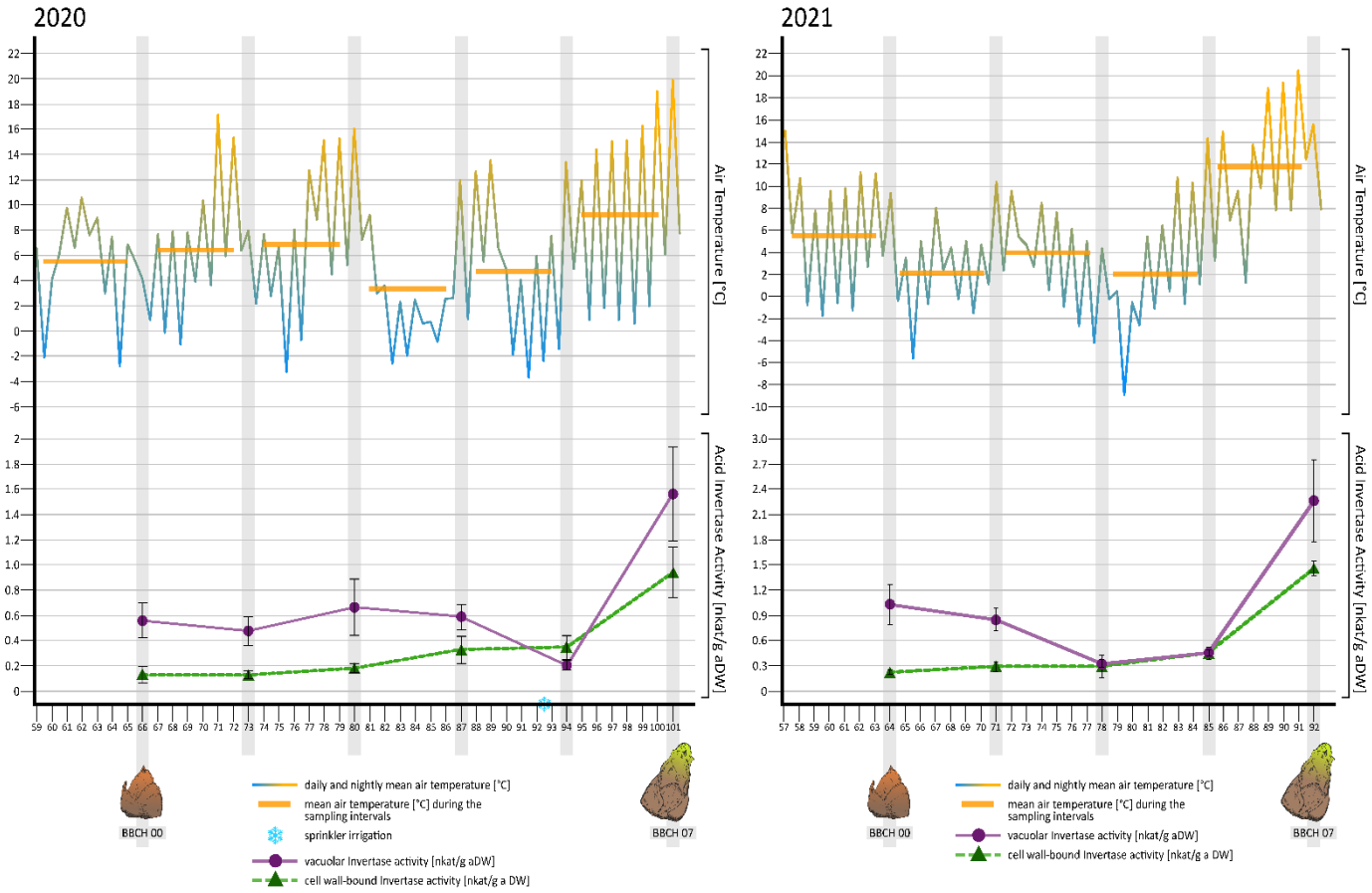


Abbildung 1: **Synoptische Darstellung der Lufttemperatur [°C] und der Invertase-Aktivitäten in Apfelblattknospen während der Untersuchungszeiträume in den Jahren 2020 und 2021. Die Enzymaktivitäten in nkat/g aDW sind als Mittelwerte der Mischproben (n = 5) +/- Standardabweichung dargestellt. Tage an denen Apfelblattknospen beprobt wurden sind mit grauen Balken hervorgehoben. Zusätzlich werden Illustrationen zum phänologischen Stadium der Apfelblattknospen zu Beginn und zum Ende des jeweiligen Untersuchungszeitraums gezeigt.**

In Conclusio: Die vorliegende Studie zeigt, dass die cwINV und die vacINV eine offensichtliche Beteiligung in der Dormanzaufhebung, der Wachstumswiederaufnahme und besonders beim Knospenaustrieb von Apfelblattknospen der Sorte Idared spielen. Im Zuge der Dormanzaufhebung und des Knospenaustriebs kann innerhalb der physiologischen Veränderungen in Knospen grob unterschieden werden zwischen entwicklungsbezogenen Prozessen, die insgesamt einen stabileren, kontinuierlicheren Verlauf aufweisen, und stressinduzierten Prozessen, die üblicherweise einen stärker fluktuierenden, weniger konstanten Verlauf aufweisen. Unsere Untersuchungen zeigen, dass die cwINV-Aktivität hauptsächlich durch einen entwicklungsbezogenen Bedarf an Energie-liefernden Kohlenhydraten angetrieben wird, wodurch letztendlich der Knospenaustrieb gefördert wird. Auch der signifikante Anstieg der vacINV-Aktivität am Ende beider Beobachtungszeiträume legt eine Schlüsselrolle von vacINV bei der Förderung des Expansionswachstums in Apfelblattknospen während der Wachstumswiederaufnahme und des Knospenaustriebs nahe. Im Gegensatz zu cwINV scheint die vacINV allerdings sensitiver auf niedrige Lufttemperaturen während des Knospenaufbruchs zu reagieren. Da die vacINV-Aktivität durch Regulation der Zellturgeszenz fördernde Wirkung auf den Knospenaustrieb hat (GIRAULT et al., 2010) könnte eine Aktivitätsabnahme aufgrund von Minustemperaturen im Frühjahr den Knospenaustrieb verzögern, sodass junge, wachsende Gewebe vor Frostschäden länger geschützt bleiben.

Zusammenfassung

Aktivitäten der Saccharose-spaltenden Enzyme Invertasen in Apfelblattknospen der Sorte Idared wurden während der Dormanzaufhebung bis hin zum Knospenaufbruch über zwei Jahre hin untersucht. Dafür wurden Apfelblattknospen vom 6. März 2020 bis 10. April 2020 und vom 5. März 2021 bis 2. April 2021 in ein-Wochen-Intervallen beprobt. Zusätzlich wurde die Lufttemperatur kontinuierlich über beide Untersuchungszeiträume aufgezeichnet. Die Enzymaktivitäten der vakuolären Invertase (vacINV) und der Zellwand-gebundenen Invertase (cwINV) werden in Abhängigkeit mit der Lufttemperatur diskutiert. Die cwINV-Aktivität nahm in beiden Jahren stetig zu. Die vacINV-Aktivität nahm ebenfalls in Summe zu, schien jedoch durch starke Temperaturabfälle negativ beeinflusst zu werden. Die stetige Aktivitätszunahme der cwINV weist auf eine Erhöhung der „sink strength" der Blattknospen hin. Durch den stabilen Anstieg der cwINV-Aktivität, kann angenommen werden, dass die cwINV in Apfelblattknospen wenig von Temperaturschwankungen beeinflusst wird. Im Gegensatz dazu reagiert die vacINV, die wichtig für die Regulierung des Zellturgors und fördernd für die Zellexpansion in sich entwickelnden Blattknospen ist, negativ in ihrer Aktivität auf starke Temperaturabfälle.

Abstract

Activities of the saccharolytic enzymes Invertases in apple leaf buds of the cultivar Idared during dormancy release until bud break were investigated over two years. For this purpose, apple leaf buds were collected from 6 March to 10 April 2020 and from 5 March to 2 April 2021 in one-week intervals. Additionally, the air temperature was continuously monitored. cwINV activity continually increased in both years. vacINV activity also increased overall but seemed to be influenced by severe temperature drops. The steady increase in cwINV activity during the observation periods indicates an increase in bud sink strength. As cwINV activity increases stably, we assume that cwINV is less sensitive to cold in apple leaf buds. In contrast, vacINV activity – important for the regulation of turgor in developing leaf buds – seemed to negatively respond to severe temperature drops. Overall, it appears that cwINV activity is mainly related to the developmental demand for carbohydrates, less dependent of environmental impacts, whereas vacINV activity seems to be more sensitive to air temperature in apple leaf buds.

Literatur

BAUMGARTEN, F., ZOHNER, C.M., GESSLER, A., VITASSE, Y. (2021): Chilled to be forced: the best dose to wake up buds from winter dormancy. The New phytologist 230, 1366–1377.

BEAUVIEUX, R., WENDEN, B., DIRLEWANGER, E. (2018): Bud Dormancy in Perennial Fruit Tree Species: A Pivotal Role for Oxidative Cues. Frontiers in plant science 9, 657.

GIRAULT, T., ABIDI, F., SIGOGNE, M., PELLESCHI-TRAVIER, S., BOUMAZA, R., SAKR, S., LEDUC, N. (2010): Sugars are under light control during bud burst in Rosa sp. Plant, cell & environment 33, 1339–1350.

HEIDE, O.M., PRESTRUD, A.K. (2005): Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induction and release in apple and pear. Tree physiology 25, 109–114.

HUBMANN A.M., JAMMER, A., MONSCHEIN, S. (2022): Activities of H_2O_2-Converting Enzymes in Apple Leaf Buds during Dormancy Release in Consideration of the Ratio Change between Bud Scales and Physiologically Active Tissues. Horticulturae 8, 982.

HORVATH, D.P., ANDERSON, J.V., CHAO, W.S., FOLEY, M.E. (2003): Knowing when to grow: signals regulating bud dormancy. Trends in plant science 8, 534–540.

JAMMER, A., GASPERL, A., LUSCHIN-EBENGREUTH, N., HEYNEKE, E., CHU, H., CANTERO-NAVARRO, E., GROßKINSKY, D.K., ALBACETE, A.A., STABENTHEINER, E., FRANZARING, J., FANGMEIER, A., VAN DER GRAAFF, E., ROITSCH, T. (2015): Simple and robust determination of the activity signature of key carbohydrate metabolism enzymes for physiological phenotyping in model and crop plants. Journal of experimental botany 66, 5531–5542.

KOCH, K. (2004): Sucrose metabolism: regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. Current opinion in plant biology 7, 235–246.

LEIDA, C., CONEJERO, A., ARBONA, V., GÓMEZ-CADENAS, A., LLÁCER, G., BADENES, M.L., RÍOS, G. (2012): Chilling-dependent release of seed and bud dormancy in peach associates to common changes in gene expression. PloS one 7, e35777.

LEMOINE, R., LA CAMERA, S., ATANASSOVA, R., DÉDALDÉCHAMP, F., ALLARIO, T., POURTAU, N., BONNEMAIN, J.-L., LALOI, M., COUTOS-THÉVENOT, P., MAUROUSSET, L., FAUCHER, M., GIROUSSE, C., LEMONNIER, P., PARRILLA, J., DURAND, M. (2013): Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. Frontiers in plant science 4, 272.
PENG, Y., ZHU, L., TIAN, R., WANG, L., SU, J., YUAN, Y., MA, F., LI, M., MA, B. (2023): Genome-wide identification, characterization and evolutionary dynamic of invertase gene family in apple and revealing its roles in cold tolerance. International journal of biological macromolecules 229, 766–777.
QIAN, W., XIAO, B., WANG, L., HAO, X., YUE, C., CAO, H., WANG, Y., LI, N., YU, Y., ZENG, J., YANG, Y., WANG, X. (2018): CsINV5, a tea vacuolar invertase gene enhances cold tolerance in transgenic Arabidopsis. BMC plant biology 18, 228.
ROITSCH, T., GONZÁLEZ, M.-C. (2004): Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. Trends in plant science 9, 606–613.
ROSA, V. de, FALCHI, R., MORET, E., VIZZOTTO, G. (2022): Insight into Carbohydrate Metabolism and Signaling in Grapevine Buds during Dormancy Progression. Plants (Basel, Switzerland) 11.
RUAN, Y.-L., JIN, Y., YANG, Y.-J., LI, G.-J., BOYER, J.S. (2010): Sugar input, metabolism, and signaling mediated by invertase: roles in development, yield potential, and response to drought and heat. Molecular plant 3, 942–955.
THAKUR, P., KUMAR, S., MALIK, J.A., BERGER, J.D., NAYYAR, H. (2010): Cold stress effects on reproductive development in grain crops: An overview. Environmental and Experimental Botany 67, 429–443.
VITASSE, Y., LENZ, A., KÖRNER, C. (2014): The interaction between freezing tolerance and phenology in temperate deciduous trees. Frontiers in plant science 5, 541.
VITI, R., BARTOLINI, S., ANDREINI, L. (2013): Apricot flower bud dormancy: main morphological, anatomical and physiological features related to winter climate influence. Advances in Horticultural Science 27, 5–17.
VITRA, A., LENZ, A., VITASSE, Y. (2017): Frost hardening and dehardening potential in temperate trees from winter to budburst. The New phytologist 216, 113–123.
WAN, H., WU, L., YANG, Y., ZHOU, G., RUAN, Y.-L. (2018): Evolution of Sucrose Metabolism: The Dichotomy of Invertases and Beyond. Trends in plant science 23, 163–177.
ZHANG, L.-Y., PENG, Y.-B., PELLESCHI-TRAVIER, S., FAN, Y., LU, Y.-F., LU, Y.-M., GAO, X.-P., SHEN, Y.-Y., DELROT, S., ZHANG, D.-P. (2004): Evidence for apoplasmic phloem unloading in developing apple fruit. Plant physiology 135, 574–586.
ZHANG, Z., ZHUO, X., ZHAO, K., ZHENG, T., HAN, Y., YUAN, C., ZHANG, Q. (2018): Transcriptome Profiles Reveal the Crucial Roles of Hormone and Sugar in the Bud Dormancy of Prunus mume. Scientific reports 8, 5090.

Adressen der Autoren

Institut für Biologie, Pflanzenwissenschaften, Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, 8010 Graz, Österreich

* Ansprechpartner: Anna M. HUBMANN, BSc, anna.hubmann@edu.uni-graz.at

Genetische Charakterisierung von Marillensorten mittels Mikrosatelliten-Analyse

Genetic characterization of apricot cultivars by microsatellite analysis

Karin Silhavy-Richter

Einleitung

Die Marille ist eine in Österreich sehr geschätzte Frucht sowohl in frischer als auch verarbeiteter Form, die schon seit Jahrhunderten angebaut wird. In diesem Projekt wurden Marillenbäume vom Versuchsgut Haschhof genetisch untersucht. Ziel der Arbeit war es eine Datenbank mit den erhaltenen genetischen Profilen aufzubauen um auch in Zukunft eine sortenechte Erhaltung gewährleisten zu können. Des Weiteren ist diese Methode eine wichtige Unterstützung für das Genbankmanagement. Insgesamt wurden 154 Bäume genetisch charakterisiert.

Material und Methoden

Für die Analysen wurden Blattproben von Marillenbäumen aus vier verschiedenen Quartieren genommen. Bei der Genbank handelt es sich um eine Anlage mit Hohlkronenerziehung (Pflanzjahr 2013), das Sortimentsquartier (Pflanzjahr 2015 bis 2017) sowie das Bio-Marillenversuchsquartier (Pflanzjahr 2018) sind als formlose Hecke (Maschinenschnitt) erzogen und das Quartier 141 (Pflanzjahr 2010) als Rundkrone. Insgesamt wurden 154 Bäume analysiert, dabei handelt es sich um 36 alte und 44 moderne Sorten.
Für die Erstellung der genetischen Profile wurden die gesammelten Blattproben in die Schweiz an die Firma Ecogenics geschickt. Dort wurde die DNA-Reinigung mittels ”Hot shot” Methode gemacht.
Die Amplifikation der Mikrosatelliten-Regionen mittels PCR erfolgte mit den folgenden 12 Primerpaare UDAp404, PaCITA16, PaCITA7, PaCITA5, MA040a, UDAp419, UDAp413, BPPCT004, UDP97-402, CPPCT030 und UDP98-412. Die Analyse der Fragmentlängen wurde am Kapillarsequenzer ABI 3730XL (Fa. Applied Biosystems) durchgeführt. Die erhaltenen Daten wurden von Ecogenics mit genetischen Profilen der firmeninternen Datenbank abgeglichen und diese Ergebnisse sowie die Rohdaten kamen zur Auswertung.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Analyse der Daten wurde mittels der Software Past 4 (Hammer et al., 2001) ein Dendrogramm erstellt (Abb.1). Dabei zeiget es sich, dass mehr Sorten als ursprünglich erwartet im Cluster 1a zu finden sind. Dass die alten mitteleuropäischen Sorten wie Ananas, Ungarische Beste, Klosterneuburger oder Langenloiser Marille einen Cluster bilden würden, war aufgrund der Daten aus den Publikationen von Chroboková et al. (2011), Maghuly et al. (2006) und Regner et al. (2004) vorherzusehen. Allerdings war es etwas überraschend, dass sich der Großteil dieser Sorten mit einem fast identen genetischen Profil darin wiederfinden würden. Eine mögliche Erklärung ist, dass es sich um Klone der Sorte Ungarische Beste oder einer anderen ungarischen Sorte handelt, da bei einigen Sorten bekannt ist, dass sie aus Ungarn stammen. Auch die in Österreich sehr geschätzte Sorte Klosterneuburger Marille ist ein Klon der Ungarische Beste (Regner et al., 2004). Bei der Sorte Luizet, die als französische Sorte gilt, handelt es sich eigentlich auch um eine ungarische, wobei nicht ganz klar ist, ob sie aus Reisern oder Steinen aus Ungarn gezogen wurde (Löschnig & Passecker, 1954). Diese Sorte weist auch eine sehr nahe Verwandtschaft zur Sorte Ungarische Beste auf.
In der Publikation von Maghuly et al. (2006) konnte eine stärkere Unterscheidung von ungarischen und österreichischen Sorten als in dieser Untersuchung erzielt werden. Daher wurden fünf Marillensorten aus dem Cluster 1a mit den in der Studie von Maghuly verwendeten Primer nochmals analysiert. Es konnte aber auch mit diesem Markerset keine bessere Auftrennung erzielt werden (siehe Tab. 1).

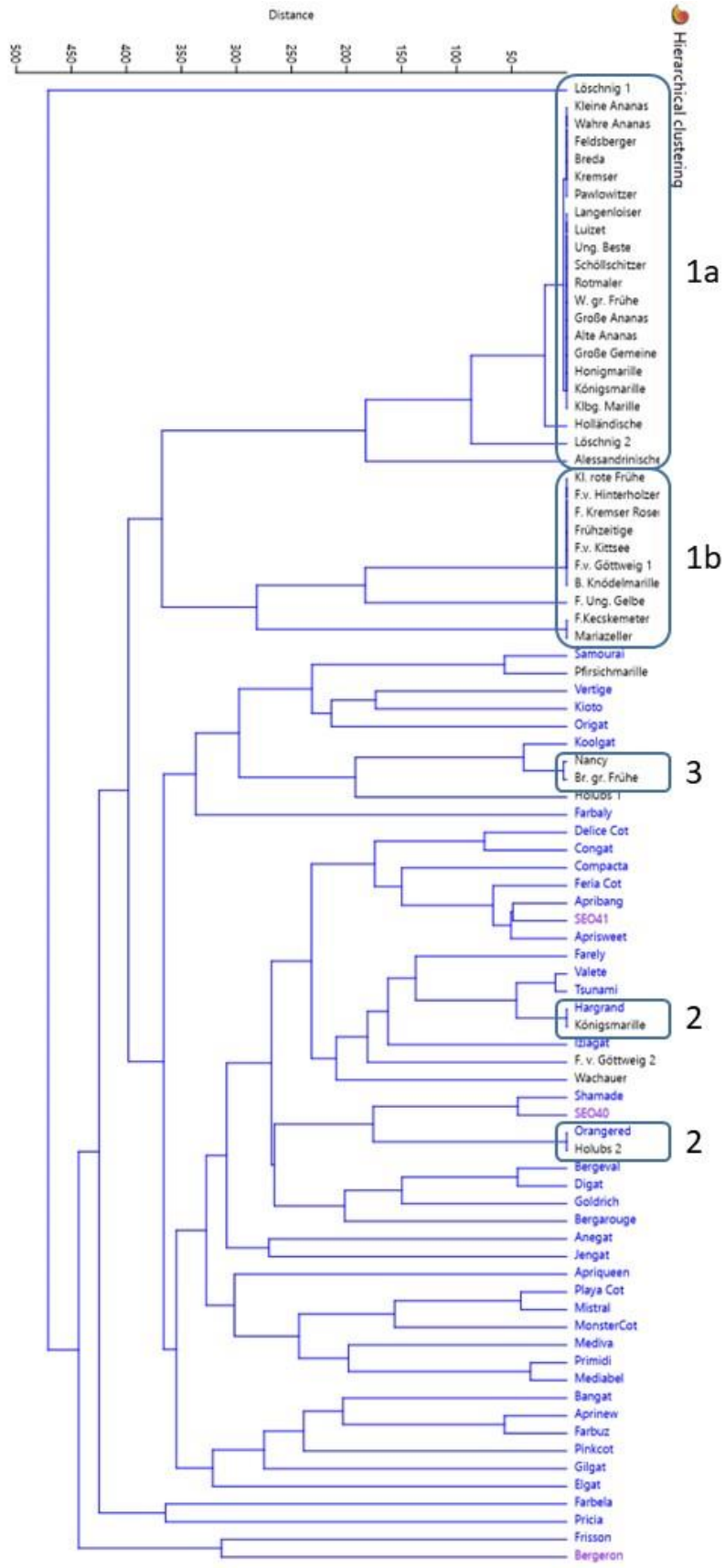


Abbildung 6: **Dendrogramm der untersuchten Marillensorten. In schwarz gekennzeichnet sind jene Sorten die schon von Löschnig & Passecker (1954) beschrieben wurden, violett sind Züchtung aus dem Beginn des 20. Jhd., blau Neuzüchtungen der letzten Jahrzehnte**

Tabelle 1: **Testung der Primer aus der Studie von Maghuly et al. (2006) an fünf Sorten aus Cluster 1a**

Sorte	PaC-ITA 10	PaCITA 19	PaC-ITA 23	PaCITA 27	UDAp 407	UDAp 410	UDAp 414	UDAp 415	UDAp 420
Feldsberger	176	115/151	147	262/264	191/194	123/146	164	154/164	180
Klosterneu-burger	176	115/151	147	262/264	191/194	123/146	164	154/164	180
Luizet	176	115/151	147	262/264	191/194	123/146	164	154/164	180
Ungarische Beste	176	115/151	147	262/264	191/194	123/146	164	154/164	180
Große Ananas	176	115/151	147	262/264	191/194	123/146	164	154/164	180

Im Cluster 1b finden sich fast alle Frühsorten. Auffallend ist, dass hier ebenfalls der Großteil ein fast identes genetisches Profil aufweist. Auch diese ließen sich nicht durch die Verwendung von größeren Markersets auftrennen (siehe Tab.2).

Tabelle 2: **Testung eines erweiterten Markersets zur besseren Sortentrennung**

Sorte	AMPA 103	PaCITA 10	PaCITA 23	PaCITA 19	PaCITA 27	UDAp 414	UDAp 410	UDAp 407	UDAp 415	UDAp 420
Kleine rote Frühmarille	206	176	147/151	115	249/264	164/172	123/150	171	160/162	180
Frühe Un-garische	206	176	147/151	115	249/264	164/172	123/150	171	160/162	180
Frühe Kremser Rosen	206	176	147/151	115	249/264	164/172	123/150	171	160/162	180
Frühe von Hinterholzer	206	176	147/151	115	249/264	164/172	123/150	171	160/162	180
Frühe von Kittsee	206	176	147/151	115	249/264	164/172	123/150	171	160/162	180

Insgesamt wurden für eine bessere Auflösung der Cluster 1a und 1b 28 zusätzliche Marker ausprobiert, die allerdings auch nicht den gewünschten Erfolg brachte (Daten sind teilweise in Tabelle 1 und 2 angeführt). Daher muss für diese beiden Gruppen die Verwendung anderer molekularbiologischer Methoden überlegt werden, um vielleicht die Ursprungssorten dieser Cluster herauszufinden. Dass es einen genetischen Bottleneck und somit eine genetische Verarmung bei diesen Sorten gibt, konnte in der Studie von Bourguiba et al. (2020) gezeigt werden. Allerdings war nach Studium des Buches von Passecker & Löschnig (1954), welches einen guten Überblick über die alten in Österreich gepflanzten Marillensorten gibt, nicht von einer so engen Verwandtschaft auszugehen.
Viele der in der Genbank gepflanzten Sorten sind nicht nur zwei bis viermal vertreten, wie sonst in Genbanken üblich, sondern oft in größerer Stückzahl vorhanden, da auch Verarbeitungsversuche mit den alten Marillensorten durchgeführt werden (laufende Projekte). Bei zwei Sortenreihen zeigte es sich, dass es sich eigentlich um jeweils zwei verschiedene Sorten handelt. Einmal hatte sich die Sorte Orangered unter die Holubs Marillen und beim zweiten Mal die Sorte Hargrand unter die Königsmarillen gemischt (im Dendrogramm mit 2 gekennzeichnet). Diese Unstimmigkeiten waren den Kollegen schon aufgefallen, allerdings wurden noch keine pomologische Bestimmung durchgeführt. Im Zuge dieses Projekts konnten die Bäume genetisch bestimmt und nach Lokalaugenschein mit pomologischer Bestätigung durch den Obstbaumeister jetzt korrekt im Pflanzplan verzeichnet werden.
Des Weiteren zeigte es sich auch, dass die Marille von Nancy und die Braunauer große Frühmarille ein nahezu identes Profil aufweisen (im Dendrogramm mit 3 gekennzeichnet). Diese beiden Sorten aus der Genbank müssen noch pomologisch untersucht werden.

Zusammenfassung

Das folgende Projekt wurde durchgeführt um einerseits die Marillenbäume der Genbank Haschhof genetisch zu charakterisieren und andererseits eine Datenbank mit genetischen Profilen von Marillen zur sortenechten Erhaltung aufzubauen. Zu diesem Zweck wurden zusätzlich zu den alten Sorten in der Genbank auch moderne Züchtungen aus anderen Quartieren analysiert.
Die Verwendung von genetischen Markern (Mikrosatelliten) ist eine sehr gut etablierte Methode zur Erstellung genetischer Fingerprints von Obstsorten. In dieser Arbeit wurden 12 verschiedene Mikrosatelliten verwendet, um eine gute Auflösung zu erhalten und die genetischen Profile mit internationalen Datenbanken abgleichen zu können.
Es zeigte sich, dass es bei manchen Gruppen sehr schwierig ist eine Differenzierung mittels Mikrosatelliten-Analyse zu erzielen. Auch die Testung mit insgesamt 28 weiteren Markern brachte keine bessere Auflösung. Um diese Sorten unterscheiden zu können, müssten zusätzlich pomologische Bestimmungen durchgeführt bzw. die Verwendung von anderen molekularen Methoden versucht werden.

Abstract

The following project was done in order to genetically characterize the apricot trees of the Haschhof gene bank on the one hand and to build up a database with genetic profiles of apricots for varietal preservation on the other hand. For this purpose, modern breeds from other orchards were analyzed in addition to the old varieties in the gene bank.
The use of genetic markers (microsatellites) is a very well established method for creating genetic fingerprints of fruit varieties. In this study, twelve different microsatellites were used to obtain good resolution and to be able to compare the genetic profiles with international databases.
It turned out that in some groups it is very difficult to differentiate by using microsatellite analysis. Testing with a total of twenty-eight other markers did not produce a better resolution either. In order to be able to distinguish these varieties, additional pomological determinations would have to be carried out or the use of other molecular methods would have to be tried.

Literatur

BOURGUIBA, H., SCOTTI, I., SAUVAGE, C., ZHEBENTYAYEVA, T., LEDBETTER, C., KRŠKA, B., AUDERGON, J.-M. (2020). Genetic Structure of a Worldwide Germplasm Collection of Prunus armeniaca L. Reveals Three Major Diffusion Routes for Varieties Coming From the Species` Center of Origin. *Frontiers in Plant Science, 11*(638). doi:10.3389/fpls.2020.00638

CHROBOKOVÁ, E., RADDOVÁ, J., VACHŮN, M., KRŠKA, B., & PIDRA, M. (2011). An analysis of apricot cultivars by random amplified polymorphic DNA and microsatellite primers. *Horticultural Science (Prague), 38*(4), S. 125-133.

GIANFRANCESCHI, L., SEGLIAS, N., TARCHINI, R., KOMJANC, M., & GESSLER, C. (1998). Simple sequence repeats for the genetic analysis of apple. *Theoretical and Applied Genetics*(96), S. 1069-1076.

GUILFORD, P., PRAKASH, S., ZHU , J. M., RIKKERINK, E., GARDINER, S., BASSETT, H., & FORSTER, R. (1997). Microsatellites in Malus X domestica (apple): abundance, polymorphism and cultivar identification. *Theoretical and Applied Genetics*(94), S. 249-254.

HAMMER, Ø., HARPER, D. A., & RYAN, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica, 4*(1), S. 9pp.

LÖSCHNIG, J., & PASSECKER, F. (1954). *Die Marille (Aprikose) und ihre Kultur.* Österreichischer Agrarverlag.

MAGHULY, F., BORROTO FERNANDEZ, E., LAIMER, M., RUTHNER, S., BISZTRAY, G. D., & PEDRYC, A. (2006). Microsatellite Characterisation of Apricot (Prunus armeniaca) Cultivars Grown in Central Europe. *Acta Horticulturae, 717*, S. 207-212.

MAGHULY, F., BORROTO FERNANDEZ, E., ZELGER, R., MARSCHALL, K., KATINGER, H., & LAIMER, M. (2006). Genetic Differentiation of Apricot (Prunus armeniaca L.) Cultivars with SSR Markers. *European Journal of Horticultural Science, 71*(3), S. 129-134.
REGNER , F., KICKENWEIZ, M., & HACK, R. (2003). Genotyping apricots (Prunus armeniaca) by SSR markers. *Mitteilungen Klosterneuburg*(53), S. 29-37.
SÁNCHEZ-PÉREZ, R., RUIZ, D., DICENTA, F., EGEA, J., & MARTÍNEZ-GÓMEZ, P. (2005). Application of simple sequence reapeat (SSR) markers in apricot breeding: molecular characterizatiion, protection, and genetic relationships. *Scientia Horticulturae, 103*, S. 305-315.
STATISTIK AUSTRIA. (2023). Abgerufen am 6. März 2023 von Datenbank Obstproduktion ab 1975:
https://statcube.at/statistik.at/ext/statcube/jsf/help/metadata.STAT.xhtml?tableDescription=Bundesl%C3%A4nder+und+Jahr+nach+Kulturart+%3CArten-Code%3E&dbid=deobst&databaseName=Obstproduktion+ab+1975&key=%23%23db.deobst%40%40Obstproduktion+ab+1975&language
WURM, L. (2020). Stärken und Schwächen neuer und traditioneller Marillensorten. *Besseres Obst*(8), S. 12-15.

Adresse der Autorin

HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Institut für Chemie und Biologie, Abteilung Biologie, Wiener Strasse 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartnerin: Dipl.-HTL-Ing. Karin Silhavy-Richter B.ed., karin.silhavy@weinobst.at

Nährwertprofilsysteme zur Beurteilung des Gesundheitsaspektes von Obst und Obstverarbeitungsprodukten

Nutrient profiling systems for assessing health aspect of fruit and fruit-processing products

Elsa Patzl-Fischerleitner*

Gesundheitsbezogene Angaben

Gesundheitsbezogene Angaben werden in der Verordnung (EG) Nr 1924/2006 über nährwert- und gesundheitsbezogene Angaben, der sogenannten EG-ClaimsVO, geregelt. Es gilt hier das Verbotsprinzip - nährwert- und gesundheitsbezogenen Angaben sind nur dann erlaubt, wenn sie ausdrücklich genehmigt wurden. Die EG-ClaimsVO regelt und definiert vor allem folgende Bereiche:
Nährwertbezogene Angaben („Nutrition Claims“) besagen, dass ein Lebensmittel bestimmte Nährwerteigenschaften hat (z. B.: fettarm).
Gesundheitsbezogene Angaben („Health Claims“) machen darauf aufmerksam, dass der Verzehr eines bestimmten Lebensmittels zu gesundheitlichen Vorteilen führen kann (z. B.: Vitamin A trägt zur Erhaltung normaler Sehkraft bei).
Nähwertprofile sind eigentlich das Herzstück der EG-ClaimsVO und eigentlich als Grundlage für die Angabe von Health Claims vorgesehen, um den Verbraucher vor ungerechtfertigter gesundheitsbezogener Werbung zu schützen. Die Einführung von Nährwertprofilen ist zwar vorgesehen, aber bis heute konnte EU-weit noch keine Einigung erzielt werden.

Nährstoffprofilsysteme

Nährstoffprofiling
Nährstoffprofiling ist die Wissenschaft der Klassifizierung von Lebensmitteln nach ihrer Nährstoffzusammensetzung, um die Gesundheit zu fördern und Krankheiten vorzubeugen. Nährwertprofilsysteme sollen den Konsumenten als erweiterte Nährwertkennzeichnung helfen, hochwertige Lebensmittel zu identifizieren. Im Gegensatz zur EU-weit verpflichtenden Nährwertkennzeichnung in Tabellenform bei vorverpackten Lebensmitteln ist die Anwendung von Nährwertprofilsystemen freiwillig. Dabei handelt es sich um spezielle Logos oder FOPLs (Front Of Pack Labels). Es gibt eine Vielzahl von Nährwertprofilsystemen (z. B.: Nutri Score, GDA-Kennzeichnung, Front-of-pack nutrition labelling der FSA, Keyhole System). Unterschiedliche Modelle können zu unterschiedlichen Klassifizierungen derselben Lebensmittel führen.

Nutri Score
Der "Nutri-Score" wurde 2017 von der französischen Gesundheitsbehörde entwickelt. Dieser besteht aus einer fünfstufigen Buchstaben-Farbskala, welche sich auf der Vorderseite von Lebensmittelpackungen befindet. Es werden keine Zahlen dargestellt. Die Berechnung des Nutri-Scores erfolgt auf der Basis von 100 Gramm des Lebensmittels.
Positiv bewertete Inhaltsstoffe (z. B. Eiweiß, Ballaststoffe, Obst, Gemüse, Nüsse) und negativ bewertete Inhaltsstoffe (z. B. Energie, gesättigte Fettsäuren, Zucker, Salz) werden unter Verwendung eines bestimmten Algorithmus miteinander verrechnet. Daraus resultiert eine Punktezahl, die dann in die Buchstaben-Farbskala übersetzt wird (MAX RUBNER INSTITUT 2019).
Nach JULIA und HERCBERG (2017) wird das Nutri-Score-Label mit einer höheren Nährwertqualität der Einkäufe verbunden und kann als Hilfmittel für eine gesündere Ernährung der Bevölkerung herangezogen werden.

Food Compass
Der Food Compass ist ein von der Tufts University in Boston entwickeltes System zur Erstellung von Nährstoffprofilen, das sowohl für verarbeitete als auch für unverarbeitete Lebensmittel (z. B.: Obst) angewendet werden kann. Lebensmittel werden in 9 gesundheitsrelevanten Bereichen (Nährstoffverhältnisse, Vitamine, Mineralstoffe, Lebensmittelzutaten, Zusatzstoffe, Verarbeitung, spezifische Lipide, Ballaststoffe und Proteine sowie sekundäre Pflanzenstoffe), denen wiederum insgesamt 54 Merkmale

zugeordnet sind, bewertet. Unter Verwendung eines einzigartigen Algorithmus zur Bestimmung einer Punktzahl kann dann fast jedem Lebensmittel ein Food Compass Score (FCS) zwischen 1 und 100 (wobei 100 die beste Bewertung darstellt) zugewiesen werden. Lebensmittel mit einem FCS ≥ 70 gelten als zu fördernde Produkte, zwischen einem FCS von 69 und 31 sollten der Konsum in Maßen stattfinden und unter einem FCS von 30 sollte der Konsum möglichst minimiert werden. Die Bewertung erfolgt auf der Basis von 100 kcal. Mit diesem System wird produktgruppenübergreifend bewertet und auch der Verarbeitungsgrad der Lebensmittel berücksichtigt. Der Vorteil gegenüber anderen Systemen liegt darin, dass Nahrungsbestandteile nicht nur isoliert betrachtet werden, sondern auch Nährstoffverhältnisse in die Bewertung einfließen.

Gesundheitsrelevante Inhaltsstoffe von Obst und Obstverarbeitungsprodukten

Im Prinzip sind nicht einzelne Substanzen, sondern die Vielfalt an ernährungsphysiologisch wertvollen Inhaltsstoffen in Obst verantwortlich für die positiven Wirkungen auf die Gesundheit. Daher sieht die aktuelle Empfehlung der ÖGE die tägliche Zufuhr von insgesamt ca. 400 g Gemüse und 250 g Obst vor (ÖGE 2022). Dies entspricht etwa 5 Portionen pro Tag. Dabei sollte die ganze Vielfalt des Angebots an Gemüse und Obst genutzt werden.

Ernährungsphysiologische Vorteile

Obst besteht zu einem großen Teil aus Wasser. Außerdem enthält es Ballaststoffe, Vitamine, Kohlenhydrate, Mineralstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe. Die epidemiologischen Hinweise für die positive Wirkung von Obst und Gemüse zur Reduktion des Risikos von ernährungsabhängigen Krankheiten sind nach OLTERSDORF (2001) vielfach belegt. Die enthaltenen Kohlenhydrate (Glucose ist der bevorzugte Energielieferant) dienen der Energiegewinnung. Nach BOEING et al. (2012) haben in Früchten enthaltene sekundäre Pflanzenstoffe und Antioxidantien nicht nur positive Effekte auf das Herz-Kreislauf-System, sondern sogar eine präventive Wirkung gegen Krebs. Es soll sich das Risiko für Herzerkrankungen, Herzinfarkte und Schlaganfälle deutlich verringern und auch Diabetes Typ 2 kann durch den Konsum von Obst und Gemüse reduziert werden. Zudem weist Obst, von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. Nüsse, Avocados), einen geringen Fettgehalt und eine geringe Energiedichte auf und ist frei von Cholesterin. Obst enthält besonders viel Kalium und ist quasi frei von Natrium. Kalium ist ein wichtiger Mineralstoff für Muskeltätigkeit, Blutdruckregelung und Nervensystem und spielt außerdem eine Rolle bei der Proteinsynthese und der Regulierung der Säure/Basen-Bilanz. Je nach Sorte liefert Obst große Mengen an Vitamin C und Provitamin A
Verschiedene Obst- und Gemüsesorten liefern auch nennenswerte Mengen an Folsäure, Vitamin B1, B2 und B6. Der hohe Gehalt an löslichen und unlöslichen Ballaststoffen wirkt sich positiv auf den Insulinstoffwechsel, den Cholesterinspiegel und die Darmperistaltik aus, und lösliche Ballststoffe wirken im Darm probiotisch. Obst weist bei hoher Nährstoffdichte nur eine relativ geringe Energiedichte auf.

Frischobst versus verarbeitetes Obst

Frisches Obst nimmt einen großen Stellenwert in der Ernährung ein, ist aber natürlicherweise nicht das ganze Jahr als regionales Produkt erhältlich. Lebensmittel werden schon seit sehr langer Zeit verarbeitet und konserviert. Im Laufe der Jahre haben sich Verarbeitungsmethoden weiterentwickelt. Nach FITZGERALD (2023) ist die Verarbeitung von Lebensmitteln nicht immer nur negativ zu sehen, sondern kann durchaus auch zu gesundheitsfördernden Produkten führen. Es gibt viele verschiedene Methoden zur Verarbeitung und Konservierung von Obst (z. B.: Tiefkühlung, Versaftung, Trocknung, Lyophilisierung, Einlegen (Essig, Öl, Alkohol), Fermentierung (Milchsäuregärung, Essigsäuregärung, alkoholische Gärung), Hitzesterilisierung), die sich sehr unterschiedlich auf den ursprünglichen Nährstoffgehalt von Obst auswirken können. Frisches Obst wird meistens geerntet, bevor es reif ist. Es muss auf dem Transportweg und während der Lagerung weiterreifen. Damit hat frisches Obst weniger Zeit, um seinen vollen Nährstoffgehalt zu entwickeln. Früchte, die weiterverarbeitet werden, können dagegen vollreif geerntet werden.

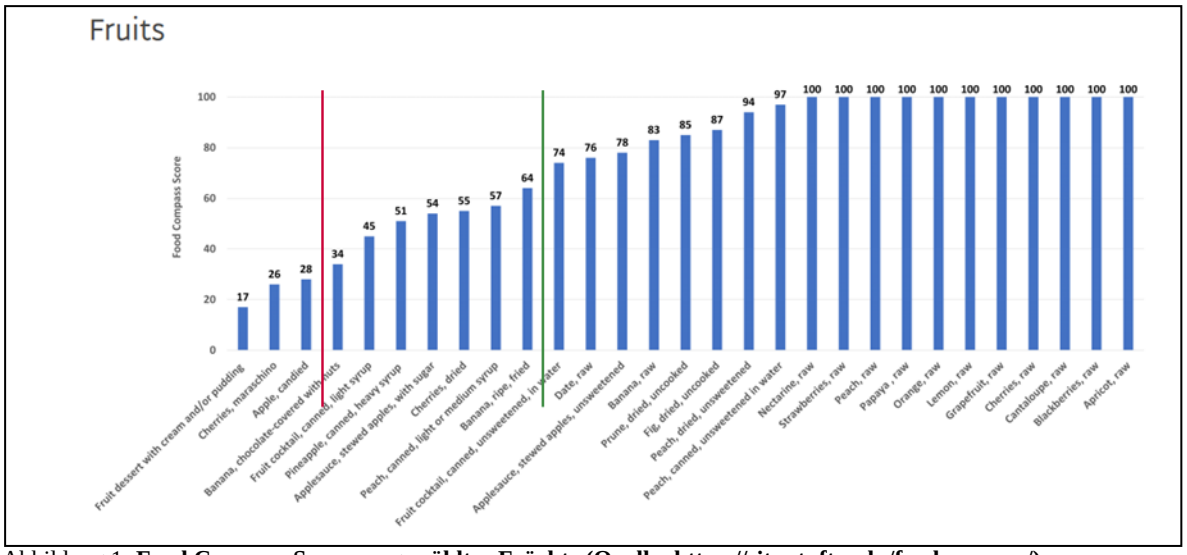


Abbildung 1: **Food Compass Score ausgewählter Früchte (Quelle: https://sites.tufts.edu/foodcompass/)**

Food Compass Score und Obst(produkte)

Abbildung 1 zeigt den ermittelten Food Compass Score (FCS) ausgewählter Früchte und Obstverarbeitungsprodukte. Die rote Markierung stellt die Grenze zu den Lebensmitteln dar, die nur sehr eingeschränkt konsumiert werden sollten (FCS < 30). Die grüne Linie markiert die Grenze zu den zu fördernden Produkten (FCS > 70). Obst und Gemüse gehören zu den energieärmsten Lebensmitteln bei gleichzeitig hohem Nährstoffgehalt. Darüber hinaus enthält Obst und Gemüse relevante Mengen an Vitaminen (B-Vitamine, Vitamin C, ß-Carotin), Mengen- und Spurenelementen, sekundären Pflanzenstoffen und Ballaststoffen. Dies führt vor allem bei unverarbeiteten Früchten zu hohen Bewertungen im Food Compass System. Da der Verarbeitungsgrad und auch Zusatzstoffe in den FCS eingerechnet werden, liegen manche Fruchtsäfte im FCS-Bereich zwischen 30 und 70, sollten demnach in Maßen genossen werden (siehe Abbildung 2). Allerdings muss auch hier berücksichtigt werden, dass die Bewertungen auf der Basis von 100 kcal erstellt wurden und nicht nach Gewicht. Die meisten Früchte und die daraus verarbeiteten Säfte enthalten hohe Mengen an Wasser. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da gewichtsbasierte Systeme hinsichtlich Nährstoffangaben durch den Wassergehalt sowie den Ballaststoff- und Fettgehalt stark beeinflusst werden können. Nach Obermüller (2021) liegen Obst und Fruchtsäfte insgesamt mit einem Durchschnittswert von 73,9 bzw. 67 im oberen Drittel der Skala.

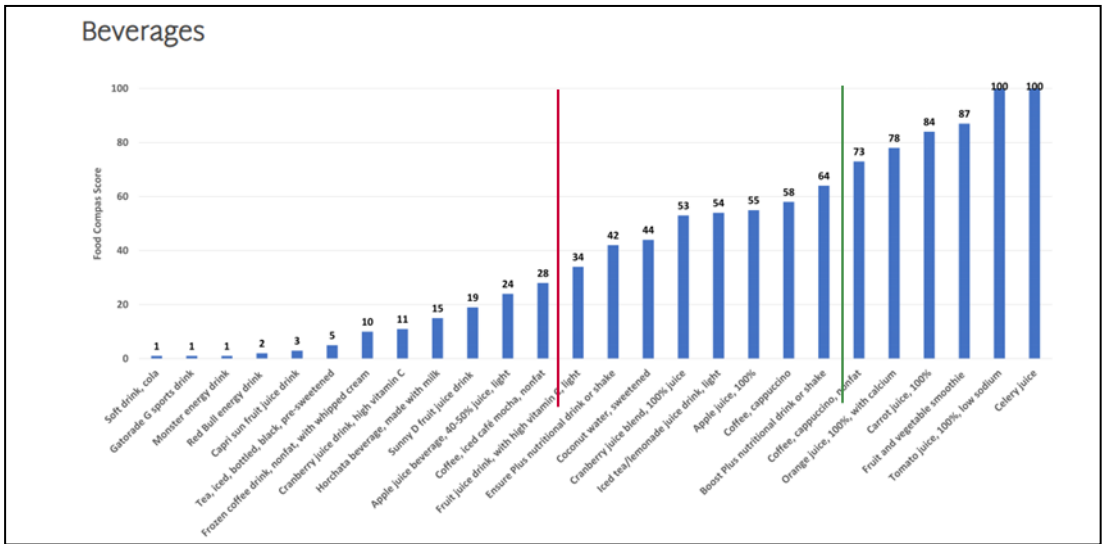


Abbildung 2: **Food Compass Score ausgewählter Getränke (Quelle: https://sites.tufts.edu/foodcompass/)**

Zusammenfassung

Gesundheitsbezogene Angaben werden in der Verordnung (EG) Nr 1924/2006, der sogenannten EG-ClaimsVO, geregelt. Nährwertprofile sind als Grundlage für die Angabe von Health Claims vorgesehen, um den Verbraucher vor ungerechtfertigter gesundheitsbezogener Werbung zu schützen. Dabei handelt es sich um spezielle Logos auf der Vorderseite von Lebensmittelpackungen. Es gibt eine Vielzahl von Nährwertprofilsystemen (z. B.: Nutri Score, GDA-Kennzeichnung, Food Compass,…). Der Food Compass ist ein von der Tufts University in Boston entwickeltes Nährstoffprofilsystem, das sowohl für verarbeitete als auch für unverarbeitete Lebensmittel (z. B.: Obst) angewendet werden kann. Unter Verwendung eines einzigartigen Algorithmus zur Bestimmung einer Punktzahl kann dann fast jedem Lebensmittel ein Food Compass Score (FCS) zwischen 1 und 100 (wobei 100 die beste Bewertung darstellt) zugewiesen werden. Die Bewertung erfolgt auf der Basis von 100 kcal. Mit diesem System wird produktgruppenübergreifend bewertet und auch der Verarbeitungsgrad der Lebensmittel berücksichtigt. Obst und Gemüse gehören zu den energieärmsten Lebensmitteln bei gleichzeitig hohem Nährstoffgehalt. Darüber hinaus enthält Obst und Gemüse relevante Mengen an Vitaminen (B-Vitamine, Vitamin C, ß-Carotin), Mengen- und Spurenelementen, sekundären Pflanzenstoffen und Ballaststoffen. Dies führt vor allem bei unverarbeiteten Früchten zu hohen Bewertungen im Food Compass System. Da der Verarbeitungsgrad und auch Zusatzstoffe in den FCS eingerechnet werden, liegen manche Fruchtsäfte nur im mittleren Bereich. Da die Bewertung auf Basis von 100 kcal erstellt wurden und nicht nach Gewicht, wird der relativ hohe Wassergehalt von Obst berücksichtigt.

Abstract

Health-related claims are regulated in Regulation (EC) No. 1924/2006. Nutritional profiles are intended as the basis for making health claims to protect the consumer from unjustified health-related advertising. These are special logos on the front of food packages. There are a variety of nutrient profiling systems (e.g.: Nutri Score, GDA labelling, Food Compass,...). The Food Compass is a nutrient profiling system developed by Tufts University in Boston that can be used for both processed and unprocessed foods (eg: fruit). Using a unique algorithm to determine a score, almost any food can then be assigned a Food Compass Score (FCS) between 1 and 100 (with 100 being the best rating). The rating is based on 100 kcal. With this system, product groups are evaluated and the degree of processing of the food is also taken into account. Fruit and vegetables are among the lowest-calorie foods with a high nutrient content. In addition, fruit and vegetables contain relevant amounts of vitamins (B vitamins, vitamin C, ß-carotene), minerals, secondary plant substances and fiber. This leads to high ratings in the Food Compass System, especially for unprocessed fruits. Since the degree of processing and additives are included in the FCS, some fruit juices are only in the middle range. Because the ratings are based on 100 calories rather than weight, the relatively high water content of fruit is taken into account.

Literatur

BOEING H, BECHTHOLD A, BUB A, ELLINGER S, HALLER D, KROKE A, LESCHIK-BONNET E, MÜLLER MJ, OBERRITTER H, SCHULZE M, STEHLE P, WATZL B., 2012: Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases. Eur J Nutr. 2012, 51(6):637-63. doi: 10.1007/s00394-012-0380-y.

ELMADFA I., MEYER A.L., 2019: Front-of-pack-labeling as a contribution to improving the dietary habits. A current situation analysis. Ernahrungs Umschau 66 (8): 154–159, DOI: 10.4455/eu.2019.03

FITZGERALD M., 2023: It is time to appreciate the value of processed foods. Trends in Food Science & Technology 134: 222-223, doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.001

JULIA C., HERCBERG S., 2017: Nutri Score: evidence of the effectiveness of the French front-of-pack nutrition label. Ernahrungs Umschau 64 (12): 181–187, DOI: 10.4455/eu.2017.048

MOZAFFARIAN D., EL-ABBADI N.H., O'HEARN M. et al.,2021: Food Compass is a nutrient profiling system using expanded characteristics for assessing healthfulness of foods. Nat Food 2, 809–818; https://doi.org/10.1038/s43016-021-00381-y

MAX RUBNER INSTITUT, 2019: Beschreibung und Bewertung ausgewählter „Front-of-Pack"-Nährwertkennzeichnungs-Modelle. Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, Karlsruhe, Deutschland, DOI: 10.25826/20190730-083916

OBERMÜLLER E., 2021: Lebensmittel: Gesund auf einer Skala von 1 bis 100. Internet: https://science.orf.at/stories/3209263 (Zugriff: 20.10.2022)
OLTERSDORF U., 2001: Die Auswirkungen der Nahrungsmittel und ihrer Nachfrage auf die Gesundheit. ERNO 2 (3), ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, D-86899 Landsberg, 169-186
ÖSTERREICHISCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG (ÖGE), 2022: 10 Ernährungsregeln der ÖGE. Internet: https://www.oege.at/wissenschaft/10-ernaehrungsregeln-der-oege/ (Zugriff: 27.01.2023)

Adresse der Autorin

HBLA und BA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartnerin: Mag. Elsa PATZL-FISCHERLEITNER, elsa-patzl-fischerleitner@weinobst.at

Analyse des Einflusses der Keimung auf Qualitätsparameter und die Haltbarkeit von Leinöl und Sonnenblumenöl

Analysis of the Effect of Germination on Quality Parameters and Shelf Life of Linseed Oil and Sunflower Oil

Tobias Pointner[1, 2], Katharina Rauh[1], Arturo Auñon-Lopez[1, 2], Sanja Kostadinovik[3], Mila Mitreva[4], Sasa Mitrev[3], Marc Pignitter[1]

Einleitung

Die Keimung von Samen hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, da sie das Potenzial hat, die Nährstoffzusammensetzung von Lebensmitteln zu verbessern und deren gesundheitliche Vorteile zu steigern[1]. Darüber hinaus kann die Untersuchung der Haltbarkeit von gekeimtem Leinöl und Sonnenblumenöl dazu beitragen, Lebensmittelverschwendung entgegenzuwirken[2]. Durch die Untersuchung der Auswirkungen der Keimung auf die Qualitätseigenschaften, die Haltbarkeit und die Polyphenolprofile von Leinöl und Sonnenblumenöl können wir Erkenntnisse gewinnen, die zur Entwicklung von funktionalen Lebensmitteln mit verbesserten gesundheitlichen Vorteilen beitragen und Potenziale für die Lebensmittelindustrie aufzeigen.

Material und Methoden

Das Ziel der Studie war es, die oxidative Stabilität und die antioxidative Kapazität von Ölen aus gekeimten Leinsamen und Sonnenblumenkernen im Vergleich zu konventionellen, nicht gekeimten Samenölen zu untersuchen. Die Keimung erfolgte über einen Zeitraum von 7 Tagen bei 25°C, wobei täglich eine kleine Menge destilliertes Wasser zugegeben wurde. Die Trocknung der gekeimten Leinsamen (*Linum usitatissimum L.)* und Sonnenblumen (*Helianthus annuus*) erfolgte über 6 Tage bei 50°C, um eine Restfeuchtigkeit von unter 4% zu erreichen.

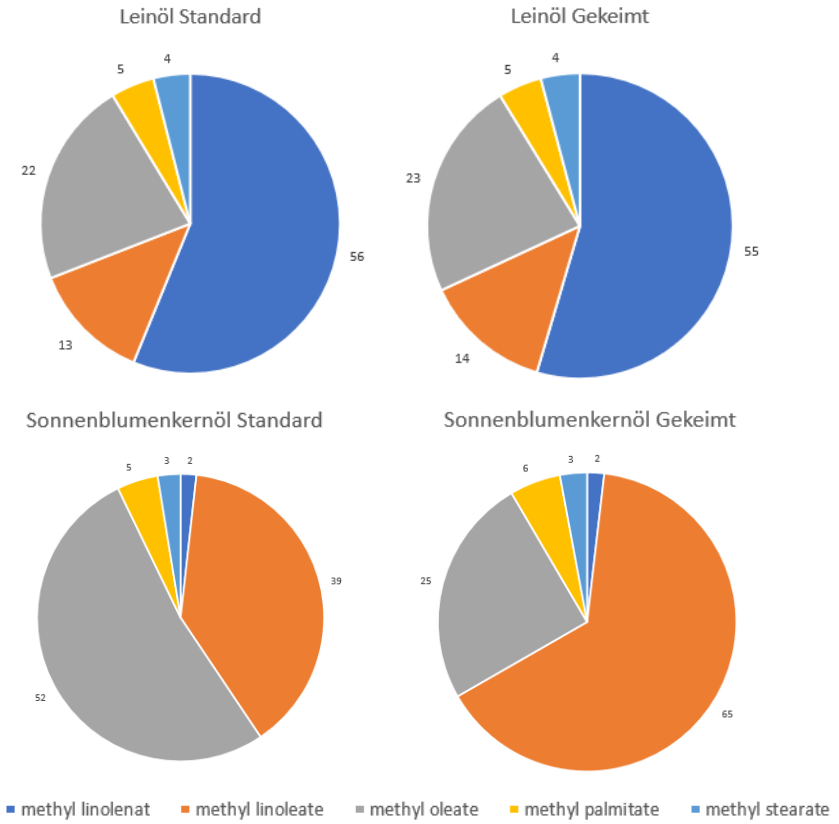
Verschiedene analytische Methoden wurden angewendet, darunter die Folin-Ciocalteau-Methode, um den Gesamtpolyphenolgehalt in den Proben bestimmen zu können, DPPH-, FRAP- und ABTS-Assays zur Bestimmung der antioxidativen Kapazität. Die Fettsäurezusammensetzung wurde mittels GC-FID (Gaschromatographie-Flammenionisationsdetektion) analysiert. Zur Bestimmung der oxidativen Stabilität wurden der Rancimat-Test und die Analyse von Monoacylglycerolen und Diacylglycerolen (DAGs) verwendet, um primäre und sekundäre Oxidationsprodukte zu berücksichtigen. Spezifische Polyphenole und potenziell enthaltene toxische Substanzen wurden mittels ungerichteter und gerichteter LC-MS-Ansätze detektiert und qualitativ ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Gesamtpolyphenolgehalt und Antioxidative Kapazität:
Die gekeimten Öle wiesen bei der Folin-Ciocalteau-Messung eine 8,5 ± 0,7-fach bzw. 5,9 ± 0,6-fach höhere Gesamtpolyphenolkonzentration auf. Sowohl gekeimtes Leinöl als auch gekeimtes Sonnenblumenöl zeigten eine signifikant höhere antioxidative Kapazität im Vergleich zu den konventionellen Ölen.

Carotinoid- und Chlorophyllgehalt:
Im gekeimten Sonnenblumenöl wurde ein signifikanter Anstieg des Carotinoid- (72,78 ± 1,184-fach) und Chlorophyllgehalts (1652 ± 13,93-fach) festgestellt, welcher auch ernährungsphysiologische und gesundheitliche Auswirkungen haben kann.

Fettsäurezusammensetzung:
In gekeimtem Leinöl wurde ein erhöhter Gehalt an Diacylglycerolen (DAGs) festgestellt. Es wurde eine leichte Abnahme von Alpha-Linolensäure und eine Zunahme von Linolsäure im gekeimten Leinöl mittels GC-FID-Analyse beobachtet, wie in Abb. 2 ersichtlich ist. Im Gegensatz dazu zeigte gekeimtes Sonnenblumenöl eine Abnahme von Ölsäure und eine Zunahme von Linolsäure.



Inhaltsstoffe	
Ölsäure	10–22 %[1]
Linolsäure	12–18 %[1]
Linolensäure	56–71 %[1]
Weitere Fettsäuren	4–6 % Palmitinsäure, 2–3 % Stearinsäure[1]

Inhaltsstoffe	
Ölsäure	14–39 %[1] (HO-Sorten: 70–92 %)[2]
Linolsäure	48–74 % (HO:2–17 %)[1]
Linolensäure	0–0,3 %[1]
Weitere Fettsäuren	5–8 % (HO: 3–5 %) Palmitins., 3–6 % Stearins.[1]

Abbildung 1: **Auswertungen der GC-FID-Messungen zur Bestimmung der Fettsäuregehaltprofile von Leinöl Standard und Gekeimt sowie Sonnenblumenkernöl Standard und Gekeimt. Das Sonnenblumenkernöl Gekeimt weist einen deutlich erhöhten Linolsäuregehalt auf. Rechts sind Referenzen von konventionell erhältlichen Ölen gezeigt, welche ähnliche Werte wie unsere aufweisen.**

Haltbarkeitsbestimmung:
Die Rancimat-Analyse wurde verwendet, um die oxidative Stabilität der gekeimten Öle im Vergleich zu den Standardölen zu bewerten. Die Oxidationsinduktionszeit bei der Rancimat-Messung war um das 3,86 ± 0,29-fache erhöht, insbesondere bei gekeimtem Leinöl. Dies deutet auf eine deutlich verbesserte oxidative Stabilität und Lagerfähigkeit hin. Durch die Anwendung der Arrhenius-Gleichung wurde die Haltbarkeit der Öle bei einer Temperatur von 25 °C berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass das herkömmliche Leinöl eine durchschnittliche Haltbarkeit von 2,66 Monaten bei 25 °C aufweist. Im Gegensatz dazu zeigte das Leinöl aus gekeimten Samen eine deutlich verbesserte oxidative Stabilität mit einer Haltbarkeit von 10,93 Monaten bei der gleichen Temperatur. Auch beim Sonnenblumenkernöl ergab die Analyse, dass das herkömmliche Öl eine Haltbarkeit von 8,48 Monaten bei 25 °C aufweist, während das gekeimte Sonnenblumenkernöl eine noch längere Haltbarkeit von 9,93 Monaten erreichte.

LC-MS:
Bei der qualitativ ausgewerteten gezielten LC-MS-Analyse der Polyphenole wurden interessante Ergebnisse erzielt, welche in Tab. 1 abgebildet sind. Es stellte sich heraus, dass bestimmte Substanzen nur in den gekeimten Ölen nachgewiesen wurden und nicht in den Referenzen der herkömmlichen Öle. Die identifizierten Polyphenole umfassen Eriodictyol-7-O-Glucosid (Flavonoid), Luteolin (Flavonoid), 1,3-Caffeoylquininsäure, Coniferylaldehyd, Isoferulsäure, Protocatechusäure, Sinapinsäure, Vanillinsäure, Gallocatechol, Astraglin und Umbelliferon. Nur im gekeimten Leinöl wurden zusätzlich Eriodicytol, Kaempferol-3-O-hexoxyl-hexoside, Isorhamnetin-3-O-rut, Quercetin-O-hexose-O und Procyanidin identifiziert. Diese Substanzen gehören zu den Flavonoiden, Flavan-3-olen und Phenolsäuren. Im gekeimten Sonnenblumenkernöl wurde Vanillin als einziges spezifisches Polyphenol nachgewiesen. Abb. 3 zeigt den Peak-Vergleich von Apigenin (Flavonoid) von herkömmlichem Leinöl und Sonnenblumen und den gekeimten Ölproben. Dabei ist klar ersichtlich, dass viele Polyphenole in den Ölen durch die Keimung erhöht vorfindbar sind.

Tabelle 1: **Untenstehend sind alle detektierten Polyphenole aufgelistet, die mit unserer gezielten LC-MS-Methode erfasst wurden. Dabei können deutliche Unterschiede zwischen Leinöl und Sonnenblumenkernöl entdeckt werden. Diese Auflistung zeigt jedoch auch welche Substanzen nur in den gekeimten Proben gefunden wurden, welche während des Keimungsprozesses der Saat entstanden und ins Öl durch den Pressprozess gelangten.**

Leinöl Standard	Leinöl Gekeimt	Sonnenblumenöl Standard	Sonnenblumenöl Gekeimt
Flavonoide		**Flavonoide**	
(+)-Catechin	(+)-Catechin	(+)-Catechin	(+)-Catechin
Amentoflavone	Amentoflavone	Amentoflavone	Amentoflavone
Apigenin	Apigenin		Apigenin
	Eriodictyol-7-O-glucoside		Eriodictyol-7-O-glucoside
	Eriodicytol		
Hesperetin	Hesperetin		
Kaempferol-3-7-glu	Kaempferol-3-7-glu		Kaempferol-3-7-sinapoyl-digluc
Kaempferol-3-O-glucuronic acid	Kaempferol-3-glucoside		
	Kaempferol-3-O-glucuronic acid	Kaempferol-3-glucoside	Kaempferol-3-glucoside
	Kaempferol-3-O-hexoxyl-hexoside		Kaempferol-3-O-glucuronic acid
	Isorhamnetin-3-O-rut		
	Luteolin		Luteolin
Luteolin-7-O-glucoside	Luteolin-7-O-glucoside	Luteolin-7-O-glucoside	Luteolin-7-O-glucoside
Naringenin	Naringenin	Naringenin	Naringenin
Naringenin-7-O-glucoside	Naringenin-7-O-glucoside	Naringenin-7-O-glucoside	Naringenin-7-O-glucoside
	Quercetin-O-hexose		
Phenolsäuren		**Phenolsäuren**	
	1,3-caffeoylquinic acid		1,3-caffeoylquinic acid
			4-O-Caffeoylquinic acid
		Caffeic acid	Caffeic acid
Caffeic acid hexoside	Caffeic acid hexoside	Caffeic acid hexoside	Caffeic acid hexoside
Caffeoylmalic acid	Caffeoylmalic acid	Caffeoylmalic acid	Caffeoylmalic acid
Chlorogenic acid	Chlorogenic acid		Chlorogenic acid
	Coniferyl aldehyde		Coniferyl aldehyde
cis Cinnamic acid	cis Cinnamic acid	cis Cinnamic acid	cis Cinnamic acid
Coumaric acid hexoside isomer	Coumaric acid hexoside isomer	Coumaric acid hexoside isomer	Coumaric acid hexoside isomer
p-coumaric acid	p-coumaric acid	p-coumaric acid	p-coumaric acid
p-coumaroylquinic acid	p-coumaroylquinic acid	p-coumaroylquinic acid	p-coumaroylquinic acid
Ferulic acid	Ferulic acid	Ferulic acid	Ferulic acid
Gallic acid	Gallic acid	Gallic acid	Gallic acid
Gallic acid hexoside	Gallic acid hexoside	Gallic acid hexoside	Gallic acid hexoside
Hydroxyferulic acid	Hydroxyferulic acid	Hydroxyferulic acid	Hydroxyferulic acid
	Isoferulic acid		Isoferulic acid
Protocatechuic acid	Protocatechuic acid		Protocatechuic acid
	Sinapic acid		Sinapic acid
	Vanillic acid		Vanillic acid
Stilbenoids		**Stilbenoids**	
Astringin	Astringin	Astringin	Astringin
	Lariciresinol	Lariciresinol	Lariciresinol
Linustatin	Linustatin		
Pinoresinol	Pinoresinol	Pinoresinol	Pinoresinol
Neolinustatin	Neolinustatin	Neolinustatin	Neolinustatin
Tannins		**Tannins**	
	Gallocatechol		Gallocatechol
	Procyanidin		
Other polyphenols		**Other polyphenols**	
	Astraglin		Astraglin
		Digalloyl-glucose isomer	Digalloyl-glucose isomer
Hydroxybenzoyl Glucose	Hydroxybenzoyl Glucose	Hydroxybenzoyl Glucose	Hydroxybenzoyl Glucose
		Rosmanol	Rosmanol
	Umbelliferone		Umbelliferone
			Vanillin

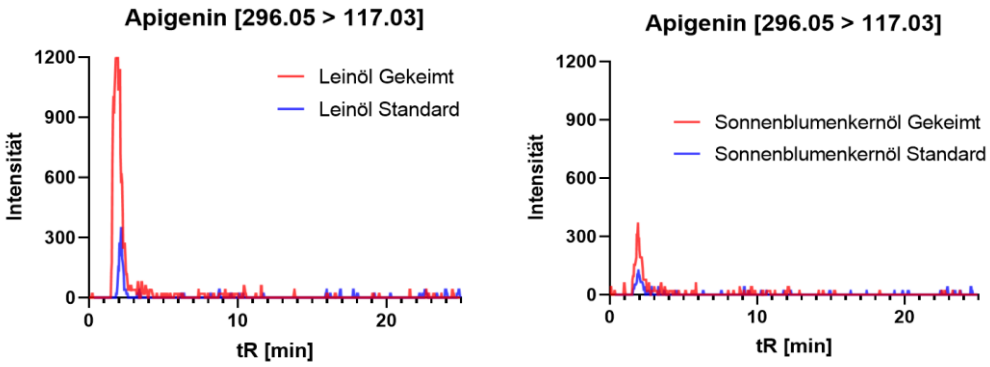


Abbildung 3: **Apigenin Peak-Flächen-Vergleich zwischen den Leinölproben und den Sonnenblumenkernölproben. Durch die Keimung steigt der Gehalt an.**

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Keimung der Samen zu einer signifikanten Veränderung des Polyphenolprofils in den Ölen führt. Diese spezifischen Polyphenole, die in den gekeimten Ölen gefunden wurden, könnten potenziell gesundheitsfördernde Eigenschaften haben und neue Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittel- und Nutrazeutika-Industrie bieten.

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte die Auswirkungen der Keimung auf die Zusammensetzung und Qualität von Leinöl und Sonnenblumenkernöl. Die Ergebnisse zeigten, dass gekeimte Öle im Vergleich zu konventionellen Ölen eine erhöhte Gesamtpolyphenolkonzentration und eine verbesserte antioxidative Kapazität aufwiesen. Die Fettsäureprofile der gekeimten Öle zeigten Veränderungen, wie eine Zunahme von DAGs und eine Verschiebung in der Fettsäurezusammensetzung. Die Rancimat-Analyse ergab eine deutlich verbesserte oxidative Stabilität und längere Haltbarkeit der gekeimten Öle. Des Weiteren wurden spezifische Polyphenole mittels LC-MS-Analyse identifiziert, die nur in den gekeimten Ölen nachgewiesen wurden. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Keimung der Samen zu einer signifikanten Veränderung der Inhaltsstoffe und gesundheitsfördernden Eigenschaften der Öle führt. Die Verwendung von gekeimten Ölen könnte daher ein vielversprechender Ansatz sein, um die Nährstoffzusammensetzung und die Haltbarkeit von pflanzlichen Ölen zu verbessern und neue Anwendungsmöglichkeiten in der Lebensmittel- und Nutrazeutika-Industrie zu erschließen.

Abstract

This study aimed to investigate the impact of germination on the composition and quality of flaxseed oil and sunflower seed oil. The results revealed that germinated oils exhibited significantly higher total polyphenol concentration and improved antioxidant capacity compared to conventional oils. The fatty acid profiles of germinated oils showed alterations, such as an increase in diacylglycerols and changes in the distribution of fatty acids. The Rancimat analysis demonstrated a substantially enhanced oxidative stability and extended shelf life for the germinated oils. Additionally, targeted LC-MS analysis identified specific polyphenols that were only detected in the germinated oils, not in the references of conventional oils. These findings suggest that seed germination leads to significant changes in the composition and health-promoting properties of the oils. Utilizing germinated oils could be a promising approach to enhance the nutritional profile and shelf life of plant-based oils, opening up new opportunities in the food and nutraceutical industries.

Literatur

HERCHI et al. (2015): Effects of germination on chemical composition and antioxidant activity of flaxseed (Linum usitatissimum L) oil, *Grasas y Aceites*, 10.3989/gya.0463141
ZHANG et al. (2023): Effect of germination pretreatment on the physicochemical properties and lipid concomitants of flaxseed oil, RSC Advances, 10.1039/D2RA07458C

Adressen der Autoren

[1] Institute of Physiological Chemistry, Faculty of Chemistry, University of Vienna, 1090 Vienna, Austria
[2] Vienna Doctoral School in Chemistry (DoSChem), University of Vienna, Währinger Str. 42, 1090 Vienna, Austria
[3] Goce Delchev University, Stip, N. Macedonia
[4] Agrofila, Stip, N. Macedonia

Potenziell bitter-maskierende Stoffe in mit Leinpresskuchen-Polyphenolen angereichertem Leinöl

Potentially Bitter-Masking Compounds in Linseed Oil Enriched with Linseed Press Cake

Matthias Strauss[1,2], Luisa Backes[1], Marc Pignitter[1*]

Einleitung

Mehrfach ungesättigten Fettsäuren sind essenzielle Nährstoffe für den menschlichen Körper. Die Aufnahme dieser essenziellen Fettsäuren ist allem über pflanzliche Öle, wie Leinöl empfohlen. Leinöl enthält hohe Mengen an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, vor allem alpha-Linolensäure. Jedoch hat Leinöl einen bitteren Geschmack, was es weniger beliebt für den Konsum macht. Zusätzlich entwickelt Leinöl bereits nach einem Tag Lagerung einen bitteren Nachgeschmack, was das Problem weiter verstärkt. Der Grund hierfür ist unter anderem die Lipidoxidation, durch welche bitter schmeckende Verbindungen entstehen können. Lipidoxidation ist vor allem bei mehrfach ungesättigten Fettsäuren problematisch, da diese im Gegensatz zu gesättigten Fettsäuren deutlich oxidationsanfälliger sind. Fortgeschrittene Lipidoxidation in Speiseölen führt zu Ranzigkeit.
In dieser Studie wird ein mit einem neuartigen Produktionsweg hergestelltes Leinöl auf Haltbarkeit und Geschmack untersucht. Ziel ist es potenziell geschmacksverbessernde Verbindungen zu identifizieren.

Material und Methoden

Öl der Leinsorte *Linum usitatissimum* und der zugehörige Presskuchen wurden von Hagenthaler Ölmanufaktur, St. Andrä-Wördern, Austria bereitgestellt.
Der Presskuchen wurde, wie von FRÜHWIRTH et al. (2020) beschrieben, dreifach mit dem Leinöl extrahiert, um es mit Presskuchenpolyphenolen anzureichern.
Das frisch produzierte Leinöl und handelsübliches Leinöl wurde in 500 mL PET-Flaschen bei Raumtemperatur 56 Tage lang gelagert. Hierbei wurde es 12 h pro Tag mit Kaltkathoden-Fluoreszenzlampen bestrahlt. An Tag 1, 3, 7, 14, 27 und 56 der Lagerstudie wurden Proben der Öle zur Bestimmung von Peroxidzahl, Tocopherolen, Gesamtpolyphenolgehalt und der oxidativen Stabilität genommen.
Der Gesamt-Polyphenolgehalt wurde photometrisch mittels des Folin-Ciocalteau-Assays nach GÜLÇIN (2012) bestimmt.
Die oxidative Stabilität wurde mittels eines 892 Professional Rancimat von Metrohm getestet. Des Weiteren wurde die Peroxidzahl iodometrisch nach WHEELER wie beschrieben von FIEBIG und GODELMANN (1997) gemessen.
Für die sensorische Untersuchung wurden je 500 mL herkömmliches, bzw. angereichertes Leinöl in Glasflaschen 12 Wochen lang gelagert. Dieses wurde in Woche 0, 4, 8 und 12 von einem geschulten Sensorikpanel des Christian Doppler Labors für Geschmacksforschung auf einer 1-10 Skala hinsichtlich bitteren, süßen, pilzigen, stechenden, grasigen, nussigen und fischigen Geschmacks sowie Röstaroma nach BUSCH-STOCKFISCH (2015) charakterisiert.
Zu denselben Zeitpunkten wurden Proben für di5e Untersuchung der flüchtigen sekundären Lipidoxidationsproduktemittels GC-MS gezogen und wie von ALBERDI-CEDEÑO, IBARGOITIA & GUILLÉN (2020) beschrieben analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Gesamtpolyphenolgehalt:
Wie in Abbildung 1 ersichtlich ist der Polyphenolgehalt in angereichertem Leinöl zu Beginn der Lagerstudie signifikant erhöht, fällt jedoch am Ende der Lagerstudie auf das Level des herkömmlichen Öls ab.

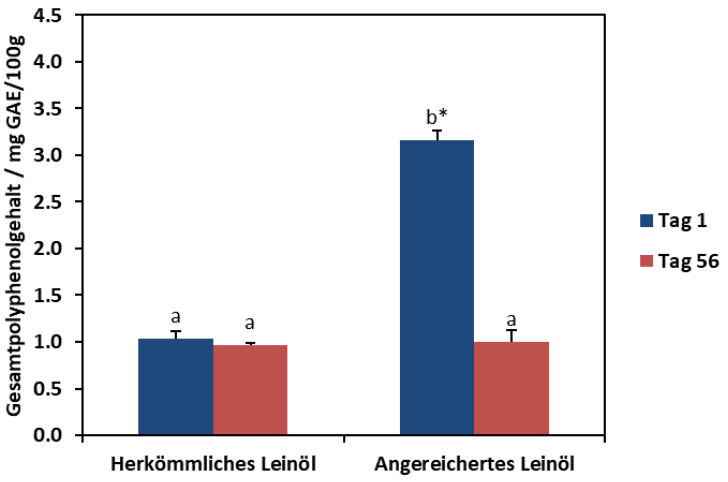


Abbildung 1: **Polyphenolgehalte in herkömmlichem und angereichertem Leinöl als Durchschnittswert + Standardabweichung (n=4, ANOVA), Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (p > 0.05), das Sternchen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen herkömmlichem und angereichtem Öl an**

Haltbarkeit:

Die Haltbarkeit des angereicherten Leinöls ist signifikant erhöht im Vergleich zu herkömmlichem Leinöl. Dies ist sowohl in der Peroxidzahl (POZ) in Abbildung 2, als auch durch die oxidative Stabilität (Abbildung 3) zu sehen. Der Grenzwert für die POZ, welcher nach dem Codex Alimentarius Austriacus für kaltgepresste Öle bei 10 liegt, wird unter den verwendeten Lagerbedingungen bei Tag 14 für das herkömmliche Leinöl und Tag 18 für das angereicherte Leinöl erreicht, was einer Erhöhung von knapp 30% entspricht.

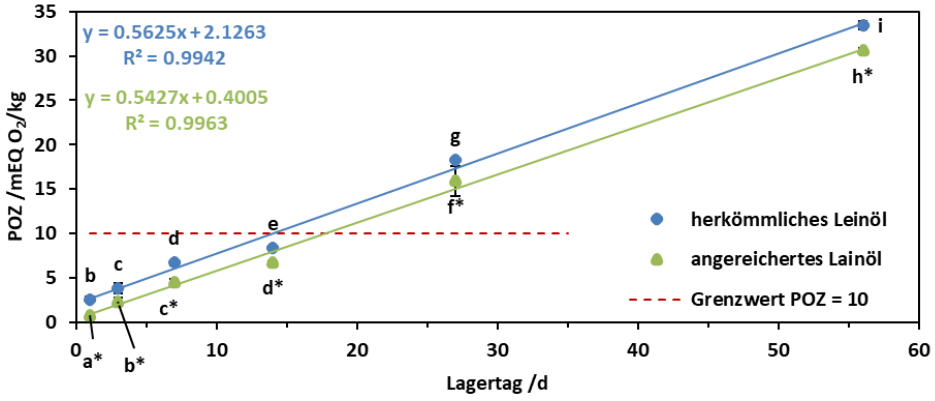


Abbildung 2: **Peroxidzahl in herkömmlichem und angereichertem Leinöl als Durchschnittswert + Standardabweichung (n=4, ANOVA), Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede an (p > 0.05), das Sternchen zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen herkömmlichem und angereichtem Öl an**

Die oxidative Induktionszeit (OIT) wurde im Rancimat bei 100, 110, 120, 130 und 140 °C bestimmt (Tabelle 1). Aus diesen Werten wurde die Haltbarkeit bei Raumtemperatur nach (FARHOOSH 2007) extrapoliert. Wie in Tabelle 2 zu sehen ist diese im angereicherten Leinöl gute 20% höher.

Tabelle 1: **Ergebnisse der Bestimmung der OIT mittels des Rancimats, Daten gezeigt als Mittelwert** ± Standardabweichung

T /° C	OIT /h angereichertes Leinöl	OIT /h herkömmlichen Leinöl
100	4.58 ± 0.18	4.35 ± 0.14
110	2.14 ± 0.11	2.18 ± 0.07
120	1.27 ± 0.14	1.08 ± 0.01
130	0.62 ± 0.01	0.56 ± 0.06
140	0.31 ± 0.03	0.33 ± 0.00

Tabelle 2: **Vergleich der Haltbarkeiten von angereichertem und herkömmlichen Leinöl aus der Lagerstudie (Zeitpunkt als POZ = 10) erreicht wurde und bei Berechnung nach FARHOOSH aus der OIT**

	herkömmlich	angereichert	Unterschied
Haltbarkeit berechnet aus OIT /d	23	28	21%
Lagerstudie POZ über 10 /d	14	18	29%

Sensorik:

Der Bittergeschmack von angereichertem Leinöl wurde als signifikant niedriger bewertet. Da sich die Bitterintensität über die Lagerung nicht signifikant änderte ist exemplarisch der Vergleich zwischen herkömmlichem und angereichertem Leinöl in Woche 0 in Abbildung 3 gezeigt.

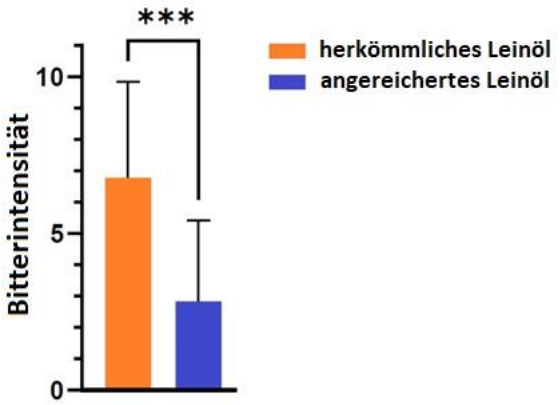


Abbildung 3: **Bitterintensität in herkömmlichem und angereichertem Leinöl als Durchschnittswert + Standardabweichung (n=16, ANOVA, p < 0.001) *** zeigt einen signifikanten Unterschied zwischen herkömmlichem und angereichtem Öl an**

Eine Korrelationsanalyse nach Pearson wurde durchgeführt, um festzustellen, ob die Bitterintensität mit dem Gesamtpolyphenolgehalt zusammenhängt. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, ist dies nicht der Fall.

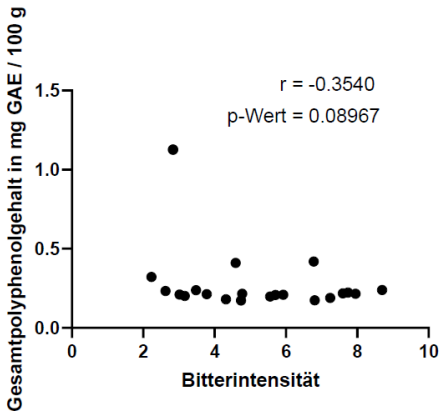


Abbildung 4: **Korrelation nach Pearson zwischen Bitterintensität und Gesamtpolyphenolgehalt. Der Korrelationskoeffizient r und der p-Wert sind angegeben.**

Flüchtige Oxidationsprodukte

Bei der Analyse der flüchtigen Oxidationsprodukte wurde ein signifikanter Unterschied in der Konzentration von Hexanal und Hexanol festgestellt. Die Konzentration von Hexanol ist signifikant erhöht im angereicherten Öl, während die Konzentration von Hexanal signifikant niedriger ist im Vergleich zu herkömmlichem Leinöl. In Abbildung 5 sind ist die integrierten Peakflächen der extracted ion Chromatogramme (m/z =56) für Hexanal und Hexanol gezeigt.

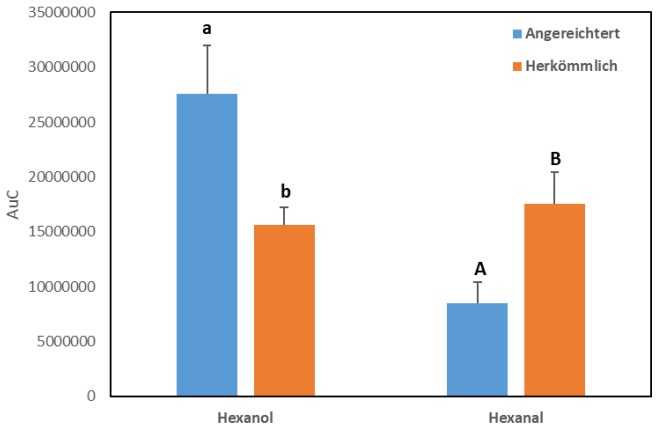


Abbildung 4: **Area under Curve (AuC) für Hexanal und Hexanol von herkömmlichem und angereichertem Leinöl (n=7), t-test ($p < 0.001$), verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede an**

In weiteren sensorischen Untersuchungen muss festgestellt werden, ob Hexanol und Hexanal einen Einfluss auf den Bittergeschmack haben können und als bittermaskierende Substanzen wirken können.

Zusammenfassung

Durch Extraktion von Leinpresskuchen mit Leinöl wurde ein verbessertes Leinöl hergestellt, welches im Vergleich zu herkömmlichem Leinöl mit Leinpresskuchen-Polyphenolen angereichert ist und eine längere Haltbarkeit sowie signifikant niedrigeren Bittergeschmack aufweist. Der erhöhte Polyphenolgehalt kann die Erhöhung der oxidativen Stabilität und somit der Haltbarkeit erklären, es besteht aber keine Korrelation zwischen Bittergeschmack und Gesamtpolyphenolgehalt. Bei der Analyse der flüchtigen sekundären Oxidationsprodukte wurde ein signifikanter Unterschied in der Hexanal- und Hexanolkonzentration gefunden, welcher potenziell für den Geschmacksunterschied verantwortlich sein könnte. Diese Erkenntnis muss in weiteren Sensorikstudien untersucht werden.

Abstract

An improved flaxseed oil was produced by extracting flaxseed press cake with flaxseed oil, resulting in a flaxseed oil enriched with polyphenols. This improved oil has a longer shelf life and significantly lower bitter taste. The increased polyphenol content may explain the improved oxidative stability and therefore shelf life, however, there is no correlation between bitter taste and total polyphenol content. During the analysis of volatile secondary oxidation products, a significant difference was found in the concentration of hexanal and hexanol, which could potentially be responsible for the difference in taste. This finding needs to be further investigated in additional sensory studies.

Literatur

ALBERDI-CEDEÑO J, IBARGOITIA M L, GUILLÉN M D (2020). A Global Study by 1H NMR Spectroscopy and SPME-GC/MS of the in Vitro Digestion of Virgin Flaxseed Oil Enriched or not with Mono-, Di- or Tri-Phenolic Derivatives. Antioxidant Efficiency of These Compounds. *Antioxidants 9*(4) Article 4

BUSCH-STOCKFISCH M (2015): Sensorik kompakt in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung, Behr's Verlag, DE

FARHOOSH R (2007): The Effect of Operational Parameters of the Rancimat Method on the Determination of the Oxidative Stability Measures and Shelf-Life Prediction of Soybean Oil, J Amer Oil Chem Soc 84, 205–209
FIEBIG H-J, GODELMANN, R (1997). Bestimmung der Peroxidzahl (Methode nach Wheeler) - Deutsche Einheitsmethoden zur Untersuchung von Fetten, Fettprodukten, Tensiden und verwandten Stoffen: Analyse von Fetten XXXVII. *Lipid / Fett 99*(5), 194–196
FRÜWIRTH S, STEINSCHADEN R, WOSCHITZ L, RICHTER P, SCHREINER M, HOFFMANN B, HOFFMANN W, PIGNITTER M (2020) Oil-assisted extraction of polyphenols from press cake to enhance oxidative stability of flaxseed oil LWT 133, 110006
GÜLÇIN İ (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. Archives of Toxicology 86(3), 345–391

Adressen der Autoren

[1] Universität Wien, Fakultät für Chemie, Institut für Physiologische Chemie, Josef-Holaubek-Platz 2, 1090 Wien

[2] Universität Wien, Vienna Doctoral School of Chemistry (DoSChem), Währinger Straße 42, 1090 Wien

[*] Ansprechpartner: Assoz.-Prof. Mag. Dr. Marc PIGNITTER, marc.pignitter@univie.ac.at

Automatisierte Feuchte- und Aschebestimmung - normgerecht und praxiserprobt

Automated moisture and ash determination - conforming to standards and field-tested

Daniel Eckhart[1*], Sabine Birker[2]

Einleitung

Das Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg hat insgesamt 42 verschiedene Methoden in der Nasschemie, um Lebensmittel auf unterschiedlichste Parameter zu analysieren, wobei für drei Methoden der prepASH® von Precisa zum Einsatz kommt. In dem Vortrag wird der Vorteil von innovativer Technologie zur Vorsorgesicherung aufgezeigt.

Material und Methoden

Probenmatrix: Diverse Lebensmittelproben, Fleisch, Milch, Sahne, Mehl
Analysensystem: prepASH® Precisa Gravimetrics
Methoden:
BVL L 06.00-4 Bestimmung der Asche in Fleisch, Fleischerzeugnissen und Wurstwaren
BVL L 06.00-9:2008-06 Bestimmung des Gesamtphosphorgehaltes in Fleisch und Fleisch-erzeugnissen
BVL L 01.00-27 Untersuchung von Lebensmitteln; Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Milch und Sahne (Rahm)
BVL L 22.02/04-4 Bestimmung des Trockenmassegehaltes in getrockneten Teigwaren

Ergebnisse und Diskussion

Eignung der Methode generell: Für die Trockenmasse- und Aschebestimmung wird die Probe einmalig eingewogen und nach dem Programmieren oder Aufrufen der Methode bezüglich der Temperatur- und Zeitparameter (u.a.) für bis zu 29 Proben gleichzeitig analysiert. Der Endpunkt der Veraschung kann automatisiert erfolgen, so ist sichergestellt, dass die Veraschung vollständig abläuft und Zeit kann gespart werden. Die Bestimmung der unterschiedlichen Analysenparameter kann mit dem prepASH® normgerecht durchgeführt werden.

Aschebestimmung in Fleischwaren: Die Veraschung erfolgt bei 550°C mit einer automatisierten Gewichtskonstanzbestimmung nach 4 Stunden Glühzeit. Durch die wiederholte automatisierte Wägung der Proben und der graphischen Darstellung der Gewichtsverluste lässt sich die Analysenqualität schnell bewerten. Mögliche Siedeverzüge und sog. Spratzen sind anhand des Diagramms gut zu erkennen. Gleichzeitig wird im gleichen Rhythmus die aktuelle Ofentemperatur dokumentiert und hiermit die Nachvollziehbarkeit der richtigen Analysenbedingungen garantiert.

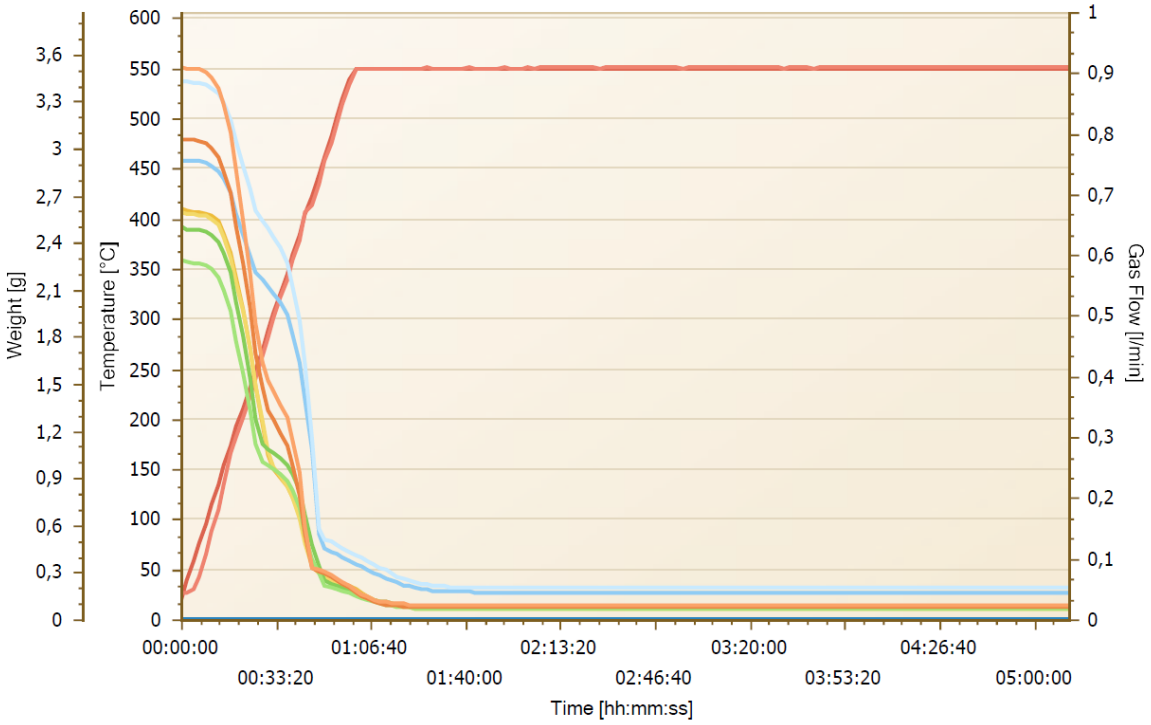


Abbildung 1: **Darstellung der Gewichtsverluste und Temperaturkurve bei der Asche-Bestimmung von Fleischwaren**

Veraschung zur anschließenden Bestimmung des Gesamtphosphorgehaltes: Laut Norm muss eine Probe vor der eigentlichen Veraschung bei 600°C in zwei separaten Schritten vorbehandelt werden: 1. Trocknen, 2. Vorveraschen. Durch die mögliche Programmierung eines individuell passenden Temperaturverlaufes im prepASH®, in der alle drei Teilschritte abgebildet werden können, kann die komplette Bearbeitung in nur einem automatisierten Prozess durchgeführt werden. Damit geht eine erhebliche Zeit- und Aufwandsersparnis einher.

Validierung Trockenmasse: Die Bestimmung der Trockenmasse bei Milch, Sahne und Mehl zeigt die hervorragende Reproduzierbarkeit der Analysenergebnisse bei jeweils 6 Proben.

Milch: MW 40,9%, std 0,125, rstd 0,309
Sahne: MW 12,1%, std 0,022, rstd 0,182
Mehl: MW 69,8%, std 0,016, rstd 0,023

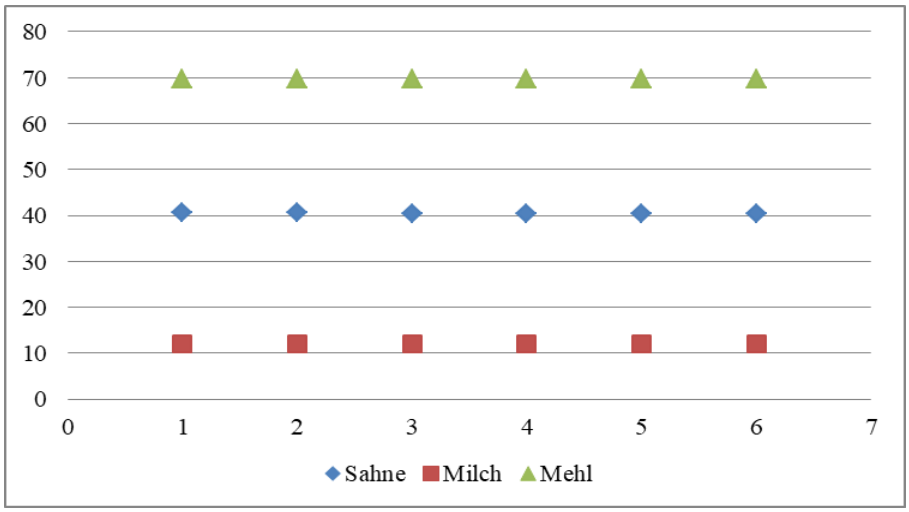


Abbildung 2: **Darstellung der Reproduzierbarkeit**

Zusammenfassung

Die normative Bestimmung der Trockenmasse und des Aschegehaltes in Lebensmitteln ist mit der automatisierten Bestimmung über den prepASH® nicht nur valide, sie erspart auch Zeit und schont Ressourcen. Die Analytik erfüllt mit der Protokollierung und der Dokumentation der Wägungen und der Analysentemperaturen die Anforderung nach GLP.

Abstract

The normative determination of the dry matter and ash in food is not only valid with the automated determination via the prepASH®, it also saves time and conserves resources. The analysis meets the requirements of GLP with the logging and documentation of the weighing and the analysis temperatures.

Adresse der Autoren

[1]Umweltinstitut, Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Voralberg, Montfortstraße 4, A-6901 Bregenz

[2] Precisa Gravimetrics GmbH Deutschland, Marie-Curie-Str. 27, D-63110 Rodgau

* Ansprechpartner: Daniel ECKHART, daniel.eckhart@vorarlberg.at

Fischsterben in der Oder in Polen/Deutschland im Sommer 2022

Massive fish killing event in the river Oder in Poland/Germany in summer 2022

Elisabeth Varga[1*], Jan Köhler[2], Stephanie Spahr[2], Tobias Goldhammer[2]

Einleitung

Im Sommer 2022 wurde ein massives Fischsterben im Fluss Oder (in Polnisch Odra) in Polen und Deutschland beobachtet. Die Oder zählt zu den 20 größten Flüssen Europas und hat eine große Bedeutung als Naherholungsgebiet für mehr als 16 Millionen Menschen und ist darüber hinaus auch für den Tourismus von großer Bedeutung (FREE et al. 2023). Das Fischsterben begann Ende Juli und war bis in den September hinein zu beobachten und hatte den Tod von ca. 360 Tonnen von Fisch zur Folge. Außerdem wurden eine Reihe ökologischer Auswirkungen entlang von ca. 500 Flusskilometern beobachtet. Als Ursachen wurde z.B. ein Schwermetalleintrag oder Kontamination mit Pestiziden vermutet, die aber alle nicht bestätigt werden konnten. Ein erhöhter Chlorophyllgehalt deutete schließlich auf das Vorhandensein von mikroskopisch kleinen Algen, sogenannten Mikroalgen, hin (SCHULTE et al. 2022).

Material und Methoden

Probenmaterial: Wasserproben sowie Biomasseproben (durch Filtration von Wasser gewonnen)
Standorte: Frankfurt an der Oder, Küstrin, Hohenwutzen in Deutschland ungefähr zwischen den Flusskilometer 580 und 665 der Oder.
Zeitpunkt der Probennahme: Mitte bis Ende August 2022
Methoden: Die Extraktion der Wasser- bzw. Biomasseproben erfolgte abgesehen von kleinen Adaptionen analog der in SVENSSEN et al. (2019) beschrieben Aufarbeitungsmethoden. Während die Wasserproben mit 2-Butanol ausgeschüttelt wurden, wurden die Biomasseproben mit Methanol extrahiert. Vor der Analyse wurden sie in einer SpeedVac™ aufkonzentriert und in einem Methanol-Wasser (90:10, *v:v*) Gemisch aufgenommen. Die chromatographische Trennung wurde auf einer Kinetex F5-Core-Shell Säule von Phenomenex erzielt, die Detektion erfolgte mit einem hochauflösenden Massenspektrometer des Types timsTOF flex (Bruker Corporation).

Ergebnisse und Diskussion

Die mikroskopische Analyse der Wasserproben (Abbildung 1) deuteten auf eine Mikroalge des Phylums Haptophyta hin, mit zwei gleich langen Flagellen und einem relativ kurzem Haptenoma. Diese charakteristischen phänotypischen Merkmale, sowie die bekannten fischtoxischen Eigenschaften, ließen auf *Prymnesium parvum* schließen, dessen Präsenz später mit molekularbiologischen Methoden bestätigt werden konnte. *P. parvum* ist in der Lage zytotoxische und lytische Toxine, die sogenannten Prymnesine, zu produzieren (IGARASHI et al. 1996). Bis jetzt sind drei unterschiedliche Kategorien von Toxinen bekannt, die A-Typ, B-Typ und C-Typ Prymnesine, die sich aufgrund des Grundgerüstes unterscheiden (BINZER et al. 2019).

Abbildung 1: **Mikroskopische Aufnahme der in der Oder gefundenen Mikroalge, die sich als *Prymnesium parvum* herausstellte**

Aufgrund dieser Informationen wurden Wasser- und Biomasseproben auf das Vorhandensein von Prymnesinen untersucht. Mittels einer flüssigkeitschromatografischen Methode wurden die Analyten aufgetrennt und anschließend erfolgte die Detektion mit einem hochauflösenden Massenspektrometer (LC-HRMS). Dabei konnten tatsächlich zweifelsfrei signifikante Mengen an B-Typ Prymnesinen nachgewiesen werden. In Tabelle 1 sind die drei detektierten B-Typ Prymnesin Analoga gemeinsam mit den gefundenen Masse-zu-Ladungsverhältnissen der einzelnen Ionen angegeben. Dabei ist zu beachten, dass das Verhältnis der einzelnen Substanzen untereinander von Probe zu Probe schwankte, wobei das Prymnesin mit einer Hexose Einheit meist über 50% des Gesamtprymnesingehaltes ausmachte. Nachdem es keine analytischen Standards gibt, erfolgte die eindeutige Zuordnung mittels zuvor charakterisierter Stämme. Diese wurden im Rahmen von Projekten der Universität Kopenhagen (Arbeitsgruppe Per J. Hansen) und der Dänischen Technischen Universität (Arbeitsgruppe Thomas O. Larsen) charakterisiert. Das Prymnesin B-Typ Grundgerüst ist in Abbildung 2 dargestellt. Die charakteristischen Merkmale – das Chlor-Atom am C-1 (grüner Kreis) und die primäre Aminogruppe am C-14 (blauer Kreis) – sind farblich markiert. Die Position der einen bzw. zwei Hexose-Einheiten ist mittels LC-HRMS nicht zu klären, wobei davon ausgegangen werden kann, dass sie an einer der Hydroxygruppen am hydrophilen Ende (in der Abbildung auf der rechten Seite) angehängt sind. Der aus der Oder isolierte *P. parvum* Stamm zeichnet sich durch ein relativ einfaches Prymnesin-Spektrum aus, vor allem die Abwesenheit von Prymnesinen mit Pentose-Einheiten ist auffällig. Dies sollte zu einer etwas leichteren Aufreinigung derselben beitragen, da Prymnesine mit Pentose- und mit Hexoseeinheiten sehr schwer chromatographisch trennbar sind.

Tabelle 1: **Übersicht über die detektierten B-Typ Prymnesine (PRM-B) und den gefundenen exakten (= theoretischen) Ionenmassen**

Systematische Abkürzung	Angenommene Summenformel	$[M+H]^+$	$[M+2H]^{+2}$	$[M+Na+H]^{+2}$	$[M+NH_4]^{+2}$
PRM-B (1 Cl) 1)	$C_{85}H_{122}ClNO_{29}$	1656.7864	828.8968	839.8878	837.4101
PRM-B (1 Cl) + Hexose 2)	$C_{91}H_{132}ClNO_{34}$	1818.8392	909.9232	920.9142	918.4365
PRM-B (1 Cl) + 2 Hexose 2)	$C_{97}H_{142}ClNO_{39}$	1980.8920	990.9497	1001.9406	999.4629

1) Prymnesin B-Typ mit einem Chlor-Atom im Grundgerüst
2) Prymnesin B-Typ mit einem Chlor-Atom im Grundgerüst und einer oder zwei zusätzlichen Hexose-Einheiten

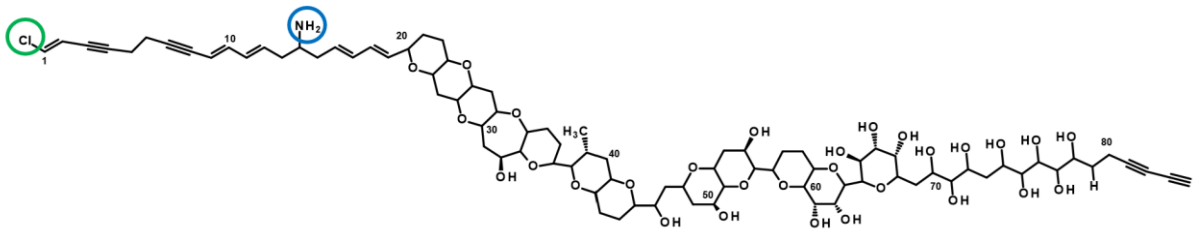


Abbildung 2: **Prymnesin B-Typ Grundgerüst**

Behördliche Berichte: Ende September wurden die Zwischenberichte der deutschen (SCHULTE et al. 2022) und der polnischen (IOŚ-PIB 2022) nationalen Expert*innengruppe zeitgleich veröffentlicht. In beiden Berichten wurden erhöhte Leitfähigkeitswerte ebenso wie erhöhte Sauerstoffkonzentrationen, Salzkonzentrationen, pH und Chlorophyllkonzentrationen beschrieben. Außerdem wurde P. parvum als Hauptverursacher der Oder Katastrophe identifiziert, obwohl begleitende Ursachen nicht komplett ausgeschlossen werden können (IOŚ-PIB 2022, SCHULTE et al. 2022). Der deutsche Bericht (SCHULTE et al. 2022) betont die anthropogenen Ursachen des erhöhten Salzgehaltes als Faktor für die Algenblüte, wie zum Beispiel die salzhaltigen Abwässer von Bergbauunternehmen. Mittlerweile gibt es auch einen Abschlussbericht der polnischen Seite von März 2023 (IOŚ-PIB 2023), sowie eine Beurteilung des ökologischen Desasters durch die Europäische Kommission in einem JRC Technical Report (FREE et al. 2023). Im JRC-Bericht wird der erhöhe Salzgehalt als Schlüsselfaktor für die Vermehrung von P. parvum angeführt, aber auch die Trockenheit und die daraus resultierenden niedrigen Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten, sowie hydromorphologische Veränderungen des Flusses werden als Ursachen

für die Algenblüte in Betracht gezogen. Des Weiteren wird darauf hingewiesen wie wichtig online Monitoring Programme und die internationale Kommunikation im Falle von Abweichungen ist (FREE et al. 2023).

Zusammenfassung

Im Sommer 2022 wurde ein massives Fischsterben im Fluss Oder in Polen und Deutschland beobachtet. Mehrere Ursachen wie z.B. ein Schwermetalleintrag oder eine Kontamination mit Pestiziden wurden vermutet. All diese Vermutungen konnten aber nicht bestätigt werden und im Endeffekt wurde die invasive Mikroalge *Prymnesium parvum* als Verursacher des Fischsterbens identifiziert. *P. parvum* ist eigentlich eine Brackwasseralge und wurde in Europa noch nie in einem Fließgewässer nachgewiesen. Sie ist in der Lage Toxine, die sogenannten Prymnesine, zu produzieren, die lytische Eigenschaften besitzen. Der in der Oder nachgewiesene Stamm produziert B-Typ Prymnesine und zeichnet sich durch ein sehr untypisches – nämlich ein einfaches – Prymnesin-Muster aus.

Abstract

In summer 2022, a massive fish killing event was observed in the Oder River in Poland and Germany. Several causes were suspected, e.g., input of heavy metals or a contamination with pesticides. However, all these hypotheses could not be confirmed and in the end the invasive microalgae *Prymnesium parvum* was identified as causative agent for the fish kill. *P. parvum* is a brackish water alga and has never been reported before in a river in Europe. It is capable of producing toxins called prymnesins, which have lytic properties. The strain detected in the Oder produces B-type prymnesins and is characterised by a very atypical – namely a simple – prymnesin pattern.

Literatur

BINZER SB, SVENSSEN DK, DAUGBJERG N, ALVES-DE-SOUZA C, PINTO E, HANSEN PJ, LARSEN TO, VARGA E (2019): A-, B- and C-type prymnesins are clade specific compounds and chemotaxonomic markers in *Prymnesium parvum*. Harmful Algae 81, 10-17.

FREE G, VAN DE BUND W, GAWLIK B, VAN WIJK L, WOOD M, GUAGNINI E, KOUTELOS K, ANNUNZIATO A, GRIZZETTI B, VIGIAK O, GNECCHI M, POIKANE S, CHRISTIANSEN T, WHALLEY C, ANTOGNAZZA F, ZERGER B, HOEVE R, STIELSTRA H (2023): An EU analysis of the ecological disaster in the Oder River of 2022 (EUR 31418 EN); Publications Office of the European Union, Luxembourg. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/acae85a4-ae18-11ed-8912-01aa75ed71a1/language-en

IGARASHI T, SATAKE M, YASUMOTO T (1996): Prymnesin-2: a potent ichthyotoxic and hemolytic glycoside isolated from the red tide alga *Prymnesium parvum*. J. Am. Chem. Soc. 118 (2), 479–480.

IOŚ-PIB (2022): Wstępny raport zespołu ds. sytuacji na rzece Odrze; Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB): Warsaw, Poland, 1-260.

IOŚ-PIB (2023): Raport kończący prace zespołu ds. sytuacji w Odrze; Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ-PIB): Warsaw, Poland, 1-191.

SCHULTE C, ABBAS B, ENGELKE C, FISCHER H, HENNEBERG S, HENTSCHEL H, JEKEL H, JESKE R, PIETSCH K, SCHÖLL F, SCHÖNFELDER J, TERNES T, VÖLKER J (2022): Fischsterben in der Oder, August 2022; Nationale Expertengruppe zum Fischsterben in der Oder unter Leitung des Umweltbundesamtes, Germany. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/Bericht_-_Fischsterben_in_der_Oder_20220929_bf.pdf

SVENSSEN DK, BINZER SB, MEDIĆ N, HANSEN PJ, LARSEN TO, VARGA E (2019): Development of an Indirect Quantitation Method to Assess Ichthyotoxic B-Type Prymnesins from *Prymnesium parvum*. Toxins 11, 251.

Adressen der Autoren

[1] Universität Wien, Fakultät für Chemie, Institut für Lebensmittelchemie und Toxikologie, Währinger Straße 38-40, A-1090 Wien

[2] Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Müggelseedamm 301/310, D-12587 Berlin

[*] Ansprechpartner: DI Dr. Elisabeth VARGA, elisabeth.varga@univie.ac.at

Planung und Durchführung einer landesweiten Felddatenerhebung im Projekt SatGrass

Planning and implementation of a nationwide field data collection in SatGrass

Andreas Schaumberger*, Andreas Klingler

Einleitung

Grünland ist mit 1,33 Millionen Hektar die flächenmäßig wichtigste Kulturart in Österreich und bildet neben wichtigen ökologischen Funktionen die Futtergrundlage für rund 53.000 Viehwirtschaftsbetriebe (BML, 2022). Die Vielfalt an standortabhängigen Bewirtschaftungsintensitäten, die kleinen Flächenstrukturen und die mehrfache Ernte im Verlauf einer Vegetationsperiode macht eine systematische Schätzung von Ertrag und Qualität schwierig und ist bislang nur über Hochrechnungen von Stichproben möglich. Die in erster Linie von der Witterung abhängigen jährlichen und regionalen Ertragsschwankungen können damit nicht vollständig erfasst werden. Dies betrifft vor allem die Quantifizierung von Ertragsminderungen und -ausfällen durch Trockenheit und andere lokale Extremereignisse, welche im Zuge der Klimaveränderung zukünftig häufiger auftreten werden.
Ertrag und Qualität bilden in der Bewertung des Grünlandes eine Einheit. Die Ernte in einer frühen Phase der Entwicklung liefert weniger Trockenmasse zu höheren Qualitäten. Mit der weiteren Entwicklung der Pflanzen nimmt die Biomasse zu, die Qualität sinkt jedoch stark. Das Verhältnis zwischen Ertrag und Futterqualität kann der Landwirt direkt über den gewählten Schnittzeitpunkt steuern. Eine objektive Einschätzung des Verhältnisses dieser beiden Parameter zueinander entscheidet daher maßgeblich über den wirtschaftlichen Erfolg und die Produktivität eines Grünlandbetriebes.
Mit Hilfe von Erdbeobachtungsdiensten wie Copernicus können aufgrund der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung Grünlandbestände und ihre Nutzung kontinuierlich beobachtet werden. Um Vegetationsdynamiken daraus ableiten zu können, vereinen wir im Forschungsprojekt SatGrass, gefördert von der FFG im Rahmen des Österreichischen Weltraumprogrammes (ASAP), Fernerkundungs- und Wetterdaten zu einem Schätzmodell, welches mit zahlreichen, regional verteilten Ertragsmessungen und Qualitätsuntersuchungen kalibriert und validiert wird. Die wichtigsten Ziele von SatGrass sind zum einen die Identifikation von Nutzungszeitpunkten und zum anderen die Schätzung von Grünlanderträgen und Futterqualitäten in nahezu Echtzeit. Die Ergebnisse dienen auf lokaler Ebene Landwirten zur Bestimmung des optimalen Schnittzeitpunktes, um Ertrag und Qualität betriebsindividuell optimieren zu können. Auf regionaler Ebene sollen sie Grundlagen für statistische Auswertungen, für Anwendungen im Bereich Risikomanagement und für die Agrarpolitik liefern.

Anforderungen an die Felderhebungen und deren Planung

Der Ertrag und die Futterqualität eines Grünlandbestandes wird zu einem großen Teil von der Zusammensetzung des Pflanzenbestandes bestimmt. Dieser ist das Ergebnis des Zusammenspiels von Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Pflege, Düngung und Nutzung und Standortbedingungen wie Lage, Boden und Witterung (PÖTSCH, 2009). Als Standortfaktor hat das Wetter den größten Einfluss auf den Wachstumsverlauf. Tagesaktuelle Wetterdaten sind flächendeckend verfügbar und können vergleichsweise einfach einer regionalen Auswertung zugeführt werden, während die von Feldstück zu Feldstück unterschiedlichen Bewirtschaftungsfaktoren nicht direkt regionalisierbar sind (SCHAUMBERGER, 2011).
Für die Integration von Wetterdaten in grünlandspezifischen Ertragsmodellen ist es notwendig, die Dauer der einzelnen Grünlandaufwüchse zu kennen, um das Wettergeschehen einer jeweiligen Wuchsperiode zuordnen zu können. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis von Beginn und Ende der einzelnen Aufwüchse, die sich aus dem Vegetationsbeginn und den jeweiligen Schnittzeitpunkten ergeben. Um dies für größere Regionen bewerkstelligen zu können, braucht es eine möglichst treffsichere Ableitung von Schnittzeitpunkten aus Satellitendaten. Die dazu notwendigen Modelle für unterschiedliche Nutzungshäufigkeiten basieren auf einer Vielzahl von Beobachtungen der Mähzeitpunkte.
Abgesehen von der Schnitterkennung nutzen wir in SatGrass die Daten der satellitenbasierten Erdbeobachtung auch direkt für die Beschreibung jener Vegetationsdynamiken, die ganz wesentlich von Bewirtschaftungsfaktoren wie beispielsweise die Nährstoffversorgung mitbestimmt werden. Auf diese Weise können sowohl Bewirtschaftungs- als auch Standortfaktoren in regionalen Anwendungen genutzt

werden. Voraussetzung für eine robuste und vielseitige Anwendung ist die Kalibrierung und Validierung der auf Fernerkundungs- und Wetterdaten basierenden Modelle mit einer möglichst großen Zahl an Messdaten von Ertrag und Qualität (vgl. *Abbildung 7*). Deren umfangreiche Erhebung in möglichst unterschiedlichen Produktionsgebieten mit abgestufter Nutzungsintensität ist für die Güte der Modelle entscheidend und bildet daher einen zentralen Arbeitsschwerpunkt im Projekt SatGrass.

Abbildung 7: **Kombination aus Fernerkundung, Wetterdaten und Ertragsmessungen als Grundlage für die Kalibrierung und Validierung von Ertrags- und Qualitätsmodellen**

Die Entwicklung von Ertrag und Qualität ist hoch dynamisch und verändert sich im Verlauf eines Aufwuchses deutlich. Aus diesem Grund müssen die dafür bestimmenden Faktoren und ihr Einfluss auf die Entwicklung nicht nur zum Erntezeitpunkt, sondern über die gesamte Aufwuchsdauer beobachtet und ausgewertet werden. Dichte Mess- und Beobachtungszeitreihen sind die Voraussetzung dafür.
Zudem treffen in Österreich verschiedene Klimaeinflüsse aufeinander, die regional von der alpinen Topografie stark überlagert werden. Gunstlagen und benachteiligte Gebiete liegen relativ nah beieinander und so besteht hinsichtlich der standortangepassten Nutzungsintensität im Grünland eine große regionale Vielfalt. Um ein für das österreichische Grünland repräsentatives Modell für Ertrag und Qualität zu erstellen, bedarf es umso mehr Erhebungsdaten von unterschiedlich genutzten Grünlandflächen in möglichst vielen verschiedenen Klimaregionen. Flächenauswahl, Probennahme und Probenweiterverarbeitung ist aus diesem Grund eine große logistische Herausforderung.
In dem mit unseren Partnern aufgebauten, sehr umfangreichen Netzwerk an Grünlandstandorten (vgl. *Abbildung 8*) sammeln wir im Abstand von etwa zwei Wochen Futterproben und führen weitere nichtdestruktive Beobachtungen durch. Unter Leitung der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft sind neben engagierten Landwirten und landwirtschaftliche Bildungseinrichtungen vor allem der Maschinenring Österreich und die HBLFA Raumberg-Gumpenstein an der Datenerhebung beteiligt.

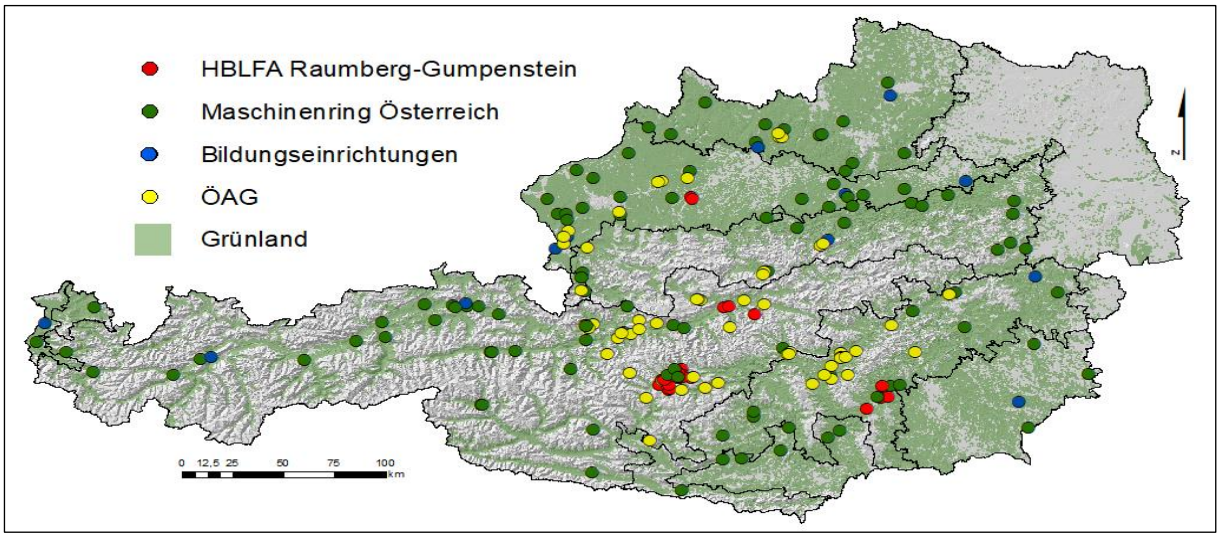


Abbildung 8: **Standorte der 205 beprobten Grünlandflächen, verteilt in den Hauptproduktionsgebieten**

Die Zusammenarbeit mehrerer Institutionen und die dadurch mögliche dezentrale Datenerhebung ist die wichtigste Voraussetzung für eine gleichmäßige räumliche Verteilung der Standorte. Vor allem die Mitarbeit der in allen Regionen Österreichs vertretenen Maschinenringmitglieder und Regionalbetreuer sowie der beteiligten landwirtschaftlichen Bildungseinrichtungen schafft eine Datenbasis, die von Vorarlberg bis zum Burgenland reicht. Eine erhebliche Verdichtung wird mit der Betreuung von Erhebungsflächen rund um den zentral gelegenen Standort Raumberg-Gumpenstein durch eigens dafür angestellte und ausgebildete Mitarbeiter erreicht. Um Reisebewegungen von Gumpenstein zu den Grünlandflächen möglichst effizient zu gestalten, wurde mittels GIS-Software (ESRI ArcGIS 10.8 Network Analyst) und Open Street Map eine Erreichbarkeits- und Netzwerkanalyse durchgeführt (siehe *Abbildung 9*).

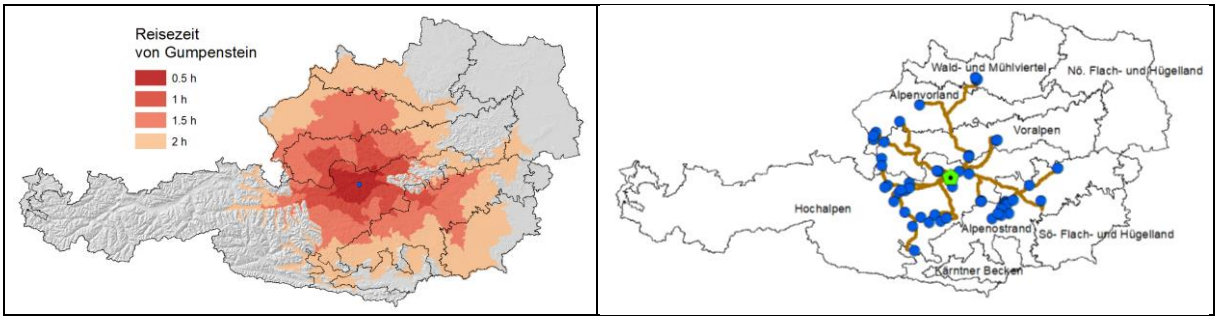


Abbildung 9: **GIS-Netzwerkanalyse für Erreichbarkeit (service areas) und Routenerstellung**

Die Eignung der Flächen ist an Kriterien gebunden, die Voraussetzung einer satellitenbasierten Auswertung sind. Dazu gehört an erster Stelle eine Mindestgröße von etwa 0,5 ha in quadratähnlicher Form, wo mehrere 10 x 10 Meter große Satellitenbildrasterzellen Platz finden, welche ausschließlich Grünlandinformation beinhalten. Randzellen mit gemischter Information, wo sich innerhalb einer Rasterzellen neben Grünland beispielsweise auch Wald oder Wege befinden, sind nicht geeignet. Die Flächen sollen zudem einigermaßen flach und ohne bestimmte Ausrichtung sein sowie einen für die Region repräsentativen Pflanzenbestand aufweisen, damit sie hinsichtlich der Rahmenbedingungen vergleichbar bleiben. Jede Fläche wurde vor den Erhebungen mit dem Tool *Sentinel-2 Value Adder* (Institut für Geomatik, BOKU) auf Homogenität geprüft und segmentiert. In diesem Segment werden in weiterer Folge alle Datenerhebungen und Satellitenbildauswertungen vorgenommen (siehe *Abbildung 10* links).

Durchführung der Felderhebungen

Die Datenerhebung wird in SatGrass von unterschiedlichen Personen durchgeführt. Um den Erhebungsprozess weitgehend zu standardisieren und damit eine möglichst hohe Datenqualität zu erreichen, wurde eine Smartphone-Applikation entwickelt, welche durch den gesamten Erhebungsprozess führt, Anleitungen anbietet und gleichzeitig auch alle Daten speichert. In *Abbildung 10* sind einige dieser Schritte beispielhaft in Form von Screenshots dargestellt.

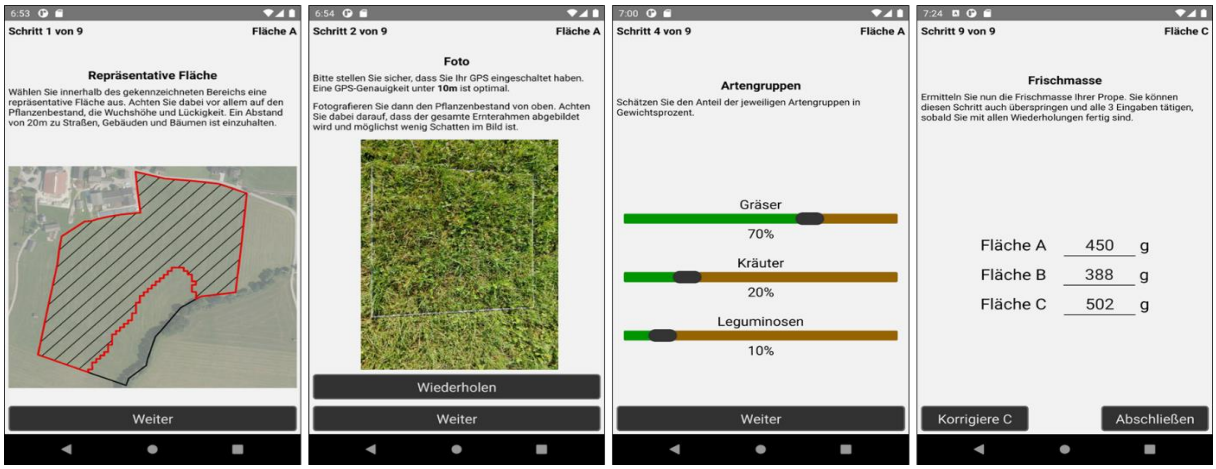


Abbildung 10: **Begleitung aller Arbeitsschritte bei der Datenerhebung mittels Smartphone-App**

Auf allen Standorten wird vor der Ernte von insgesamt drei zufällig auf einer Grünlandfläche ausgewählten Quadratmetern die Wuchshöhe gemessen, das Artengruppenverhältnis (Anteil von Gräsern, Kräutern und Leguminosen) bestimmt sowie auf etwa einem Drittel aller Standorte zusätzlich der Blattflächenindex gemessen. Nach der Ermittlung des Frischmassegewichtes werden die Proben an die HBLFA Raumberg-Gumpenstein zur Bestimmung von Trockenmasse und Rohproteingehalt geliefert. Alle Beobachtung und Messungen am Pflanzenbestand werden direkt am Feld in die vorgesehenen Bereiche der App eingetragen und anschließend an einen zentralen Datenbankspeicher übertragen.
In *Abbildung 11* sind die für die Datenerfassung notwendigen Komponenten und Datenflüsse schematisch dargestellt. In der Datenschicht befinden sich Server wie Google Maps oder GeoServer, welche Orientierungskarten und INVEKOS-Feldstücke für die Erfassung der Schnittzeitpunkte einbinden. In der Applikationsschicht werden die im Rahmen der Mähzeitpunkt- und Ertragserhebung eingegebenen Daten auf Plausibilität geprüft, in Datenobjekten gekapselt und bei ausreichend stabiler Internetverbindung zusammen mit Bildaufnahmen zur Speicherung über Node.js an eine SQLite-Datenbank übertragen. Als Benutzerschnittstelle dient dabei eine App für Android und Apple OS.

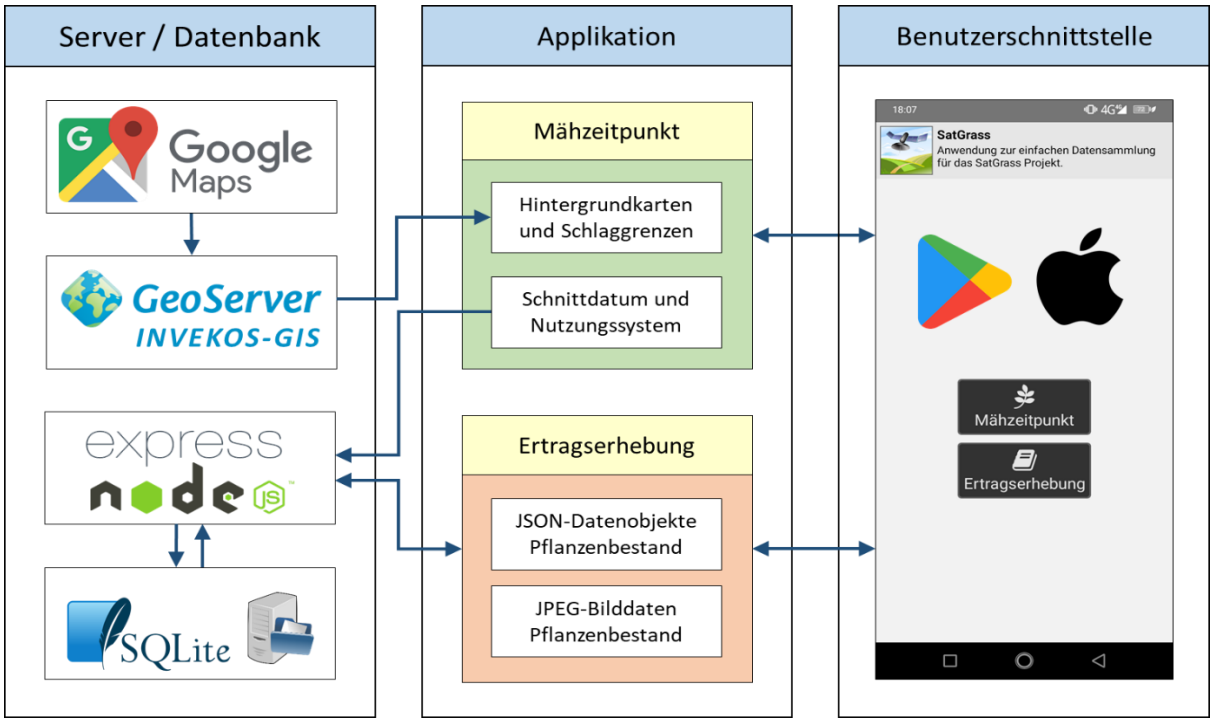


Abbildung 11: **Komponenten der Erhebungssoftware, implementiert in einer 3-Schichten-Architektur**

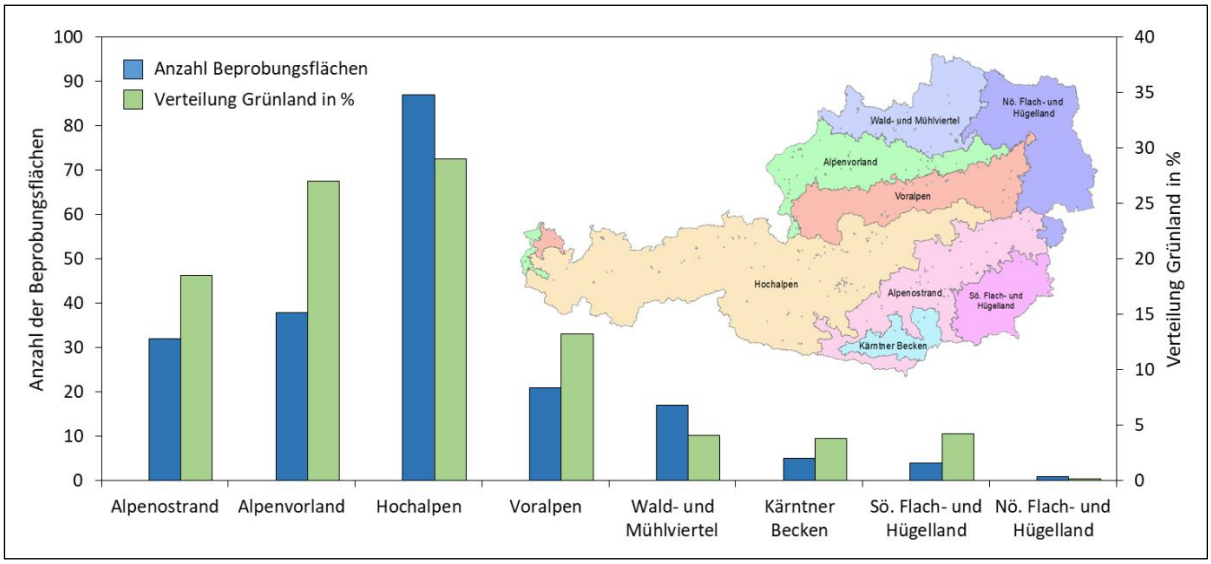


Abbildung 12: **Verteilung der Erhebungsflächen auf Hauptproduktionsgebiete mit deren Grünlandanteil**

Bei der Planung und Durchführung von Felderhebungen als Grundlage für ein österreichweit einzusetzendes Ertrags- und Qualitätsmodell war auf eine repräsentative Verteilung der Erhebungsflächen zu achten. In *Abbildung 12* ist die Häufigkeitsverteilung der Beprobungsflächen auf die Hauptproduktionsgebiete dargestellt. Ein direkter Vergleich mit der relativen Verteilung des Grünlandes zeigt, dass die Anzahl der beprobten Grünlandflächen der regionalen Bedeutung der Grünlandwirtschaft entspricht. Ebenso wie die räumliche Verteilung ist auch eine repräsentative Gewichtung der Schnittsysteme notwendig, damit die als Stichprobe ausgewählten Erhebungsflächen der Verteilung der Schnitthäufigkeit in Österreich folgt (vgl. *Abbildung 13*). Die Abbildung zeigt zudem den Anteil der beteiligten Institutionen an den Erhebungen.

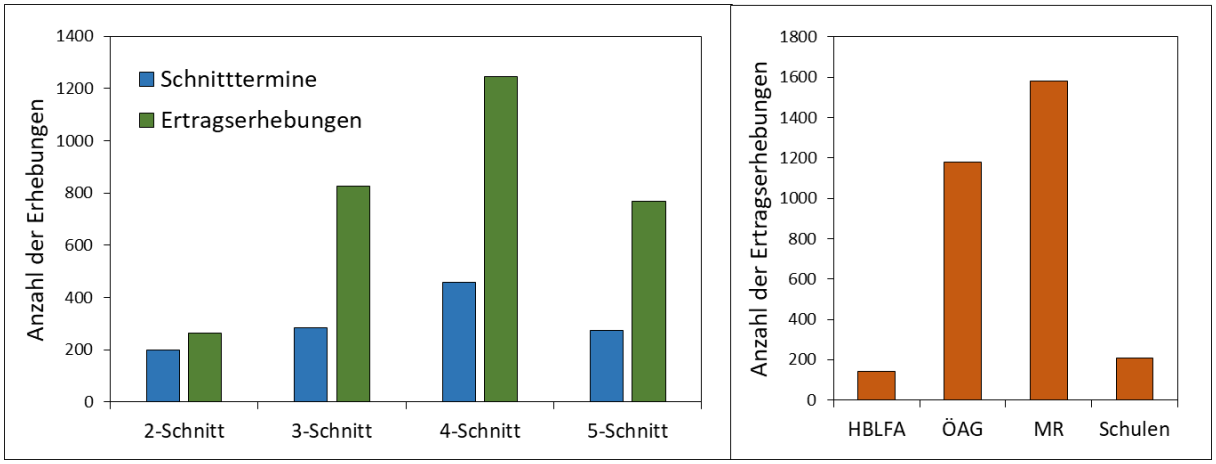


Abbildung 13: **Verteilung der Erhebungsflächen auf unterschiedliche Schnittsysteme und Projektpartner**

Zusammenfassung

Im Projekt SatGrass werden über drei Jahre (2021 bis 2023) auf etwa 200 in ganz Österreich verteilten und für das Wirtschaftsgrünland repräsentativen Erhebungsflächen im Abstand von zwei Wochen von mehreren beteiligten Partnern Mähzeitpunkte sowie Ertragsdaten und andere Pflanzenbestandsparameter erhoben. Ziel ist die Kalibrierung und Validierung eines Ertrags- und Qualitätsmodell. In den ersten beiden Projektjahren wurden bisher 3105 Proben gesammelt und daraus Ertrag sowie Rohproteingehalt bestimmt. Zusätzlich fließen etwa 1200 Beobachtungen von Mähzeitpunkten in die Modellierung ein.

Abstract

In the SatGrass project, cutting dates and yield data as well as other plant stand parameters are collected by participating partners over a period of three years (2021 to 2023) on about 200 survey plots distributed throughout Austria and representative for Austrian grasslands at intervals of about two weeks. The aim is to calibrate and validate a yield and quality model. In the first two years of the project, 3105 samples have been collected, and yield and crude protein content determined. In addition, about 1200 observations of mowing times are included in the modelling.

Literatur

BML (2022): Grüner Bericht 2022 - Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, 288 S.

PÖTSCH, E.M. (2009): Einflussfaktoren auf Ertrag und Qualität von Grünlandfutter. Fortbildungsveranstaltung "Tierärztliche Bestandsbetreuung von Milchviehbetrieben in Österreich", Gumpenstein, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 4.-6. Juni 2009, 5-13.

SCHAUMBERGER, A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 264 S.

Adresse der Autoren

HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Altirding 11, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Dr. Andreas SCHAUMBERGER, andreas.schaumberger@raumberg-gumpenstein.at

Österreichweite Modellierung von Grünlanderträgen mit Wetter- und Satellitendaten

Austria-wide modelling of grassland yields using weather and satellite data

Andreas Klingler[1*], Aleksandar Dujakovic[2], Francesco Vuolo[2],
Konrad Mayer[3], Andreas Schaumberger[1]

Einleitung

Die Grünlandwirtschaft spielt in der österreichischen Landwirtschaft eine zentrale Rolle. Mit insgesamt 1,33 Millionen Hektar nimmt sie die Hälfte der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ein und wird von etwa 53.000 überwiegend kleinstrukturierten Betrieben bewirtschaftet (BML 2022). Insbesondere im klimatisch und topografisch benachteiligten Hauptproduktionsgebiet, den Hochalpen, ist Grünland aufgrund limitierender Standortfaktoren die mit Abstand am weitesten verbreitete Kulturart. Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Nutzung, Düngung und Bestandespflege sind im optimalen Fall an den Standort angepasst, um stabile Erträge mit guter Futterqualität zu generieren und unerwünschte Auswirkungen möglichst zu reduzieren. Ertragsmodelle können eine breite Datenbasis liefern und Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter bei ihren Managemententscheidungen hinsichtlich optimaler Nutzungszeitpunkte oder teilflächenspezifischer Bewirtschaftung unterstützen. Hochauflösende Fernerkundungs- und Wetterdaten sowie ein umfangreicher Biomassedatensatz bieten die ideale Basis für die Modellierung. Im folgenden Artikel werden erste Ergebnisse eines österreichweit getesteten Ertragsmodells präsentiert.

Material und Methoden

Für die Modellierung wurde ein umfassender Datensatz aus dem Jahr 2021 mit insgesamt 1364 Beobachtungen verwendet. Die Daten wurden in verschiedenen Grünlandregionen im gesamten Bundesgebiet und auf Mähwiesen mit unterschiedlichen Nutzungsintensitäten (2-6 Schnitte) gesammelt. Die Datenerhebung wurde von folgenden Institutionen durchgeführt: HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Viehwirtschaft (ÖAG), Maschinenring und landwirtschaftliche Bildungseinrichtungen (LFS).
Auf den 130 ausgewählten Standorten, die für die Modellierung verwendet wurden, fand alle 10 bis 14 Tage eine Erhebung auf einem zuvor definierten, möglichst homogenen Teilbereich statt, um die Wachstumsdynamik des Grünlandes mit ausreichender Genauigkeit zu beobachten. Dazu wurden zunächst drei repräsentative Quadratmeter innerhalb der Wiese ausgewählt und nach nicht-destruktiven Erhebungen wie der Messung der Wuchshöhe, der Schätzung der Artenzusammensetzung und der Deckung abgeerntet. Der gesamte Vorgang wurde mittels einer speziell dafür entwickelten App dokumentiert und über den eingebauten GPS-Sensor verortet. Die Futterproben wurden auf den Betrieben vorgetrocknet und anschließend im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein auf ihre Trockenmasse hin analysiert. Die daraus gewonnenen Daten wurden für die Erstellung des Grünlandmodells verwendet.
Für das Modelltraining und die Auswahl der Hyperparameter wurden insgesamt 1198 Erhebungen verwendet, welche von der ÖAG (647) und dem Maschinenring (551) gesammelt wurden. Die Validierung des Modells erfolgte mit Hilfe der Daten der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (69) und der LFS (97), die dem Modell zuvor unbekannt waren.
Die Datenprozessierung und Modellierung wurden in R, Version 4.1.2 (R CORE TEAM 2021), durchgeführt. Für das Modelltraining wurde die Methode "avNNet" aus dem Paket "caret" (KUHN 2021) verwendet. Dabei handelt es sich um eine Methode, bei der mehrere neuronale Netze gleichzeitig kalibriert und anschließend gemittelt werden, um ein robusteres Modell zu erstellen. Das Hyperparametertuning erfolgte mit Hilfe eines Tuninggrids, bei dem die Hyperparameter "size" (2 bis 30), "decay" (0.001, 0.010, 0.100, 1.000) und "bag" (1, 2, 3) optimiert wurden. Um einen Overfit zu vermeiden, wurde eine 10-fold repeated-crossvalitaton mit 5 Wiederholungen angewandt.
Folgende Variablen dienen im Modell als Prädiktoren für den Trockenmasseertrag in kg ha^{-1}: Aufwuchs, die Summe des Blattflächenindexes sowie wichtige agrarmeteorologische Parameter für das Pflanzenwachstum wie Temperatur, Evapotranspiration, Globalstrahlung, Niederschlag und eine über einen Zeitraum von 30 Tagen berechnete Wasserbilanz. Zur Ermittlung der klimatischen Wasserbilanz wurde die

Referenz-Evapotranspiration nach der Penman-Monteith-Methode (ALLEN et al. 1998) berechnet. Die LAI-Daten wurden mithilfe der Strahlungstransfermodelle PROSPECT und SAIL (JACQUEMOUD 2009) aus den Sentinel-2-Daten abgeleitet. Um die LAI-Summe auf Basis täglicher LAI-Werte zu berechnen, wurde eine lineare Interpolation zwischen den einzelnen Sentinel-2-Aufnahmen durchgeführt. Wolken wurden bereits zuvor maskiert und von den Berechnungen ausgeschlossen. Die Summen der agrarmeteorologischen Parameter wurden für den ersten Aufwuchs ab dem Start der Vegetationsperiode bis zum Erhebungszeitpunkt gebildet. Der Start der Vegetationsperiode wurde mithilfe von Vegetationskennwerten aus Sentinel-2-Daten anhand einer Schwellenwertmethode bestimmt. Die Summenbildung für die Folgeaufwüchse erfolgte ab dem ersten Tag nach einem Schnittereignis bis zum Erhebungszeitpunkt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Optimierung der Hyperparameter ergab folgendes Modell: size = 30, decay = 1 und bag = 1. Dabei wurde der Root-Mean-Square-Error (RMSE) zur Selektion des besten Modells herangezogen. Der RMSE im Modelltraining ergab 594 kg TM ha^{-1} und das R^2 0,69. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der Modellvalidierung mithilfe eines unbekannten Testdatensatzes. Das R^2 von 0,71 und der RMSE von 577 kg TM ha^{-1} bestätigen die österreichweite Anwendbarkeit des Modells. Der Vergleich der Modellperformance zwischen Modelltraining und Validierung mithilfe des R^2 und des RMSE bestätigt ebenso die Vermeidung eines Overfits und somit die Robustheit des kalibrierten Modells. Der wichtigste Prädiktor im Modell ist der Blattflächenindex, gefolgt von der Globalstrahlung. Die Wasserbilanz konnte am wenigsten zur Modellperformance beitragen, was auf eine generell gute Wasserversorgung im Jahr 2021 auf den untersuchten Standorten hindeutet.

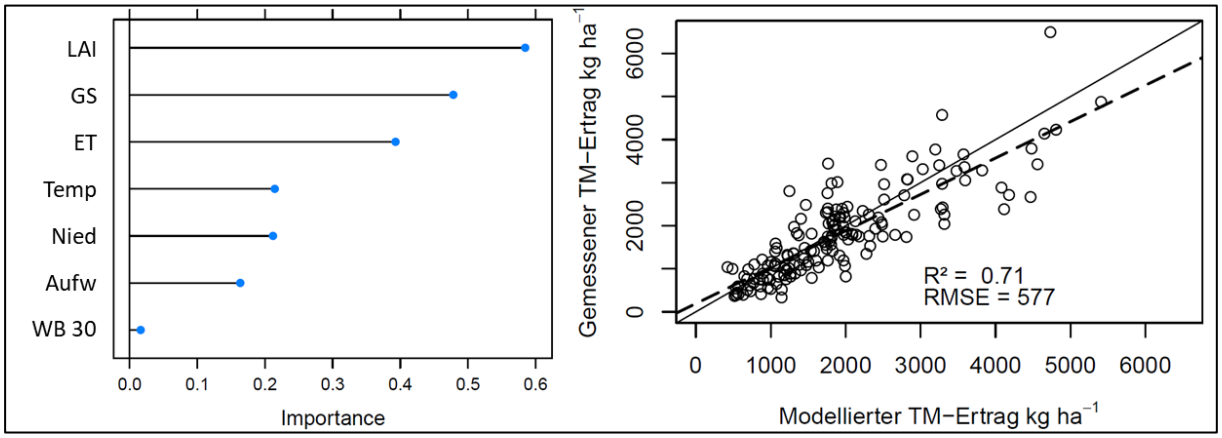


Abbildung 1: **Variable Importance aus dem Modelltraining und Validierungsergebnis auf einen unbekannten Testdatensatz aus dem Jahr 2021**

Die erste österreichweite Ertragsmodellierung zeigt das große Potential des verwendeten Datensatzes und der Methodik. Für eine vollständig automatisierte Ertragsmodellierung ist es des Weiteren notwendig, auch die Schnittzeitpunkte automatisiert zu erfassen. WATZIG et al. (2023) veröffentlichten dazu ein Schnitterkennungsmodell, mit dem auf österreichischen Grünlandschlägen Mahdereignisse mit einer Genauigkeit von ca. 5 Tagen erkannt werden können. Zur weiteren Verbesserung des Modells, auch im Hinblick auf jahresbedingte Ertragsschwankungen, wird der Datensatz laufend ausgebaut. Weiterer Forschungsbedarf ist ebenso in der Modellierung gegeben. Zeitreihenmodelle bzw. Indikatoren zur Beschreibung der Longitudinaldaten können die Modellperformance möglicherweise weiter steigern. Auch in den Sentinel-2-Daten liegt möglicherweise noch Potential, welches durch die Verwendung mehrerer Vegetationskennwerte, berechnet aus den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen, ausgeschöpft werden kann.

Zusammenfassung

Durch die Nutzung von hochaufgelösten Wetter- und Satellitendaten ist es möglich, österreichweit Grünlanderträge mit hoher Genauigkeit zu schätzen. Als Modellinput dienen wichtige agrarmeteorolo-

gische Parameter wie Temperatur, Globalstrahlung, Niederschlag, Evapotranspiration und ein Dürreindikator. Der Blattflächenindex, welcher aus den Sentinel-2-Daten mithilfe der Stahlungstransfermodelle PROSPECT und SAIL berechnet wird, wird ebenso als unabhängige Variable herangezogen. Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung von bis zu 10 Metern der Sentinel-2-Daten, ist es möglich, für die kleinstrukturierten österreichischen Grünlandschläge differenzierte Modellierungsergebnisse zu erzielen. Die unterschiedlich zusammengesetzten Pflanzenbestände als Ergebnis des Standortes und der Bewirtschaftung, einschließlich Düngung und Nutzung, können aufgrund ihrer jeweils spezifischen Reflexionseigenschaften in der Modellierung mithilfe der Satellitendaten differenziert werden. Um die Modellierung zu Vegetationsbeginn starten zu können, ist es notwendig diesen regionsspezifisch zu bestimmen. In dieser Arbeit wird dazu eine Kombination von Wetter- und Sentinel-2-Satellitendaten verwendet. Im Projekt SatGrass findet erstmals eine österreichweite Ertragsschätzung mit ausschließlich frei zugänglichen und vollflächig verfügbaren Wetter- und Satellitendaten statt. Das gewähreistet eine flächendeckende Modellierung ohne Zuhilfenahme externer, eventuell nicht verfügbarer Inputparameter.

Abstract

By utilising high-resolution weather and satellite data, it is possible to estimate grassland yields across Austria with high accuracy for the first time. Important meteorological parameters such as temperature, global radiation, precipitation, evapotranspiration, and drought indicator serve as model inputs. The Leaf Area Index, calculated from Sentinel-2 data using the radiative transfer models PROSPECT and SAIL, is also an independent variable. Due to the high spatial resolution of up to 10 meters provided by ESA's Sentinel-2 data, it is possible to achieve differentiated modelling results for the small-scale Austrian grassland. The differently composed plant communities resulting from the location and management, including fertilisation and utilisation, can be differentiated in the modelling process by their specific reflection properties captured by satellite data. To initiate modelling at the beginning of the vegetation period, it is necessary to determine it field-specific. This study uses a combination of weather and Sentinel-2 satellite data for this purpose. The SatGrass project represents Austria's first nationwide yield estimation model using freely accessible and fully available weather and satellite data. This ensures comprehensive modelling without the need for external input parameters that may not be available.

Literatur

ALLEN RG, PEREIRA LS, RAES D, SMITH M (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Papers. Paper No 56, FAO, Rome, 326 S.
BML (2022): Grüner Bericht 2022 - Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, 288 S.
JACQUEMOUD S, VERHOEF W, BARET F, BACOUR C, ZARCO-TEJADA PJ, ASNER GP, FRANÇOIS C, USTIN SL (2009): PROSPECT + SAIL models: A review of use for vegetation characterization. Remote Sensing of Environment 113, Supplement 1 (0), 56-66.
KUHN, M. (2021): caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-90, https://CRAN.R-project.org/package=caret.
R CORE TEAM (2021): R: A language and environment for statistical computing.
WATZIG C, SCHAUMBERGER A, KLINGLER A, DUJAKOVIC A, ATZBERGER C, VUOLO F (2023): Grassland cut detection based on Sentinel-2 time series to respond to the environmental and technical challenges of the Austrian fodder production for livestock feeding. Remote Sensing of Environment 292, 113577.

Adressen der Autoren

[1] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Irdning-Donnersbachtal

[2] Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Geomatik, Wien

3 GeoSphere Austria, Wien

[*] Ansprechpartner: DI Andreas KLINGLER, andreas.klingler@raumberg-gumpenstein.at

Verbesserte Vorhersage von Kohlenstoff-Sequestrierung auf österreichischen landwirtschaftlichen Böden anhand von Multi-Modell Ensembles

Enhanced prediction of soil organic carbon sequestration potentials in Austrian agricultural soils with multi-model ensembles

Luca Giuliano Bernardini[1*], Katharina Keiblinger[2], Christoph Rosinger[2, 3], Gernot Bodner[3]

Introduction

Soil organic carbon (SOC) is a vital component of soil health and functionality, comprised of plant and animal litter, microbial biomass, and their by-products in different stages of decomposition. However, the long history of agricultural exploitation has led to significant degradation of agricultural soils and a drastic decline in SOC stocks. Arable land has seen SOC stocks approximately halved (MINASNY et al. 2022), making soils one of the world's most vulnerable resources. Despite the challenges associated with low or decreasing SOC stocks, efforts are underway to improve soil management and restore degraded soils, with a focus on increasing SOC stocks and promoting sustainable agricultural practices.

Modeling SOC stock estimates and their dynamics has become a useful approach where sampling is not possible or economically viable, or for the prediction of SOC dynamics under future climate change and shifting management scenarios. A wide array of SOC models has been developed over the last decades. Models differ in their complexity, assumptions and performance, which makes the selection of an appropriate model more difficult. In a recent publication, the use of multi-model ensembles to predict SOC dynamics as used in other scientific domains was successfully applied by RIGGERS et al. (2019) based on permanently monitored agricultural sites in Germany. In line with this approach, we performed a similar analysis based on long term field experiments in Austria by using four SOC models and five allometric functions to determine the appropriate multi model ensemble for future regionalized modelling.

Materials and Methods

SOC models: All multi-compartment models with first-order decomposition kinetics can be written as a matrix (size of n pools x n pools), with the diagonals containing the decay rates and off-diagonals containing the transfer rates between pools. SOC dynamics can therefore be written as:

Equation 1: $$\frac{dC(t)}{dt} = I(t) + A(t)C(t)$$

where C(t) is a vector of model carbon pools at time t, A(t) a square matrix with time dependent decomposition rates and transfer coefficients and I(t) a vector describing the C input as a function of time.
The four selected models are multi compartment, process-based models described extensively – among others – in RIGGERS et al. (2019). The initialization procedures were applied as described in the former publication to minimize differences. Briefly:
(i) The *Rothamstead Carbon Turnover Model (RothC)* is a five-pool model, with one inert C pool. Incoming carbon inputs are split into decomposable and resistant plant material, which themselves decompose into microbial biomass, humified organic matter and CO_2. Decomposition rates are influenced by temperature, precipitation, evaporation, soil cover and clay content (COLEMAN et al. 1997).
(ii) The *Introductory Carbon Balance Model (ICBM2)* consists of two "young" pools with different transfer rates (humification coefficients) and equal decay rates, and an old pool with its own decay rate. These decay rates are influenced by temperature and a simple soil water balance (KÄTTERER und ANDRÉN 2001; POPELAU et al. 2015)
(iii) The *C-TOOL* consists of a topsoil and subsoil module with a fresh, humified and resistant OM pools in each of them. We focus on the topsoil module (0-25 cm) without accounting for vertical transport. The decay rates are influenced by soil temperature alone, while the transfer rates are affected by clay content (TAGHIZADEH-TOOSI et al. 2014).

(iv) *Yasso07* consists of five pools, four of which represent the chemical quality of the litter input as well as a humus pool which represents more resistant SOM. In this model, clay content does not affect SOC dynamics, only precipitation and temperature (TUOMI et al. 2009).
Allometric functions estimate carbon inputs into soil based on relationships with often available agricultural data, such as yield DM. Since these methods differ in their calibration datasets, the results can vary significantly. KEEL et al. (2017) showed a high uncertainty in SOC models based on allometric function choice. The five allometric functions selected in this study are based on KEEL (2017) and RIGGERS (2019): Bolinder, BZE, IPCC, CCB, C-Tool.
LTE sites: This study used data from six long-term field experiments on arable land in Austria (Styria, Lower and Upper Austria) with a total of 53 treatment variants from available publications (ANGELES MUÑOZ and ZORNOZA 2018; ANTIL et al. 2005; LEHTINEN et al. 2017; SPIEGEL et al. 2007; SPIEGEL et al. 2010). The duration of the experiments ranged from 10 to 32 years. Clay contents ranged from 7% to 25%, while SOC ranged from 0,9% to 3,9 %. Treatments in this study include removal and incorporation of crop residues, organic amendments, mineral fertilization and different tillage intensities (Fig. 1).
Model evaluation: Model evaluation was carried out based on linear trends to reduce the impact of different experimental durations. Root mean square error (RMSE), mean error (ME) and mean absolute error (MAE), which are sensitive to systemic, single site and absolute deviations, respectively, were calculated as described in RIGGERS et al. (2019).
Model implementation: All models were implemented in the statistical software R (R CORE TEAM 2022) using the package sorcering *(*SCHERSTJANOI and DECHOW 2023*)*, which allows the efficient implementation of the general SOC models based on equation 1.

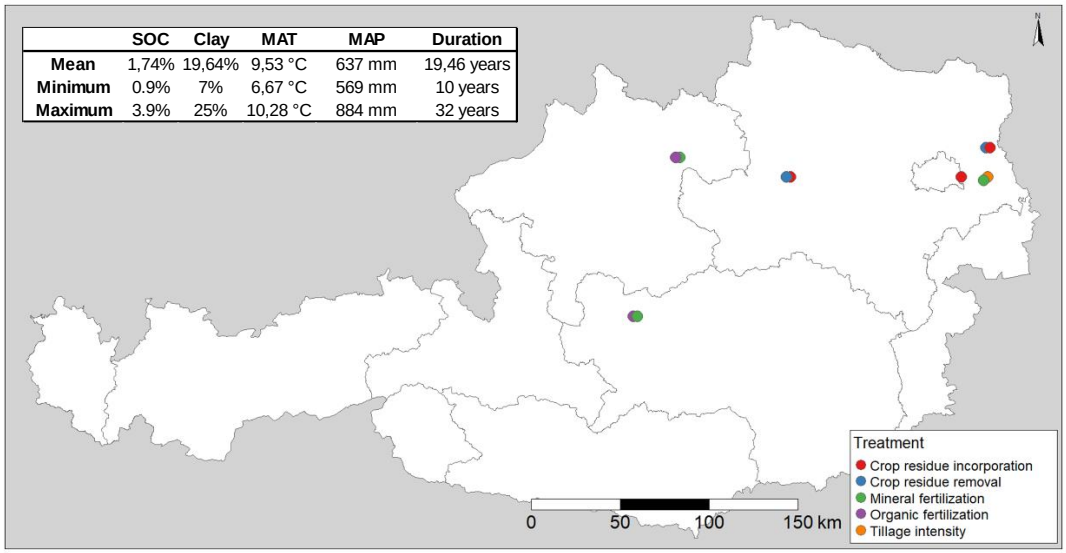


Figure 1: **Long-term experimental sites in Austria used for validation of the multi-model ensemble. The horizontally overlapping points indicate the same site but different treatments for enhanced visualization.**

Results and discussion

Based on crop yield data from LTEs mean C inputs estimated by allometric functions ranged from 1.82 Mg C ha^{-1} (IPCC) to 3.70 Mg C ha^{-1} (C-Tool); a one-way ANOVA revealed that means differed significantly ($p < 0.001$). Post-hoc LSD test revealed that all means differed between allometric functions, except between BZE and Bolinder. These large differences between allometric functions are consistent with the findings of KEEL et al. (2017) and RIGGERS et al. (2019) and are related to different assumptions, such as considering root exudates and constant C:N ratios in plant biomass as well as the datasets these functions were developed from.
Contrary to the findings in RIGGERS et al. (2019), a majority (60 %) of ensemble members slightly underestimated SOC trends (Fig. 2), which can be attributed to lower carbon inputs estimated in this study. Model errors ranged from -0.348 Mg C ha^{-1} yr^{-1} with ICBM_CCB to 0.465 Mg C ha^{-1} yr^{-1} with RothC_C-Tool. RMSE ranged from 0.229 Mg C ha^{-1} yr^{-1} (Yasso07_IPCC) to 0.661 Mg C ha^{-1} yr^{-1}

(RothC_Ctool) and was 0.409 Mg C ha^{-1} yr^{-1} on average. AME was on average 0.343 Mg C ha^{-1} yr^{-1}, exhibiting the same pattern as RMSE, with 0.212 Mg C ha^{-1} yr^{-1} with Yasso07_IPCC and 0.591 Mg C ha^{-1} yr^{-1} for RothC_Ctool.

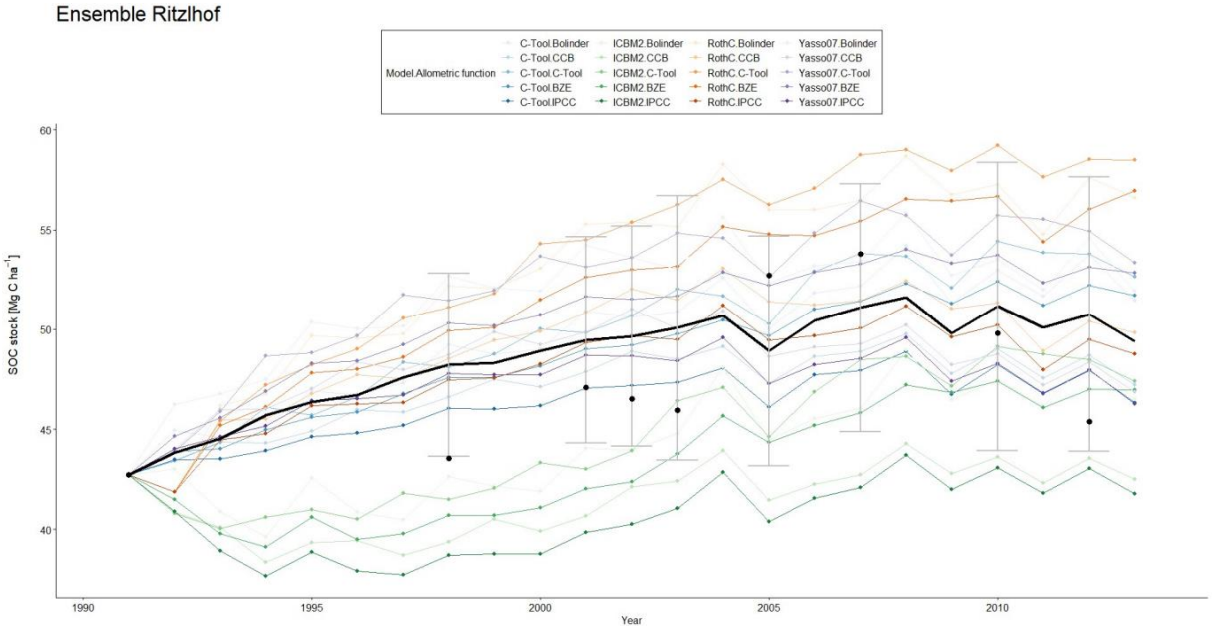


Figure 2: **Mean SOC stock dynamics from 1992-2012 of the organic amendment long term experiment at Ritzlhof (n treatments = 12) as predicted by the 20 model combinations. The bold, dark line displays the SOC dynamics as predicted by the selected multi-model ensemble. Gray whiskers indicate the confidence interval of the modeled time series at the time of measurement. The dark, bold points display the mean measured SOC value reported in the publication.**

A two-way ANOVA showed model errors to be significantly dependent on both model and allometric function choice ($p < 0.001$). The effect size on model error was larger for model choice than for allometric function, with Eta^2 of 0.13 and 0.07, respectively.
The total model ensemble (n = 20) had an AME of 0.264 Mg C ha^{-1} yr^{-1}, and an RMSE of 0.317 Mg C ha^{-1} yr^{-1}, outperforming 85% and 90% of the single SOC model and allometric function combinations, respectively (Fig. 2), as well as performing better than the mean of each model. The iterative selection process yielded a final ensemble of four members, with an AME of 0.167 and RMSE of 0.250, which represent an improvement of 36,7% and 21,1% compared to the full ensemble, respectively.

The adoption of multi-model ensembles for SOC estimation within the soil science community has increased in the last decade (RIGGERS et al. 2019; BRUNI et al. 2022; FARINA et al. 2022), but its use has not been consolidated yet (BRUNI et al., 2022). The added value of this practice is reflected by the improved estimates trough the relative independence of model errors, and an uncertainty range in line with our current understanding of SOC processes due to structural differences in the models (BRUNI et al., 2022). Despite the results of this study confirming the improved prediction of SOC dynamics in arable soils using MME, the obtained results could be further improved by using more models in the ensemble or by local/regional parametrization. While RIGGERS et al. (2019) argues against model parametrization due to the complexity involved, especially when applying these models in the parametrized/evaluated regions (e.g., temperate zone) and the appropriate allometric function is unknown, recent publications suggest that increasing the number of SOC models to ~ 10 when not parametrized (FARINA et al., 2022) is necessary to obtain reliable results. Alternatively, SOC models in the ensemble can be parametrized regionally based on LTEs, which improves predictions, decreases the number of required models in the ensemble to ~ 3-4 and reduces uncertainties (BRUNI et al., 2022; FARINA et al., 2022).

Finally, the results of this study show that large uncertainties are associated with SOC model and allometric function selection. We therefore suggest that significant improvements, in terms of RMSE, AME and ME, can be achieved by using multi-model ensembles for the modeling of SOC sequestration

potentials. These results emphasize the usefulness of MMEs and add to the growing list of research underlining the way forward towards a more robust and precise SOC modeling approach required in a changing world, for decision-makers, researchers, and practitioners alike.

Zusammenfassung

Um Vorräte an Kohlenstoff (Corg) in Ackerböden auf nationaler Ebene abschätzen zu können, sind Modellierungsansätze erforderlich. In den letzten Jahrzehnten wurde eine breite Palette von Corg-Modellen entwickelt und weltweit validiert. Diese Modelle haben alle ihre eigenen Vor- und Nachteile sowie Unsicherheiten. Um Unsicherheiten zu verringern können Multimodell-Ensembles (MME) genutzt werden. Ziel dieser Studie ist es, das optimale MME zu bestimmen, um Schätzfehler in zukünftigen Studien zu reduzieren. Daher wurde eine Kombination aus vier Corg-Modellen (RothC,Yasso07,ICBM und CTOOL) und fünf veröffentlichten allometrischen Funktionen durch den Vergleich von Simulationen mit Daten aus nationalen Langzeitexperimenten bewertet, um eine mögliche optimale Kombination für künftige Corg-Modellierungsstudien in Österreich zu erhalten .Die Bewertung erfolgte durch die Berechnung des AME, des RMSE und des ME für die jährlichen Corg-Änderungen, um die Auswirkungen der unterschiedlichen Versuchsdauern auf die Modellbewertung zu eliminieren. Wir zeigen, dass sich die Modelle in ihren Prognosen stark unterscheiden und dass unser ausgewähltes MME die Schätzungen des Corg im Vergleich zu einzelnen Modellläufen mit deutlich geringeren AME und RMSE stark verbessert hat. Dies steht im Einklang mit unlängst publizierten Ergebnissen und zeigt einen Weg zu einer genaueren Modellierung auf. Wir empfehlen daher, dass MME zur Schätzung der Corg-Vorräte in Ackerböden in Österreich aufgrund der höheren Genauigkeit gegenüber Einzelmodellansätzen bevorzugt werden sollten.

Abstract

To estimate SOC stocks and their dynamics in arable soils on a national scale, modeling approaches are required. In the last decades, a wide range of SOC models has been developed and validated worldwide. These models all have their own advantages, disadvantages, and uncertainties. To reduce uncertainties, multi-model ensembles (MME) can be used. The objective of this study was to determine the optimal MME to reduce estimation errors in future studies estimating SOC stocks in arable land. Therefore, a combination of four SOC models (RothC, Yasso07, ICBM and CTOOL) and five published allometric functions was evaluated by comparing simulations with data from national long-term experiments to obtain a possible optimal combination for future SOC modeling studies in Austria. The evaluation was performed by calculating the AME, RMSE and ME for the annual SOC changes to eliminate the effects of different experimental durations on model evaluation. We show that the models differed greatly in their predictions and that our selected MME greatly improved SOC estimates compared to individual model runs with significantly lower AME and RMSE. This is consistent with published results and indicates a pathway to more accurate modeling. We therefore recommend that MMEs should be preferred over single model approaches for estimating SOC stocks in arable soils in Austria due to their higher accuracy.

Literatur

ÁNGELES MUÑOZ M., ZORNOZA R. (2018): Soil Management and Climate Change: Effects on Organic Carbon, Nitrogen Dynamics, and Greenhouse Gas Emissions.

ANTIL R S, GERZABEK MH, HABERHAUER G, EDER G (2005): Long-term effects of cropped vs. fallow and fertilizer amendments on soil organic matter. I. Organic carbon. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168(1), 108–116.

BRUNI E, CHENU C, ABRAMOFF RZ, BALDONI G, BARKUSKY D, CLIVOT H, HUANG Y, KÄTTERER T, PIKUŁA D, SPIEGEL H, VIRTO I, GUENET B (2022): Multi-modelling predictions show high uncertainty of required carbon input changes to reach a 4‰ target. European Journal of Soil Science, 73(6).

COLEMAN K, JENKINSON DS, CROCKER GJ, GRACE PR., KLIR J, KORSCHENS M, POULTON PR, RICHTER DD (1997): Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. Geoderma 81 (1–2), 29–44.

FARINA R., SÁNDOR R, ABDALLA M, ÁLVARO-FUENTES J, BECHINI L, BOLINDER MA, BRILLI L, CHENU C, CLIVOT H, DE ANTONI MIGLIORATI M, DI BENE C, DORICH CD,

EHRHARDT F, FERCHAUD F, FITTON N, FRANCAVIGLIA R., FRANKO U, GILTRAP DL, GRANT BB, … BELLOCCHI G (2021): Ensemble modelling, uncertainty and robust predictions of organic carbon in long-term bare-fallow soils. Global Change Biology, 27(4), 904–928.
KÄTTERER T, ANDRÉN O (2001): The ICBM family of analytically solved models of soil carbon, nitrogen and microbial biomass dynamics-descriptions and application examples. In Ecological Modelling(Vol.136).
KEEL SG, LEIFELD J, MAYER J, TAGHIZADEH-TOOSI A, OLESEN JE (2017): Large uncertainty in soil carbon modelling related to method of calculation of plant carbon input in agricultural systems. European Journal of Soil Science, 68(6), 953–963.
LEHTINEN T, DERSCH G, SÖLLINGER J, BAUMGARTEN A, SCHLATTER N, AICHBERGER K, SPIEGEL H (2017): Long-term amendment of four different compost types on a loamy silt Cambisol: impact on soil organic matter, nutrients and yields. Archives of Agronomy and Soil Science, 63(5), 663–673.
MINASNY B, ARROUAYS D, CARDINAEL R, CHABBI A, FARRELL M, HENRY B, KOUTIKA LS, LADHA JK, MCBRATNEY AB, PADARIAN J, ROMÁN DOBARCO M, RUMPEL C, SMITH P, SOUSSANA JF (2022): Current NPP cannot predict future soil organic carbon sequestration potential. Comment on "Photosynthetic limits on carbon sequestration in croplands. Geoderma, 424.
POEPLAU C, KÄTTERER T, BOLINDER MA, BÖRJESSON G, BERTI A, LUGATO E (2015): Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments. Geoderma, 237, 246–255.
R CORE TEAM (2022): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.
RIGGERS C, POEPLAU C, DON A, BAMMINGER C, HÖPER H, DECHOW R (2019): Multi-model ensemble improved the prediction of trends in soil organic carbon stocks in German croplands. Geoderma, 345, 17–30.
SCHERSTJANOI M, DECHOW R (2023): _sorcering: Soil Organic Carbon and CN Ratio Driven Nitrogen Modelling Framework_. R package version 0.9.2.3, <https://CRAN.R-project.org/package=sorcering>.
SPIEGEL H, DERSCH G, BAUMGARTEN A, HÖSCH J (2007): Tillage effects on soil organic carbon and nutrient availability in a long-term field experiment in Austria. Die Bodenkultur 58, 47-58.
SPIEGEL H, DERSCH G, BAUMGARTEN A, HÖSCH J. (2010). The international organic nitrogen long-term fertilisation experiment (IOSDV) at Vienna after 21 years. Archives of Agronomy and Soil Science, 56(4), 405–420.
TAGHIZADEH-TOOSI A, CHRISTENSEN BT, HUTCHINGS NJ, VEJLIN J, KÄTTERER T, GLENDINING M, OLESEN JE (2014): C-TOOL: a simple model for simulating whole profile carbon storage in temperate agricultural soils. Ecol. Model. 292, 11–25.
TUOMI M, THUM T, JÄRVINEN H, FRONZEK S, BERG B, HARMON M, TROFYMOW JA, SEVANTO S, LISKI J (2009): Leaf litter decomposition-Estimates of global variability based on Yasso07 model. Ecological Modelling, 220(23), 3362–3371.

Adressen der Autoren

[1] FFoQSI GmbH

[2] Institute of Soil Research, University of Natural Resources and Applied Life Sciences - BOKU, Austria

[3] Institute of Agronomy University of Natural Resources and Applied Life Sciences - BOKU, Austria

[*] Ansprechpartner: Luca Giuliano BERNARDINI, MSc, luca.bernardini@ffoqsi.at

Teilflächenspezifische Aussaat bei Mais - Nutzen und Vorteile für den Landwirt

Precision seeding of corn - benefits and advantages for the farmer

Albert Müllner[1], Robert Sinn[1], Hannes Prankl[2], Andreas Prankl[2], Markus Gansberger[3], Fabian Butzenlechner[3], Roman Weinhappl[4]

Einleitung

Die teilflächenspezifische Aussaat hat zum Ziel das Betriebsmittel Saatgut so effizient wie möglich am Acker zu verteilen, um die Versorgung der Einzelpflanze zu optimieren und den Gesamtertrag sowie die Ertragssicherheit auf einer Fläche zu steigern (vgl. MUNAF et al. 2020, RUTT K. 2021). Es gilt zu untersuchen, unter welchen Umwelten und Bedingungen die teilflächenspezifische Maisaussaat ertragsvorteile im Vergleich zur herkömmlichen Maisaussaat, sprich konstanten Aussaatstärke bringen kann und wie diese monetär bewertet werden kann. Als Grundlage dienen Feldversuche an 12 Standorten in den Jahren 2020, 2021 und 2022 verteilt über Gunstlagen und Trockengebiete in Österreich.

Material und Methoden

Das Wachstum der Maispflanzen korreliert eng mit den Bodennährstoff- und Bodenwassergehalten, weshalb von der SAATBAU LINZ zu allen Sorten Saatstärkeempfehlungen je nach Region, Bodenbeschaffenheit und Wasserversorgung abgegeben werden. Da die Maispflanze über die verschiedenen Ertragskomponenten wie Pflanzenanzahl, Kolben pro Pflanze, Kornzahl pro Kolben und TKG unterschiedliche Umweltbedingungen ausgleichen kann, ist die empfohlene Saatstärke immer ein Produkt aus Ausschöpfung des Ertragspotenzials, Trockenheitstoleranz, Standfestigkeit und Saatgutkosten.
Die Bodenqualität innerhalb eines Feldes ist selten homogen, bessere Wasserversorgung auf Teilen des Feldes kann höhere Saatstärken je nach gewählter Sorte in deutliche Mehrerträge umsetzen. Niedrigere Saatstärken auf sehr trockenen Teilen des Feldes verbessern die Stresstoleranz und Trockenheitsverträglichkeit des Maisbestandes. Precision Seeding bei Mais ermöglicht in Verbindung mit einer an das Feldstück angepassten Sortenempfehlung deutlich differenzierte Bestandesdichten auf ein und demselben Feld, basierend auf Bodenbeschaffenheit, Ertragsniveau und mehrjährigen Wetterdaten der jeweiligen Feldstückszonen. Die Ausgangssituation in Österreich erfordert aufgrund der Boden- und Klimaunterschiede ein breites und mehrjähriges Versuchsnetz, um Umwelten abzutesten, siehe Abbildung 1.

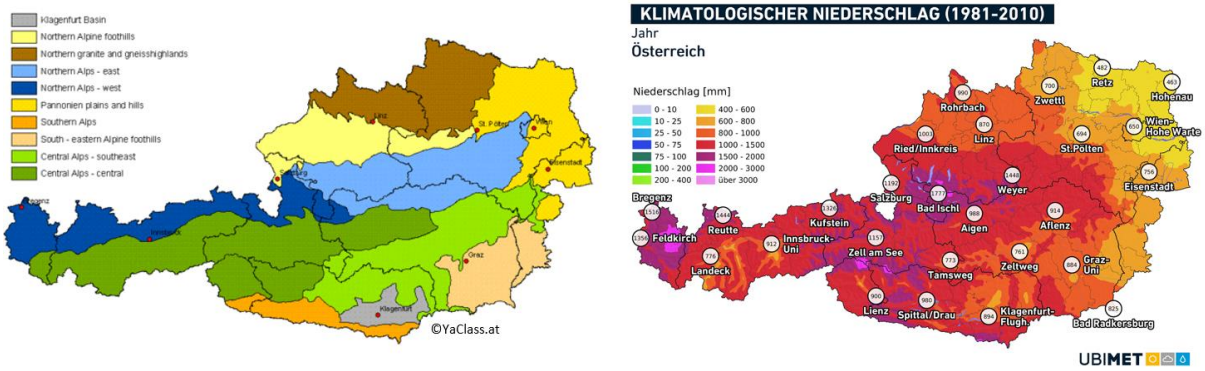


Abbildung 1: **Bodenausgangsmaterial (links) und Temperatur/Niederschlag (rechts) Österreich.**

Die Applikationskarten widerspiegeln das Ertragspotenzial der Teilflächen des jeweiligen Feldstücks. Sie werden aus mehrjährigen Satellitendaten (Sentinel 2 Satelliten der ESA) erstellt die Aufwuchs- bzw. Biomasseunterschiede in einem Raster von 10 x 10 m erkennen. Ziel bei der Erstellung der Teilflächenkarten ist es, Bereiche mit konstant niedrigen Erträgen über mehrere Jahre von Bereichen mit höheren Erträgen zu trennen.

Dazu werden Vegetationsindizes wie der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) oder der Leaf Area Index (LAI) aus Satellitendaten berechnet (vgl. Weiss, 2016) und über einen Zeitraum von

mehr als 5 Jahren gemittelt. Durch die Auswertung mehrerer Jahre wird der Einfluss von Witterungseffekten, überdurchschnittlichen Niederschlagsperioden oder trockenen Jahren minimiert und überwiegend witterungsunabhängige Bodenverhältnisse abgebildet.

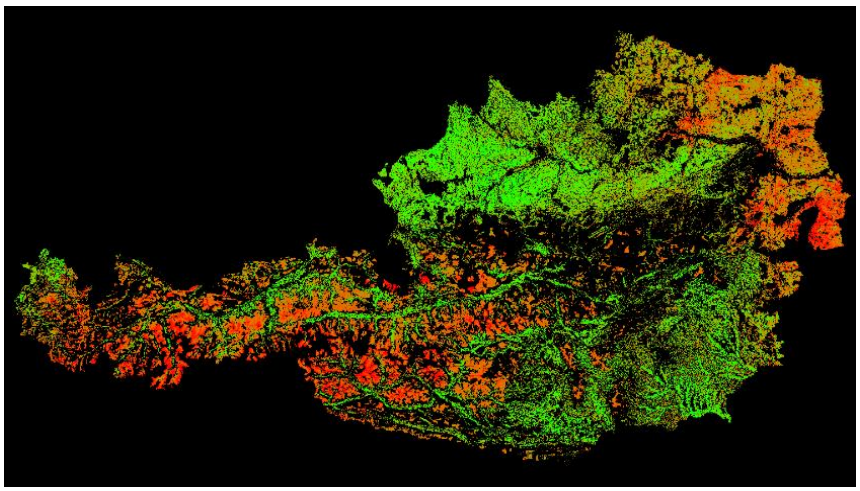


Abbildung 2: **Blattflächenindex (LAI) für Mais berechnet aus max. LAI von 5 Jahren**

Abbildung 2 zeigt eine LAI-Auswertung über 5 Jahre. Je nach Heterogenität des Feldes wird meist in drei bis neun unterschiedliche Ertragszonen unterteilt und die Saatstärke, ausgehend von einer Basissaatstärke auf den besseren Zonen, entsprechend erhöht, bzw. auf den schwächeren Zonen abgesenkt. Die Kompetenz der SAATBAU LINZ in Kooperation mit FARMDOK liegt darin, aus der Flut an Daten Signalwerte und Basisdaten herauszufiltern und darauf aufbauend die richtigen Entscheidungen zur Erstellung der Applikationskarten zu treffen.
Die Basisarbeiten, welche über drei Jahre mit der Innovation Farm Wieselburg erarbeitet wurden, liegen in der Anlage und Auswertung der pflanzenbaulichen Versuche über ganz Österreich, siehe Abbildung 3. Das breite Versuchsnetz war wichtig, da in den Jahren 2020-2022 Hitze und Trockenheit und damit einhergehende Niederschlagsdepressionen regional sehr unterschiedlich auftraten.

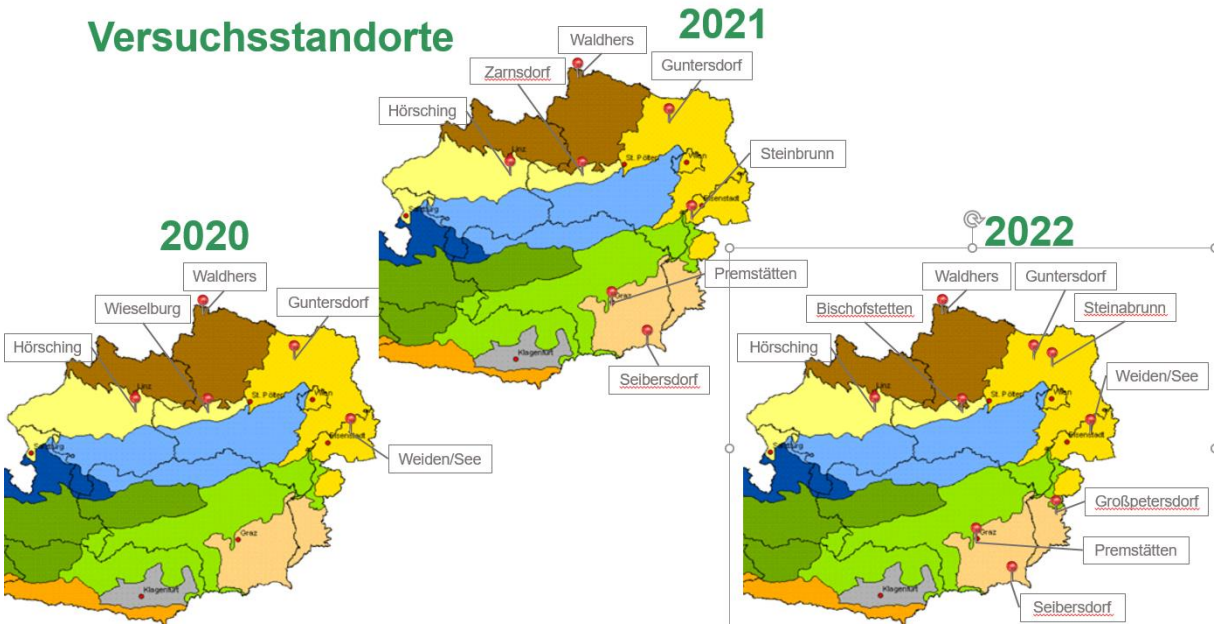


Abbildung 3: **Versuchsstandorte für die teilflächenspezifische Aussaat von Mais**

Die Teilparzellen mit teilflächenspezifischer Saatstärke (anhand der Werte aus den Precision Seeding Karten) werden mit Parzellen mit fixen Bestandesdichten über die gesamte Vegetation verglichen, beo-

bachtet und schlussendlich im Herbst der Ertrag ausgewertet. Voraussetzung ist, dass auf den vergleichenden Parzellen, sowohl in der teilflächenspezifischen als auch in der Variante mit konstanter Saatstärke, immer die gleiche Gesamtmenge an Saatgut pro Hektar verwendet wird. Dadurch werden die Saatgutkosten für den Landwirt konstant gehalten und die Wirtschaftlichkeit kann über die Ertragsauswirkung beurteilt werden.
Die Saatgutmenge pro Hektar wird nur innerhalb der teilflächenspezifischen Parzelle anhand der Precision Seeding Karte variiert und damit dem Ertragsvermögen der Teilfläche angepasst. Die Versuchsvarianten wurden je nach Jahr und Standort mit bis zu sechs Wiederholungen auf demselben Feld angelegt, wobei immer die teilflächenspezifische Variante mit einer unmittelbar danebenliegenden konstanten Variante verglichen wurde. Ziel der Versuche war und ist es zu analysieren, wie sich der Gesamtertrag entwickelt, aber auch wie der Bestand in den unterschiedlichen Ertragszonen des Feldes auf die differenzierte Saatstärke reagiert.

Ergebnisse und Diskussion

Im Vergleich zu 2020 mit überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen, 2021 mit knapp ausreichenden Niederschlägen war vor allem 2022 regional sehr trocken und heiß. Daher die auch durchaus differenzierenden Ergebnisse der Versuche in den einzelnen Versuchsjahren. Auch die monetäre Auswertung der Mehrerträge bringt starke Differenzen zu Tage, da die höchsten Mehrerträge in den trockenen, stressigen Jahren für die Maispflanze anfallen, wo zumeist auch deutlich bessere Maispreise erzielt werden können. In Abbildung 4 ist ersichtlich, dass in allen Jahren über alle Standorte Mehrerträge erzielt wurden.

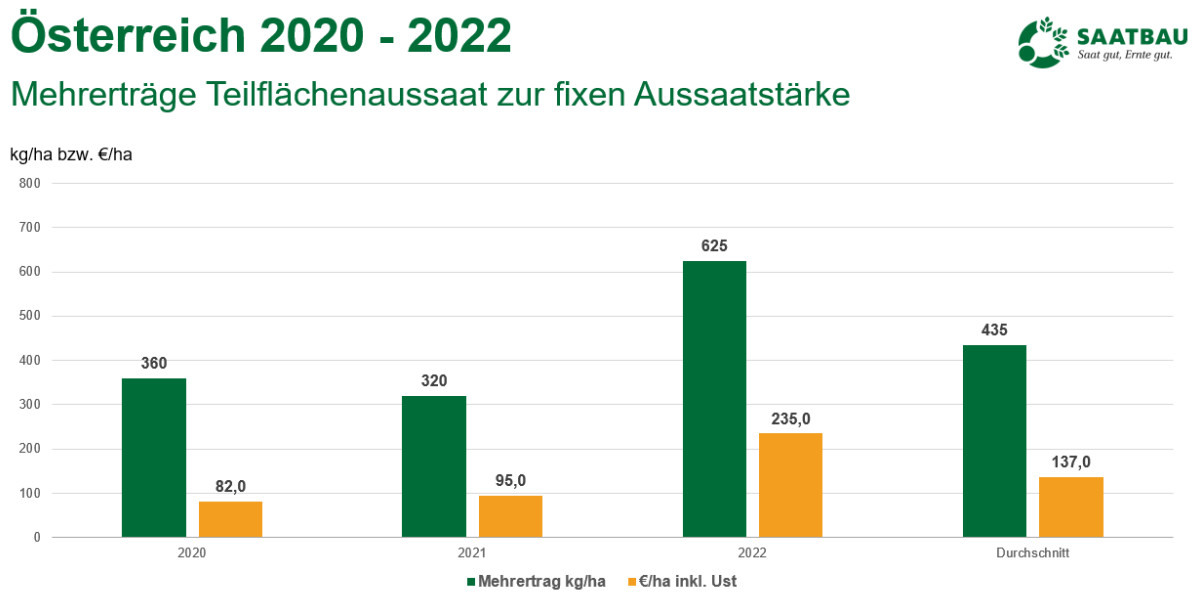


Abbildung 4: **Mehrerträge Teilflächenspezifische Maisaussaat im Vergleich zur fixen Aussaatstärke**

Zusammengefasst ergeben sich in jedem Versuchsjahr deutliche Mehrerträge der Parzellen, die nach den Precision Seeding Karten ausgesät wurden im Vergleich zu den Parzellen mit fixen Saatstärken (wohlgemerkt – immer mit gleichen Saatgutmengen und -kosten auf die Gesamtparzelle, jedoch besser verteilt). Diese Mehrerträge schwankten auf den Einzelstandorten von 58 kg/ha in Wieselburg im Jahr 2021 bis zu 1.183 kg/ha in Seibersdorf im Jahr 2022.

Diese enormen Schwankungen deuten auf einen Zusammenhang zwischen der Niederschlagsabweichung vom langjährigen Mittel und der Ertragssteigerung der variablen Maisaussaat hin. In Regionen mit generell geringen Jahresniederschlägen, aber auch in Regionen mit hohen Niederschlagsdefiziten

kann die variable Maisaussaat einen deutlichen Mehrwert zur Ertragssicherung bringen. In allen 3 Jahren konnten wir einen Trend in diese Richtung erkennen. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, war dies im Jahr 2020 in Blau der Fall, im Jahr 2021 in Pink und im Jahr 2022 in Grün.

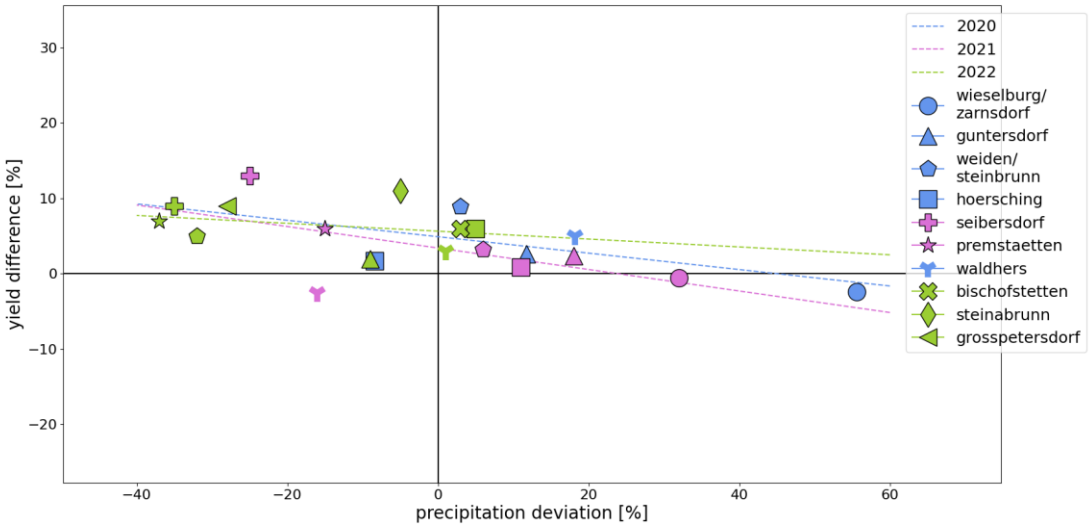


Abbildung 5: **Zusammenhang Niederschlagabweichung in Vegetationsperiode zur Vorzüglichkeit der teilflächenspezifischen Maisaussaat**

Zusammenfassung

Die teilflächenspezifische Aussaat ermöglich differenzierte Bestandesdichten auf ein und demselben Feld, basierend auf Bodenbeschaffenheit, Ertragsniveau und mehrjährigen Wetterdaten der jeweiligen Feldstückszonen. Je nach Heterogenität des Feldes wird meist in drei bis neun unterschiedliche Ertragszonen unterteilt und die Saatstärke, ausgehend von einer Basissaatstärke auf den besseren Zonen, entsprechend erhöht bzw. auf den schwächeren Zonen abgesenkt. Die Versuchsergebnisse aus den vergangenen drei Jahren zeigen, dass in jedem Versuchsjahr Mehrerträge durch Anwendung einer Precision Seeding Karte im Vergleich zur fixen Saatstärken am Feld erzielt worden sind. Vor allem in trockenen Jahren sind die Unterschiede sehr deutlich zu Gunsten der Teilflächenbewirtschaftung.

Die Landwirtschaft steht vor enormen Herausforderungen. Der Trend von zunehmend trockenen Vegetationsperioden und Wetterextremen beschleunigt ein Umdenken in der Landwirtschaft. Alternative Anbaumethoden zur besseren Nutzung vorhandener Wasservorräte sind notwendig, um nachhaltig wirtschaftliche Erträge einzufahren. Dazu kann die teilflächenspezifische Aussaat beitragen, bei gleichen Inputkosten eine Ertragssicherung in Trockengebieten und Trockenperioden zu ermöglichen. Die Digitalisierung kann helfen, die zukünftigen Herausforderungen der Landwirtschaft zu besser bewältigen.

Abstract

The site-specific sowing enables different stand densities in one and the same field, based on soil conditions, yield level and multi-year weather data of the respective field section zones. Depending on the heterogeneity of the field, it is usually divided into three to nine different yield zones and the seed rate, starting from a base seed rate in the better zones, is increased accordingly or reduced in the weaker zones. The test results from the past three years show that in each test year additional yields were achieved by using a precision seeding map compared to fixed seed rates in the field. Especially in dry years, the differences are very clear in favor of partial area management.

Agriculture faces enormous challenges. The trend towards increasingly dry vegetation periods and extreme weather is accelerating a rethink in agriculture. Alternative cultivation methods for better use of existing water resources are necessary to bring in sustainable economic yields. Site-specific sowing can contribute to this, enabling yield security in dry areas and dry periods with the same input costs. Digitization can help to meet future challenges in agriculture.

Literatur

Rutt K. (2021): Was bringen variable Saatstärken? In: DLG-Mitteilungen 3/2021, 86-87.
Munaf M.A, Haesaert G, Van Meirvenne M, Mouazen A.M, 2020: Site-Specific seeding using multi-sensor and data fusion techniques: A review. Advances in Agronomy, 161, 241-323.
Xiuliang Jin, Zhenhai Li, Haikuan Feng, Zhibin Ren, Shaokun Li, Deep neural network algorithm for estimating maize biomass based on simulated Sentinel 2A vegetation indices and leaf area index. The Crop Journal, Volume 8, Issue 1, 2020, Pages 87-97, ISSN 2214-5141.
Marie Weiss, Fred Baret (2016): S2ToolBox Level 2 products:LAI, FAPAR, FCOVER
Version 1.1, https://step.esa.int/docs/extra/ATBD_S2ToolBox_L2B_V1.1.pdf abgerufen am 12.5.2023
Klinger A., Schaumberger A.: Modellierung von Grünlanderträgen mittels Fernerkundungs- und Wetterdaten. ALVA-Tagungsband 2021.

Adressen der Autoren

[1] Saatbau Linz eGen, Schirmerstraße 19, 4060 Leonding

[2] Farmdok GmbH, Krügling 7, 3250 Krügling

[3] Innovation Farm Wieselburg, Rottenhauser Strasse 1, 3250 Wieselburg

[4] Väderstad, Hammerschmied GmbH, Hammerschmiedstraße 1, 2013 Göllersdorf

Update zu Feld- und Lagerpilzflora in Heuproben aus Österreich

Update fungal flora afield resp. on storage of Austrian hay

Reinhard Resch[1*], Gerald Stögmüller[2], Andreas Adler[3]

Einleitung

Aktuell nehmen in Österreich ca. 7.000 Milchviehbetriebe an der ÖPUL-Maßnahme UBB-Topup „Heuwirtschaft“ (früher Silageverzicht) teil, d.h. diese LandwirtInnen haben als Grundfutterbasis ausschließlich Grünfutter bzw. Heu und Grummet zur Verfügung. Nach RESCH (2022) beträgt der Heuanteil an den gesamten Grundfutterkonserven ca. 20 %. Die traditionelle Bodentrocknung von Grünlandfutter nutzt ausschließlich die Sonnenenergie zur Futtertrocknung. Dieses Verfahren braucht die längste Feldphase für die Vortrocknung und trägt daher das größte Wetterrisiko. Außerdem erhöhen Trockenmassegehalte von ca. 800 g/kg Frischmasse (FM) bei der Ernte die Wahrscheinlichkeit von Qualitätsverlusten durch Abbröckelung der Blattmasse (DULPHY 1987) und auch das Risiko einer massiven Vermehrung von verderbanzeigenden Schimmelpilzen im feuchten und warmen Substrat (KASPERSSON et al. 1984). Erhitzung von Heustock bzw. Heuballen und die Schimmelpilzvermehrung auf dem Lager stehen meist in Zusammenhang mit dem Wassergehalt des Ernteguts und einer unzureichenden Effizienz des angewendeten Trocknungsverfahrens (ADLER *et al.* 2014). Die Heubelüftungstrocknung brachte nach RESCH et al. (2014) im Durchschnitt eine tendenziell positive Wirkung hinsichtlich Senkung der Keimgehalte an verderbanzeigender Lagerpilzflora. Im bundesweiten LK-Heuprojekt 2022 wurden in Österreich von 456 Heuproben aus der Praxis das Management der Heukonservierung abgefragt sowie chemische und mikrobiologische Laboruntersuchungen durchgeführt (RESCH und STÖGMÜLLER 2023), um Beziehungen zwischen Management und qualitativen Parametern auswerten und die Ergebnisse jenen von RESCH et al. (2019) vergleichend gegenüberstellen zu können.

Material und Methoden

Die mikrobiologische Untersuchung der Heuproben der Feld- und Lagerpilzflora erfolgte nach Methode 28.1.2 (VDLUFA 2012a) im Futtermittellabor Rosenau der LK Niederösterreich. Bei der Probenvorbereitung wird die Heuprobe mit einer Schere zerkleinert. Mit einer gepufferten Peptonlösung werden eine Ausgangssuspension und danach eine Verdünnungsreihe hergestellt. Von geeigneten Verdünnungsstufen werden Keimzählplatten nach dem Oberflächenverfahren mit einem Nachweismedium für verschiedene Pilzspezies hergestellt. Die beimpften Keimplatten werden nach entsprechender Bebrütung auf kolonienbildende Einheiten (KBE/g FM) ausgezählt.
Die Einteilung der Pilze wurde nach Keimgruppen (KG) und die Qualitätsbewertung wurde anhand der Orientierungswerte (OW) nach VDLUFA (2012b) durchgeführt. VDLUFA-Bewertungsschema: Keimgruppe 4 (produkttypische Pilze = Feldpilze) – OW < 200.000 KBE/g FM; Keimgruppe 5 (verderbanzeigende Pilze = Lagerpilze) – OW < 100.000 KBE/g FM; Keimgruppe 6 (verderbanzeigende (Lager-)Pilze der Ordnung Mucorales) – OW < 5.000 KBE/g FM. Werden OW´s in KG 5 bzw. 6 um mehr als das 10-fache überschritten, gelten Heuproben für Wiederkäuer als verdorben und dürfen laut Futtermittelrecht (VO (EG) 183/2005) nicht in Verkehr gebracht werden. Für empfindlichere Nutztierkategorien (Pferde, Kälber, Kleinwiederkäuer etc.) gelten strengere Kriterien.
Faktoreinflüsse auf die Keimzahlen an Feld- und Lagerpilzen in Heuproben wurden auf zwei Arten ermittelt. Einerseits wurden Keimzahlen der KG 4 bis 6 nach deren Häufigkeit im Zusammenhang mit VDULFA-OW und Umwelt- bzw. Managementfaktoren dargestellt, um mögliche Tendenzen herauszuarbeiten. Andererseits sollten diese Tendenzen mit Hilfe einer mehrfaktoriellen Auswertung (GLM – General linear Model) überprüft werden. Der Eisengehalt wurde als Faktor für Erdverschmutzung herangezogen.

Ergebnisse und Diskussion

In den Heuproben aus 2018 konnten 16 und von den Proben aus 2022 konnten 13 verschiedene Vertreter der Feld- und Lagerpilze bestimmt werden. Gereiht nach der Häufigkeit des Vorkommens (erste Nennung als häufigste) und Zuordnung zur jeweiligen Keimgruppe: Feldpilze der Keimgruppe 4 (verschiedene Coleomyceten, Dematiaceae wie *Cladosporium* sp. und *Alternaria* sp., sowie *Fusarium* sp., *Aureobasidium* sp. und *Acremonium* sp.), Lagerpilze der Keimgruppe 5 (*Aspergillus glaucus, Wallemia sebi, Aspergillus fumigatus, Aspergillus niger, Penicillium* sp., *Aspergillus ochraceus* und *Aspergillus flavus*) sowie Lagerpilze / Mucorales der Keimgruppe 6 (*Mucor* sp. und *Rhizopus* sp.). Die Reihenfolge der Häufigkeiten aus 2018 konnte im Projektjahr 2022 bestätigt werden (RESCH und STÖGMÜLLER 2023). Außerdem konnte die Aussage in punkto mikrobieller Artenvielfalt gefestigt werden, dass bei zwei Drittel der untersuchten Proben meist nur vier Pilzgattungen auftraten. Die maximale Anzahl von Pilzen in einer Probe betrug acht verschiedene Spezies. In 80 % der Heuproben war eine Feldpilzart (KG 4) der dominierende Pilz. In 20 % der Heuproben konnte ein Vertreter der verderbanzeigenden Lagerpilze (KG 5) die Flora dominieren. *Mucorales* (KG 6) kamen nur in einem Fall als dominante Art zur Geltung. Das könnte nicht zuletzt daran liegen, dass diese Pilze auf dem Nährmedium unterrepräsentiert anwachsen und die festzustellenden Keimgehalte wesentlich geringer liegen als bei anderen Pilzen. Der Orientierungswert für *Mucorales* liegt deswegen bei 5.000 KBE/g FM, um diesem Umstand Rechnung zu tragen.

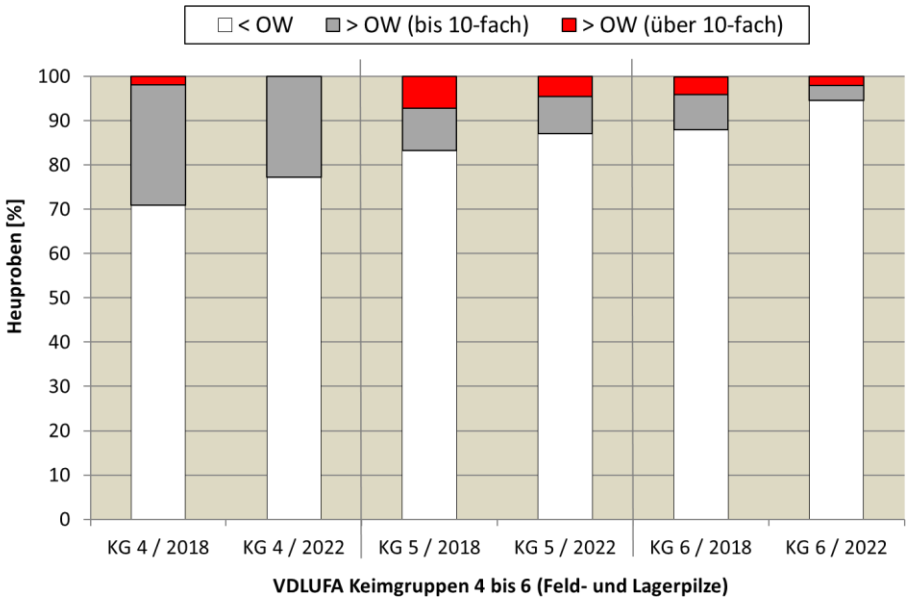


Abbildung 14: **Anteile der Heuproben in den VDLUFA-Keimgruppen 4 bis 6 und in den VDLUFA-Keimzahlstufen I bis IV in Abhängigkeit vom Projektjahr 2018 bzw. 2022**

In Abhängigkeit der Keimgruppen 4 bis 6 und der Keimzahlstufen (KZS) I bis IV nach VDLUFA (2012b), zeigte sich im Jahr 2022 ein ähnliches Bild wie 2018, allerdings auf einem etwas geringeren mittleren Keimzahlniveau (Abbildung 1). Der überwiegende Anteil der Heuproben wies Keimgehalte unterhalb der OW auf, daher fielen diese Partien in KZS I und wurden hinsichtlich Pilzkeimzahlen als 1. Qualität klassifiziert. Das gilt insbesondere für die Lagerflora, wo mehr als 80 % in KG 5 und noch mehr in KG 6 als einwandfrei galten. Der Anteil an verkehrsfähigen Heuproben (bis 10-fache Überschreitung des VDLUFA-OW) lag bei 91 % (2018) bzw. bei 94 % (2022). Bei einer Dominanz von Spezies der KG 4 traten Lagerpilze nur unwesentlich in Erscheinung. Andererseits reduzierten sich die Keimzahlen der Feldflora tendenziell stark, wenn sich die Pilze der KG 5 aufgrund von günstigen Bedingungen (Feuchte, Temperatur und Sauerstoffgehalt) stark vermehrten.
Die mehrfaktorielle Auswertung der Daten aus 2022 mittels GLM bestätigte teilweise signifikante Wirkungen von Einflussfaktoren auf die logarithmierten Keimzahlen der Keimgruppen 4 bis 6 aus dem Projektjahr 2018 (Tabelle 1 vs. 2). Beispielsweise hatte der Aufwuchs in beiden Jahren einen hoch signifikanten Effekt auf KG 4 und KG 5, ebenso die Seehöhe auf KG 4. Die Ergebnisse zeigen, dass der erste Aufwuchs eine Tendenz zu höheren Keimzahlen bei Lagerpilzen der KG 5 hatte, bei gleichzeitig

geringerer Feldflora. Die Ursachen für vermehrte Lagerverpilzung im 1. Aufwuchs können aus den erhobenen Daten nicht eindeutig geklärt werden. Mögliche Erklärungen dafür könnten das Wetter (Temperatur, Luftfeuchte), Erntemassen und Lagerungsdichte bzw. Trocknerkapazitäten liefern.
Auf größerer Seehöhe nahm die Feldflora tendenziell zu. Der Eisengehalt als Indikator für die erdige Futterverschmutzung hatte für KG 4 und 6 im Jahr 2022 nur einen tendenziell erhöhenden Effekt, während dieser im Jahr 2018 für KG 5 und 6 hoch signifikant war. Die Heubelüftungstrocknung zeigte ähnlich wie 2018, auch im Jahr 2022 keine signifikante Wirkung auf die Keimgruppen zum Zeitpunkt der Probenahme. Bei der zusammenfassenden GLM-Analyse der gesamten Daten aus 2018 und 2022 war, mit Ausnahme von KG 6, kein signifikanter Jahreseinfluss gegeben.

Tabelle 1: **Effekte von Umwelt- und Managementfaktoren auf Feld- und Lagerpilzflora von Heuproben (LK-Heuprojekt 2018, n = 469)**

Faktor	**Keimzahl**	**Statistik**	Seehöhe	Zellwände (NDF)	Rohprotein (XP)	Eisen (Fe)	Aufwuchs			Trocknungsverfahren		
Einheit	KBE^{log}/g FM		m über N.N	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	1.	2.	3. +	Boden-trocknung	Kalt-belüftung	Warm-belüftung
Mittelwerte			**834**	**489**	**135**	**564**	P-Werte			P-Werte		
KG 4	4,95		**< 0,01**	0,11	**< 0,01**	0,18	**< 0,01**			0,19		
KG 5	2,70	P-Werte	0,20	0,89	0,59	**< 0,01**	**< 0,01**			0,38		
KG 6	1,36		0,05	0,65	0,62	**0,02**	0,24			**0,03**		
		Erhöhung um:	100 m	10 g	10 g	1.000 mg	KBE^{log}/g FM			KBE^{log}/g FM		
KG 4		Regressions-koeffizienten	**0,074**	-0,021	**-0,099**	0,133	4,3	5,1	5,5	5,1	4,8	4,9
KG 5			0,047	0,004	0,027	**0,708**	3,4	2,5	2,2	2,9	2,6	2,5
KG 6			0,045	-0,007	0,015	**0,284**	1,5	1,3	1,3	1,0	1,5	1,5

P-Werte bei 95 % Konfidenzniveau: < 0,01 = hoch signifikant, < 0,05 signifikant

Tabelle 2: **Effekte von Umwelt- und Managementfaktoren auf Feld- und Lagerpilzflora von Heuproben (LK-Heuprojekt 2022, n = 337)**

Faktor	**Keimzahl**	**Statistik**	Seehöhe	Zellwände (NDF)	Rohprotein (XP)	Eisen (Fe)	Aufwuchs			Trocknungsverfahren		
Einheit	KBE^{log}/g FM		m über N.N.	g/kg TM	g/kg TM	mg/kg TM	1.	2.	3. +	Boden-trocknung	Kalt-belüftung	Warm-belüftung
Mittelwerte			**768**	**472**	**135**	**542**	P-Werte			P-Werte		
KG 4	4,77		**0,02**	0,22	0,94	0,06	**< 0,01**			0,66		
KG 5	2,75	P-Werte	**< 0,01**	**0,02**	0,61	0,92	**0,02**			0,24		
KG 6	1,20		0,25	0,17	0,12	0,10	0,29			0,77		
		Erhöhung um:	100 m	10 g	10 g	1.000 mg	KBE^{log}/g FM			KBE^{log}/g FM		
KG 4		Regressions-koeffizienten	**0,054**	0,021	-0,002	0,161	4,1	4,8	5,4	4,9	4,7	4,8
KG 5			**0,145**	**0,071**	0,030	-0,017	3,2	2,5	2,6	3,1	2,4	2,7
KG 6			0,021	0,019	0,040	0,117	1,3	1,2	1,1	1,3	1,2	1,2

P-Werte bei 95 % Konfidenzniveau: < 0,01 = hoch signifikant, < 0,05 signifikant

Erfahrungsberichten aus der Praxis zufolge sind kompakte, verdichtete Stellen im Heustock/Heuballen bzw. in der Trocknungsbox häufig Auslöser für Temperaturerhöhungen mit anschließender Schimmelpilzvermehrung im Heu, beginnend kurz nach der Einlagerung. Das bestätigt auch die Arbeit von STRAUSS und SCHOCH (2003). Besonders dramatisch sind Situationen, wenn der Heustock mit zu hoher Restfeuchte „zusammensitzt", d.h. die ursprüngliche Füllhöhe deutlich verringert wird. Prinzipiell könnte sich der Effekt einer höheren Lagerungsdichte auch bei Heupressballen ähnlich kritisch auswirken. Im Managementfragebogen wurde die Pressdichte bei den Heuballenbetrieben erhoben: 1 = locker gepresst, 2 = mittelfest, 3 = fest. Von Kategorie 3, fest gepresst, lagen zu wenig Daten für eine statistische Auswertung vor, daher wurde in der Auswertung nur zwischen locker und mittelfest gepresst verglichen und die Ergebnisse dem losen Heu gegenübergestellt (Abbildung 1).

Anhand der Häufigkeiten der Heuproben für die Keimgruppe 5, der verderbanzeigenden Schimmelpilze in den VDLUFA-Keimzahlstufen (KZS I = weiß, II und III = grau, IV = rot), können tendenzielle Effekte herausgelesen werden. Es stellte sich heraus, dass eine mittelfeste Pressung bei Ballen zu deutlich mehr Fällen mit erhöhten Keimzahlen führte als bei lockerer Pressung. Der zusätzliche Effekt der Heubelüftungstrocknung mit angewärmter Luft brachte jeweils eine deutlich sichtbare Reduktion des Anteils an OW-Überschreitungen. Interessant war der Umstand, dass mittelfest gepresste Heuballen trotz Warmbelüftung noch immer einen relativ hohen Anteil in KZS IV aufwiesen. So gesehen tragen mittelfest gepresste Heuballen trotz Belüftung ein höheres Risiko am Lager zu verpilzen/verderben. Der Vergleich zwischen Pressballen und losem Heu zeigt, dass die Häufigkeiten bei der Bodentrocknung ähnlich sind. Das härtet den Verdacht, dass loses bodengetrocknetes Heu am Heustock auch eine gewisse Lagerungsdichte durch Sitzung aufweist, die wahrscheinlich ähnlich hoch war als jene von mittelfest gepressten Ballen (Abbildung 2). Die Empfehlung Heuballen locker zu pressen stellte sich nach Auswertung der Keimgehalte als völlig richtig heraus, weil hier die Zahl an Proben mit überhöhten Keimgehalten im Rahmen blieb und die Heubelüftungstrocknung auch sehr gut im Hinblick auf die Futterhygiene funktionierte.

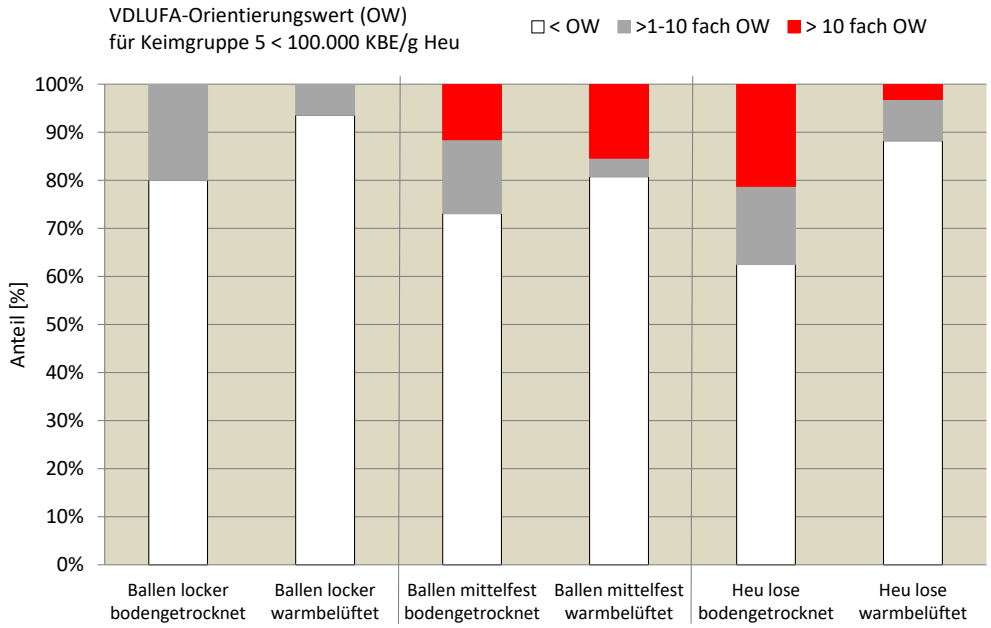


Abbildung 15: **Auswirkung von Pressdichte und Trocknungsverfahren auf die Lagerverpilzung (VDLUFA-Keimgruppe 5) von Pressballen im Vergleich zum losen Heu (Anzahl Heuproben: Ballen locker = 28, Ballen mittelfest = 48, Heu lose = 639)**

Zusammenfassung

Eine breit angelegte mikrobiologische Untersuchung des Feld- und Lagerpilzbefalls von 1.056 Heuproben aus der österreichischen Praxis über die LK-Heuprojekte 2018 und 2022 zeigte, dass in den meisten Proben Pilze der Feldflora, primär Hyphomyceten (*Coleomyceten, Cladosporien, Fusarien, Aureobasidium*) dominierten. In 20 % der Heuproben dominierten verderbanzeigende Lagerpilze (insbesondere *Aspergillus glaucus, Wallemia sebi*). Das Auftreten der grundsätzlich unerwünschten Lagerpilze (VDLUFA-Keimgruppe 5 bzw. 6) war tendenziell stärker zu beobachten: im 1. Aufwuchs, bei höheren NDF-Gehalten und bei Bodentrocknung ohne Belüftung, sowie infolge Erdverschmutzung und bei stärkerer Verdichtung. Nach Heubelüftungstrocknung wurde tendenziell eine geringere Häufigkeit von Überschreitungen der VDLUFA-Orientierungswerte bei Lagerpilzen festgestellt, wenn der Wassergehalt im Heu in weniger als etwa 72 Stunden unter 14 % Wasser gebracht werden konnte und der Heustock weniger als 6 Meter hoch war bzw. die Ballen locker gepresst wurden.

Abstract

A microbiological investigation of fungal flora afield and on storage was carried out on 1,056 hay samples from Austrian farms over the LK hay projects 2018 and 2022. We observed that fungi of the field

flora (Hyphomycetes like Cladosporium, Fusarium and Aureobasidium species as well as Coleomycetes) dominated in most hay samples. Spoilage storage fungi (especially *Aspergillus glaucus, Wallemia sebi*) dominated in 20% of hay samples. Undesirable storage fungi with representatives of VDLUFA germ groups 5 or 6 tended to be more prevalent: in the 1st growth, at higher NDF contents, ground drying without ventilation, as well as due to soil contamination and stronger compaction. Ventilation drying tended to reduce the frequency of exceedances of VDLUFA orientation values for storage fungi when the water content in the hay could be brought below 14% water in less than about 72 hours and the haystack was less 6 meters high or round bales were pressed with lower compaction.

Literatur

ADLER A, KIROJE P, REITER EV, RESCH R (2014): Einfluss unterschiedlicher Trocknungsverfahren auf die Futterhygiene von Raufutter. 19. Alpenländisches Expertenforum zum Thema "Futterkonservierung - Aktuelle Entwicklungen in der Silage- und Heuproduktion", Gumpenstein, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, April 3, 2014, 57-69.

DULPHY JP (1987): Fenaison: pertes en cours de recolte et de conservation. 16. Journees du Grenier de Theix. Les fourrages secs: recolte, traitement, utilisation, Ceyrat (France), Institut National de la Recherche Agronomique, May 21-23, 1985, 103-124.

KASPERSSON A, HLÖDVERSSON R, PALMGREN U, LINDGREN S (1984): Microbial and biochemical changes occurring during deterioration of hay and preservative effect of urea. Swedish Journal of Agricultural Research 14, 127-132.

RESCH R (2022): Grundfutterbilanz Österreich für das Wirtschaftsjahr 2021/2022. Zusammenstellung von Flächen-, Ertrags-und Qualitätsdaten zur Grundfuttersituation 2021 für die Statistik Austria, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal.

RESCH R, ADLER A, PÖTSCH EM (2014): Impact of different drying techniques on hay quality. 16th International Symposium Forage Conservation, Brno, Mendel University Brno, June 3-6, 2014, 27-38.

RESCH R, STÖGMÜLLER G, ADLER A (2019): Feld- und Lagerpilzflora in Heuproben aus Österreich, ALVA-Jahrestagung 2019 zum Thema "Weinbau und Klima", Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen (ALVA), HBLAuBA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, 147-149.

RESCH R, STÖGMÜLLER G (2023): LK-Grundfutterprojekte als Basis für die Qualitätsentwicklung von Gärfutter und Heu in Österreich. 50. Viehwirtschaftliche Fachtagung , HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 29. und 30. März 2023, 123-155.

STRAUSS G, SCHOCH M (2003): Veränderung der mikrobiologischen Heu- und Strohqualität in Rheinland-Pfalz. Kurzfassungen der Referate, 115. VDLUFA-Kongress, Saarbrücken, 152-153.

VDLUFA (2012a): Methode 28.1.2 Futtermitteluntersuchung - Bestimmung der Keimgehalte an aeroben, mesophilen Bakterien, Schimmel- und Schwärzepilzen und Hefen. Methodenbuch III, 8. Ergänzung 2012, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.

VDLUFA (2012b): Methode 28.1.4 Futtermitteluntersuchung - Verfahrensanweisung zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung: Methodenbuch III, 8. Ergänzung 2012, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.

VO (EG) 183/2005: VERORDNUNG (EG) Nr. 183/2005 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 12. Januar 2005 mit Vorschriften für die Futtermittelhygiene, 33 S.

Adressen der Autoren

[1] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

[2] Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Futtermittellabor Rosenau, A-3100 St. Pölten

[3] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Tierernährung und Futtermittel, Wieningerstraße 8, A-4020 Linz

*Ansprechpartner: Ing. Reinhard RESCH, reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

Gezielte Reduktion an Sojaextraktionsschrot in der Schweinemast - Eine win-win-Situation

Reduction of soybean meal in diets of fattening pigs - A win-win-situation

Reinhard Puntigam[1], Stefan Hörtenhuber[2], Manfred Weber[3]

Einleitung

Die nährstoffangepasste Rohprotein (XP)- und Phosphor(P)-Versorgung von Schweinen stellt eine bedeutsame Strategie dar, um sowohl ökologischen, ökonomischen wie auch sozialpolitischen Anforderungen im Zuge der tierischen Veredelung gerecht zu werden. Mit der Reduktion an Eiweißfuttermitteln, vorrangig Sojaextraktionsschrot (SES) aus Übersee, kann eine deutliche Reduktion des CO_2-Fußabdruckes vorangetrieben werden (Stødkilde *et al.*, 2023). Darüber hinaus gewährleistet die nährstoffangepasste XP- und P-versorgung den gesetzlichen Anforderungen der Düngegesetzgebung (Düngeverordnung (DüV) 2021; Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) 2017) hinsichtlich des Nährstoffanfalls aus der Schweineproduktion gerecht zu werden. Stickstoff (N) trägt im Boden zur Versauerung bei und mindert die Grundwasserqualität (z.B. Nitrat), währenddessen gesteigerte Anreicherungen an Phosphat (P_2O_5) zur Eutrophierung beitragen. Zusätzlich rückt die Belastung durch Luftschadstoffe (vorrangig Ammoniak, NH_3) von tierhaltenden Betrieben zunehmend in den gesetzlichen / sozialpolitischen Vordergrund. Studien belegen, dass eine Absenkung des XP-Gehaltes von 10 g in den Schweinemastrationen das Emissionspotential von NH_3 um 10 % senkt (Sajeev *et al.*, 2018). Auch die bedarfsgerechte Reduktion an P in der Rationsgestaltung sowie die Weiterentwicklung und gezielte Anwendung der mikrobiellen Phytase tragen wesentlich zum Ressourcenschutz und zur Reduktion an P-Ausscheidungen bei (Rosenfelder-Kuon, 2020). Hierzu wurden von der **D**eutsche **L**andwirtschafts-**G**esellschaft Produktionsverfahren sowie Ausscheidungswerte (DLG-Merkblatt 418, 2019) basierend auf DLG 199 (2014) definiert. Ziel des Versuches war es, SES sowie mineralischen P unter Einsatz von heimischen Eiweißalternativen und adäquater Supplementierung freier Aminosäuren deutlich abzusenken und damit die N- und P-Ausscheidungen und somit deren Umweltwirkung zu reduzieren.

Material und Methoden

Der Fütterungsversuch wurde in den Versuchseinrichtungen der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau in Sachsen-Anhalt durchgeführt. Dazu wurden 192 Aufzuchtferkel (32,58 ± 0,33 kg LM) beiden Geschlechts der Rasse Pi x (DL x DE) nach LM, Geschlecht und Abstammung den 4 Futtergruppen (FG, Tabelle 1) zugeteilt. Die Tiere wurden in 16 Buchten zu je 12 Tieren (pro FG 4 Buchten, 48 Tiere) auf Vollspaltenboden ohne Einstreu gehalten. Der Versuch gliederte sich in drei Fütterungsphasen und die Futterzuteilung erfolgte *ad libitum* über Abrufstationen mit integrierter Futterverwiegung für das Einzeltier (Insentec, Niederlande). In der FG B wurde der Anteil an SES vollständig durch Rapsextraktionsschrot sowie Ackerbohnen substituiert. Darüber hinaus erfolgte in den FG B, C und D ab der der Phase der Mittelmast kein Zusatz an mineralischem Phosphor (Monocalciumphosphat). Vor Versuchsbeginn wurden die Einzelfuttermittel mittel NIRS-Analytik (Evonik Operations GmbH | Nutrition & Care; Hanau, DE) untersucht (Tabelle 2) und zur Rationskalkulation genutzt (Tabelle 3).

Tabelle 1: **Gehalt an Rohprotein und Phosphor in der jeweiligen Phase der Futtergruppe, in der FM**

	A		B		C		D	
	XP	P	XP	P	XP	P	XP	P
Anfangsmast, g	185	4,8	169	4,9	161	4,7	185	4,7
Mittelmastt, g	160	3,5	138	3,6	136	2,7	136	2,7
Endmast, g	150	3,4	123	2,7	123	2,7	123	2,8
Mittlerer Gehalt, g	164	3,7	142	3,6	138	3,6	146	3,6

Der Einsatz der erforderlichen freien Aminosäuren erfolgte über die Herstellung einer Vormischung und inkludierte abhängig von der FG neben Lysin, Methionin, Threonin und Tryptophan auch Valin und Isoleucin. Die Alleinfuttermittel wurden nach den Vorgaben der VDLUFA (2012) analysiert. Die Gehalte an umsetzbarer Energie (ME) wurden nach der Mischfutterformel (GfE, 2008) kalkuliert.

Tabelle 2: **Gehalt an Nährstoffen der Einzelfuttermittel zur Erstellung der Futtermischungen, in der FM**

	Sojaext-schrot-HP	Rapsext-schrot	Ackerbohne	Gerste	Weizen	Tritikale	Mais
Trockenmasse, g	873	878	890	886	887	868	875
Rohprotein, g	466	354	279	129	131	116	75
Lysine, g	28,6	18,7	17,1	4,4	3,6	3,8	2,4
verdl. Lysin, g	25,8	13,6	14,2	3,3	3,0	3,2	1,8
Phosphor, g	59	98	51	30	27	27	22
Energie, MJ ME	13,7	10,9	13,2	12,9	14,2	13,5	14,2

Die Daten zur Mastleistung inkludierten die Erfassung des tierindividuellen Futterverbrauchs- und -aufwandes sowie der tierindividuellen täglichen Zunahmen durch Wiegungen zur Ein- und Ausstallung sowie bei jedem Futterwechsel. Die Schlachtleistung wurde ebenfalls tierindividuell nach der Leistungsprüfungsrichtlinie ermittelt (Rind, 2019).

Tabelle 3: **Zusammensetzung der Futtermischungen sowie der kalkulierte Nährstoffgehalt, in der FM**

	Vormast, 30-60 kg LM			Mittelmast, 60-90 kg LM			Endmast, 90-120 kg LM	
	A, D	**B**	**C**	**A**	**B**	**C, D**	**A**	**B, C, D**
Weizen, %	39,30	32,25	45,75	35,25	31,50	21,50	33,00	17,50
Sojaext-schrot-HP, %	15,75	0,00	6,50	4,75	0,00	2,75	2,00	0,00
Körnermais, %	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Gerste, %	10,00	10,00	10,00	22,50	34,00	46,25	27,75	54,75
Tritikale, %	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Rapsext-schrot, %	5,50	12,00	7,50	10,00	6,25	1,25	10,00	0,00
Ackerbohne, %	0,00	14,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sojaöl, %	1,55	3,10	1,70	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Futterkalk, %	1,06	1,07	1,07	0,97	1,01	1,04	0,82	0,89
Monocal-phosphat, %	0,38	0,31	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Viehsalz, %	0,36	0,35	0,35	0,25	0,25	0,26	0,22	0,23
Premix, %	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
[1]AA-Vormischung, %	0,62	1,16	1,23	0,60	1,11	1,13	0,40	0,85
Kalkuliert								
Rohprotein, g	185	169	162	160	138	136	150	123
Energie, MJ ME	13,4	13,4	13,4	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
Gesamt-Phosphor, g	4,3	4,3	4,3	3,5	3,4	3,3	3,5	3,3
verdl. Phosphor, g	1,8	1,8	1,9	1,1	1,2	1,3	1,1	1,4
Lysin, g	10,7	11,0	10,6	9,1	10,0	8,8	7,7	7,3
verdl. Lysin, g	9,5	9,5	9,5	7,9	7,9	7,9	6,5	6,5

[1]Biolys®, MetAMINO®, ThreAMINO®, TrypAMINO®, ValAMINO®, L-Isoleucine

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) unter Anwendung der Prozedur GLM. Im Modell wurden als fixe Effekte die Futtergruppe (FG), das Geschlecht (Sex) sowie deren Interaktionen (FG*Sex) berücksichtigt. Die Kalkulation der N und P-Ausscheidung erfolgte mittels Massenbilanzierung nach den Vorgaben der DLG 199 (2014) dargestellt im DLG-Merkblatt 418 (DLG, 2019).

Die NH_3-Emissionen wurden auf Basis des ausgeschiedenen N nach den EMEP-Richtlinien (EEA, 2019; Tier 2 Methode mit Standardwerten) geschätzt, wobei für alle FG ein identisches Güllesystem mit abgedecktem Güllelager und Schleppschlauch-Ausbringung unterstellt wurde.

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der analysierten Gehalte ausgewählter Nährstoffe der FG dargestellt. Insgesamt kann eine sehr gute Übereinstimmung mit den kalkulierten Nährstoffgehalten nachgewiesen werden. Der Austausch von SES durch Rapsextraktionsschrot und Ackerbohnen resultierte in keinem nährstofflichen Unterschied im Vergleich zu den weiteren FG.

Tabelle 4: **Analysierte Nährstoffgehalte der Futtermischungen, in der FM**

	Vormast				Mittelmast				Endmast			
	A	**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**	**D**	**A**	**B**	**C**	**D**
Trockenmasse, g	894	897	896	893	867	879	869	870	875	876	877	880
Rohprotein, g	179	168	160	181	153	143	130	128	148	123	121	122
Energie, MJ ME	14,0	13,8	14,1	14,1	13,2	13,4	13,2	13,2	13,5	13,4	13,3	13,2
Lysin, g	10,8	10,8	10,5	10,6	9,1	9,1	8,5	8,7	7,4	7,3	7,3	7,1
Methionin, g	3,3	3,3	3,2	3,1	2,8	2,7	2,5	2,5	2,3	2,3	2,2	2,2
Threonin, g	7,5	7,2	6,9	7,1	6,0	5,8	5,3	5,2	4,9	4,7	4,7	4,7
Cystin, g	3,3	3,1	3,1	3,2	3,1	2,7	2,5	2,5	2,8	2,0	2,0	2,0
Phosphor, g	4,8	4,9	4,7	4,7	3,5	3,6	2,7	2,7	3,4	2,7	2,7	2,8

Aus Tabelle 5 gehen die Ergebnisse der Mastleistung über den gesamten Versuchszeitraum hervor. Die Tiere wurden über die FG hinweg mit nahezu identer LM ein- und ausgestallt, wodurch sich auch keine Unterschiede im Hinblick der Fütterung auf die täglichen Zunahmen ergaben (p>0,05). Auch der Futterverbrauch und -aufwand ließen keine Unterschiede zwischen den FG erkennen (p>0.05). Demgegenüber konnte festgestellt werden, dass männlich kastrierte Tiere höhere tägliche Zunahmen (+11 %) unter gesteigertem Futterverbrauch (+13 %) und reduzierter Futterverwertung (+2 %) im Vergleich zu weiblichen Tieren aufweisen (p<0,05).

Tabelle 5: **Ergebnisse der Mastleistung aus dem Fütterungsversuch**

	Futtergruppe				Geschlecht			p-Wert		
	A	**B**	**C**	**D**	**Weibl.**	**Kastr.**	**SEM**	**FG**	**Sex**	**FG*Sex**
Lebendmasse, kg										
Versuchsstart	32,8	32,7	32,2	32,7	32,3	32,9	0,335	0,917	0,396	0,966
Versuchsende	120,7	120,9	120,3	120,6	120,1	121,1	0,247	0,885	0,040	0,353
Tägliche Zunahmen, g/Tag										
Gesamt	944	920	923	949	886	982	7,840	0,353	<0,001	0,897
Futterverbrauch, kg										
Gesamt	2,40	2,41	2,42	2,48	2,28	2,58	0,020	0,248	<0,001	0,264
Futteraufwand, kg/kg										
Gesamt	2,55	2,63	2,63	2,62	2,58	2,64	0,013	0,099	0,021	0,322

In Tabelle 6 werden die Ergebnisse der N- und P-Aufnahme, deren Ansatz und Ausscheidung auf Basis der analysierten Nährstoffgehalte in den Futtermischungen veranschaulicht. Gruppe A wies mit einem mittleren Gehalt an XP im Mastfutter von 159 g/kg gefolgt von FG B, D und C (143, 142, 135 g/kg) die höchste N-Aufnahme aus (p<0,05). FG A und B wiesen eine höhere P Aufnahme im Vergleich zu FG C und D auf (p<0,05). Im N- und P-Ansatz wiesen die FG keine Unterschiede auf (p>0,05).

Die Differenz zwischen N-Input und -Ansatz resultiert in den höchsten N-Ausscheidungen der FG A gefolgt von Gruppe B, D und C (-12, -13 und -20 %). FG A und B wiesen eine höhere P Ausscheidung im Vergleich zu FG C und D auf (p<0,05). Sowohl bei der N- wie auch bei der P-Ausscheidung wiesen Kastraten höhere Werte aus (+7 und +10 %, p<0,05). Pro Kilogramm Zuwachs schied die FG A die größte Menge an N aus, gefolgt von FG B, D und C (p<0,05), währenddessen sich FG A und B signifikant von FG C und D in der P-Ausscheidung unterschieden.

Die proteinreduzierte Fütterung senkt NH_3-Emissionen und damit das Versauerungspotenzial deutlich. Die NH_3-Emissionen gehen direkt proportional mit den hochsignifikanten Unterschieden der N-Ausscheidungen (Tabelle 6) zurück. Die potenziellen NH_3-Emissionen betragen 40 % des ausgeschiedenen N und liegen zwischen 19 g und 15 g NH_3 je kg Zuwachs während der Mastphase. Die Absenkung der XP-Gehalte in den Rationen ergibt eine Reduktion der aufgenommenen N-Mengen um bis zu 12 % und der N-Ausscheidungen um bis zu 20 % (FG C im Vergleich zu FG A). Wird der XP-Gehalt der Rationen um 10 g abgesenkt, können laut vorliegenden Ergebnissen 8 % der N-Ausscheidungen bzw. der NH_3-Emissionen vermindert werden. Dieser Umstand deckt sich mit Sajeev *et al.* (2018), der für Schweine im Durchschnitt 11± 6 % NH_3-Reduktion je Prozentpunkt XP-Reduktion ermittelte.

Tabelle 6: **Aufnahme, Ansatz und Kalkulation der Ausscheidung von Stickstoff und Phosphor**

	Futtergruppe				Geschlecht			p-Wert		
	A	**B**	**C**	**D**	**Weibl.**	**Kastr.**	**SEM**	**FG**	**Sex**	**FG*Sex**
N-Aufnahme pro Tier, g										
Gesamt	5687[a]	5289[b]	5012[c]	5233[b]	5203	5407	37,29	<0,001	0,001	0,320
P-Aufnahme pro Tier, g										
Gesamt	862[a]	844[a]	758[b]	769[b]	790	827	6,21	<0,001	0,001	0,161
N-Ansatz pro Tier, g										
Total	2249	2257	2256	2252	2248	2259	9,02	0,987	0,544	0,866
P-Ansatz pro Tier, g										
Gesamt	448	450	449	449	448	450	1,80	0,987	0,544	0,866
N-Ausscheidung pro Tier, g										
Gesamt	3438[a]	3032[b]	2756[c]	2981[b]	2955	3148	34,03	<0,001	0,001	0,200
P-Ausscheidung pro Tier, g										
Gesamt	414[a]	394[a]	309[b]	320[b]	342	377	5,64	<0,001	<0,001	0,080
Ausscheidung pro Tier je kg Zuwachs, g/kg										
N-Ausscheidung	39,1[a]	34,4[b]	31,3[c]	33,9[b]	33,7	35,7	0,379	<0,001	0,001	0,112
P-Ausscheidung	4,70[a]	4,48[a]	3,51[b]	3,65[b]	3,90	4,27	0,064	<0,001	0,001	0,059

N, Stickstoff; P, Phosphor

In der Tabelle 7 werden die Ergebnisse der Schlachtleistung veranschaulicht. Im Schlachtgewicht sowie in der Ausschlachtung unterschieden sich die FG nicht ($p>0,05$). Die Tiere der FG B und C wiesen einen geringeren Muskelfleischanteil (MFA) im Vergleich zur FG A aus ($p<0,05$). Dieser Umstand kann ebenfalls durch die geringere Fleischfläche bestätigt werden ($p<0,05$). Charakteristika hinsichtlich Fleischqualität, pH-Wert, Leitfähigkeit und Tropfsaftverlust, blieben auf Grund der Fütterung unbeeinflusst ($p<0,05$).

Tabelle 7: **Ergebnisse der Schlachtleistung aus dem Fütterungsversuch**

	Futtergruppe				Geschlecht			p-Wert		
	A	**B**	**C**	**D**	**Weibl.**	**Kastr.**	**SEM**	**FG**	**Sex**	**FG*Sex**
Schlachtgewicht, g	96,8	96,6	96,4	97,2	96,7	96,8	0,236	0,638	0,913	0,608
Ausschlachtung, %	80,2	79,9	80,1	80,6	80,5	79,9	0,114	0,139	0,005	0,313
MFA (BF), %	60,5[a]	59,0[b]	59,4[b]	60,0[ab]	61,4	58,1	0,231	0,026	<0,001	0,575
Fleischfläche, cm²	58,2[ab]	54,7[c]	56,0[bc]	58,6[a]	59,7	54,0	0,460	0,001	<0,001	0,974
Fettfläche, cm²	15,2	16,5	16,3	16,1	14,3	17,8	0,251	0,181	<0,001	0,538
pH-Wert Kotelett 45 min.	5,83	5,97	5,94	5,98	5,86	6,00	0,032	0,311	0,033	0,773
Leitfäh. Kotelett, 1 h, ms	4,84	4,38	4,56	4,57	4,45	4,72	0,073	0,159	0,064	0,281
Tropfsaftverlust, %	5,50	5,31	5,09	5,60	5,11	5,64	0,159	0,691	0,098	0,845

MFA, Magerfleischanteil nach BF, BonnerFormel04

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Reduktion an Eiweißfuttermitteln, vorrangig von SES, unter Einsatz heimischer Eiweißalternativen und adäquater Supplementierung an freien Aminosäuren, senkt die N-Aufnahme und N-Ausscheidungen, ohne die Leistung negativ zu beeinflussen. Der Einsatz von SES konnte im vorliegenden Fütterungsversuch von ca. 16 kg pro Tier (FG A), deutlich reduziert werden (FG B: 0,0; FG C: 6,5 und FG D: 13,2 kg). Darüber hinaus konnte das Einsparungspotential an mineralischem P veranschaulicht werden. Damit kann ein bedeutsamer umweltrelevanter Beitrag der heimischen Schweineproduktion in vielerlei Hinsicht (z.B. Emissionen, Immissionen, Versauerung, Eutrophierung) und damit eine win-win-Situation geschaffen werden.

Literatur

DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. 2019. Merkblatt 418, Leitfaden zur nachvollziehbaren Umsetzung stark N-/P-reduzierter Fütterungsverfahren bei Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

DLG- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. 2014. Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Auflage. Arbeiten der DLG, Band 199. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

European Environment Agency. 2919. EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories, 3.B Manure Management; EEA: Copenhagen, Denmark, 2019. Available online: https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/4-agriculture/3-b-manure-management/view.
Rind, B. 2019. Richtlinie für die Stationsprüfung auf Mastleistung. Schlachtkörperwert und Fleischbeschaffenheit beim Schwein (Stand: 09.04. 2019).
ROSENFELDER-KUON P., Siegert W. RODEHUTSCORD M. 2020. Effect of microbial phytase supplementation on P digestibility in pigs: a meta-analysis. Archives of Animal Nutrition 74 (1): 1-18.
SAJEEV, E. P. M., AMON, B., AMMON, C., ZOLLITSCH, W., WINIWARTER, W. 2018. Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. Nutrient cycling in agroecosystems, 110 (1): 161-175.
STØDKILDE, L., MOGENSEN, L., BACHE, J. K., AMBYE-JENSEN, M., VINTHER, J., JENSEN, S. K. 2023. Local protein sources for growing-finishing pigs and their effects on pig performance, sensory quality, and climate impact of the produced pork. Livestock Science, 267, 105128.

Adressen der Autoren

[1]Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub und Schwarzenau, DE
[2]Institut für Nutztierwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, AUT
[3]Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau des Landes Sachsen-Anhalt, DE

Einfluss von zwei unterschiedlich nachhaltigen Futterrationen auf die Mast- und Schlachtleistung beim Schwein

Influence of different sustainable pig diets on fattening and slaughter performance

Clemens Humer, Karl Schedle*

Einleitung

Der in der Mastschweineration in hohen Anteilen eingesetzte Sojaextraktionsschrot (SES) wird momentan vorwiegend vom amerikanischen Kontinent aus Großteil gentechnisch verändertem Anbau in die EU importiert. Die Reduktion von Importabhängigkeiten und die Reduktion der Lebensmittelkonkurrenz zum Menschen sind wichtiger Faktoren zur nachhaltigen Gestaltung der Tierernährung (Schedle 2016).
In diesem Forschungsprojekt mit Mastschweinen sollte der Einfluss einer Ration mit geringerer Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen (LKE niedrig, Ertl et al. 2016) und ohne Sojaextraktionsschrot gegenüber einer praxisüblichen Kontrollration (LKE hoch) auf die Mast- und Schlachtleistung überprüft werden. Zudem soll geklärt werden, inwieweit Mastschweine imstande sind, den täglichen Bedarf an Protein und eventuell sonst nicht dem Nährstoffbedarf entsprechenden Nährstoffen aus stark proteinreduzierten Futterration selbst zusammen zu stellen.

Material und Methoden

Das Studiendesign wird in Tabelle 1 dargestellt. Der Mastversuch wurde an der österreichischen Schweineprüfanstalt durchgeführt, wo auch die Schlachtleistung erfasst wurde. Für den Versuch wurden 60 gemischtgeschlechtliche Schweine verwendet. Die Tiere wurden in drei Gruppen aufgeteilt: eine Kontrollgruppe (LKE hoch) mit 3 Boxen zu je 5 Tieren, einer Versuchsgruppe mit einer Ration mit geringerer Nahrungsmittelkonkurrenz (LKE niedrig) (3 Boxen zu je 5 Tieren) und eine Wahlgruppe, die zwischen beiden Rationen frei wählen konnte (3 Boxen zu je 10 Tieren). Jede Box war mit einer Nippeltränke und einem Futterautomaten ausgestattet, mit dem die tierindividuelle Futteraufnahme registriert wurde. Bei der Wahlgruppe wurde die Mittelwand zwischen zwei Boxen entfernt und somit ermöglicht, dass die Tiere Zugang zu zwei Futterautomaten gleichzeitig hatten. Diese wurden mit der Kontrollration (LKE hoch) und der Versuchsration mit geringerer Nahrungsmittelkonkurrenz (LKE niedrig) befüllt. Die Tiere wurden den drei Versuchsgruppen nach ihrer Lebendmasse randomisiert zugewiesen und ad libitum mit mehligem Futter und Wasser versorgt. Es wurde eine 3-Phasen Fütterung gewählt. Die Phasen wurden nach Gewicht unterteilt: Anfangsmast (35,9 kg ± 0,36 kg - 52,3 kg ± 0,47 kg) Mittelmast (52,3 kg ± 0,47 kg - 91,0 kg ± 0,86 kg) und Endmast (91,0 kg ± 0,86 kg - 116,2 kg ± 0,30 kg). Die Umstellung zwischen zwei Fütterungsphasen orientiert sich bei der Wahlgruppe nicht am Boxendurchschnittsgewicht, sondern an dem jeweils schwersten bzw. leichtesten Tier. Sobald das erste Tier das Gewicht der nächsten Fütterungsphase erreicht hat, wurde einer der beiden Fütterungsautomaten in der Box mit dem Futter der entsprechenden Phase befüllt. Die Umstellung des zweiten Automaten auf das entsprechende Futter erfolgt sobald das letzte Tier das Gewicht der Phasenumstellung erreicht hat. Dadurch hatten die Tiere in dieser Zeit die Möglichkeit der Wahl zwischen zwei Futter mit unterschiedlichen Nährstoffgehalten und konnten so ihren individuellen Bedarf selbstständig decken. Die Schlachtung erfolgte ab einem Gewicht von 113 kg. Die Rationen wurden in allen drei Fütterungsphasen auf denselben Gehalt an Nährstoffen bzw. an verdaulichen Nährstoffen (essentielle Aminosäuren und Phosphor) kalkuliert (Tabelle 2). Als Sollnährstoffgehalte in den drei Futterphasen wurden die Bedarfsempfehlungen für Schweine der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2006) herangezogen.

Tabelle 1: **Studiendesign**

	LKE hoch	LKE niedrig	Wahlgruppe
Tiere, n	15	15	30
Boxen, n	3	3	3
Anfangsmast, MJ NE/XP in %	9,8/17,0%	9,8/17,0%	Wahl
Mittelmast, MJ NE/XP in %	9,8/13,5%	9,8/13,5%	Wahl
Endmast, MJ NE/XP in %	9,8/12,0%	9,8/12,0%	Wahl

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Computerprogramm SAS Enterprise Guide 7.1. Die Mittelwertsvergleiche wurden anhand eines Tukey-Tests mit einem Signifikanzniveau von Alpha < 0,05 durchgeführt.

Für die Auswertung wurde sowohl für die Mast- als auch für die Schlachtleistung ein zweifaktorielles Modell gewählt:

Dazu wurde folgendes Modell verwendet:

$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_i + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$

x = abhängige Variable

μ = gemeinsame Konstante aller x Werte

α = Effekt Futtermischung (LKE hoch, LKE niedrig, Wahl)

β = Effekt Geschlecht (männlich, weiblich)

eijk = Zufallskomponente

Tabelle 2: **Zusammensetzung der Rationen aller verwendeter Futterrationen**

Futtermittel	Anfangsmast LKE hoch	Anfangsmast LKE niedrig	Mittelmast LKE hoch	Mittelmast LKE niedrig	Endmast LKE hoch	Endmast LKE niedrig
Mais, %	37,45	10,00	32,76	10,00	36,00	10,00
Gerste, %	21,54	15,00	32,05	15,95	30,70	34,64
Weizen, %	15,00	33,62	15,00	36,05	15,00	20,47
Weizenkleie, %	4,00	8,04	4,00	10,00	8,00	12,00
Sojaextraktionsschrot, %	18,71	6,36	13,13	-	7,00	-
Rapsextraktionsschrot, %	-	4,00	-	5,14	-	3,65
Trockenschlempe, %	-	6,00	-	5,95	-	-
Trockenschnitzel, %	-	-	-	-	-	0,74
Altbrot, %	-	13,96	-	14,06	-	15,92
Lysin, %	0,37	0,58	0,39	0,61	0,41	0,51
Methionin,	0,12	0,11	0,10	0,08	0,08	0,07
Threonin, %	0,17	0,22	0,17	0,21	0,17	0,18
Tryptophan, %	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	-
Valin, %	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03
Isoleucin, %	-	-	-	-	0,1	0,02
CaCO3, %	1,42	1,52	1,40	1,39	1,33	1,24
Monocalciumphosphat	0,35	0,04	0,12	-	-	-
Viehsalz, %	0,33	-	0,33	-	0,33	-

Ergebnisse und Diskussion

Über die gesamte Mastperiode (Tabelle 3) zeigt sich ein signifikanter Unterschied ($p < 0.05$) zwischen Wahlgruppe und der LKE niedrig-Gruppe in den Faktoren Tageszunahme, Futteraufnahme und Masttagen. Hier zeigt die Wahlgruppe in allen drei Punkten bessere Werte als die LKE niedrig-Gruppe, die Leistungen der LKE hoch-Gruppe liegen jeweils dazwischen.

Tabelle 3: **Mastleistungsdaten über die gesamte Mastperiode**

	LKE hoch	**LKE niedrig**	**Wahl**	**SEM***	**p-Wert Futter**
Anfangsgewicht [kg]	35.9	35.9	36.0	0.36	0.9927
Endgewicht [kg]	116.4	116.0	116.2	0.30	0.8761
Tageszunahme [g]	870^{ab}	830^{b}	902^{a}	10.10	0.0040
Tägliche Futteraufnahme [g]	2401^{ab}	2228^{b}	2435^{a}	37.95	0.0324
Futterverwertung	2.76	2.69	2.70	0.03	0.5298
Masttage [d]	93.1^{ab}	97.1^{a}	89.7^{b}	1.26	0.0366

*SEM = Standardfehler des Mittelwertes

Bei der Schlachtleistung (Tabelle 4) konnte eine Tendenz ($p < 0.10$) zu Unterschiedlichen pH-Werten eine Stunde nach Schlachtung im Kotelett festgestellt werden. Diese liegen aber im Normbereich. Ein signifikanter Unterschied ($p < 0.05$) konnte bei der Wahlgruppe bei Leitfähigkeit im Schinken eine Stunde nach Schlachtung, gegenüber den beiden anderen Gruppen festgestellt werden.

Tabelle 4: **Ergebnisse der Schlachtleistung**

	LKE hoch	**LKE niedrig**	**Wahl**	**SEM***	**p-Wert Futter**
Warmgewicht [kg]	92.8	92.3	91.6	0.41	0.4841
Schlachtverluste, %	20.3	20.4	20.5	0.17	0.9095
Muskelfleischanteil, %	60.1	60.4	59.8	0.19	0.3967
pH_1 Kotelett	$6.8^{(a)}$	$6.6^{(b)}$	$6.7^{(ab)}$	0.02	0.0606
Leitfähigkeit$_1$ Schinken	3.4^{b}	3.4^{b}	3.8^{a}	0.07	0.0354
Rückenspeckdicke [mm]	19.6	19.8	20.1	0.34	0.8136
FM	71.8	71.8	72.4	0.54	0.8421

*SEM = Standardfehler des Mittelwertes

Die Ergebnisse zeigen, dass die Tiere der Wahlgruppe in den Mastleistungsdaten tägliche Futteraufnahmen und Tageszunahme bessere Leistungen erbracht haben als die beiden anderen Gruppen und die kürzesten Masttage aufwiesen. Dies könnte Hinweis dafür sein, dass die Tiere in den Umstellungsphasen über die Möglichkeit der Anpassung der Futteraufnahme an den individuellen Bedarf Gebrauch machten. Dadurch scheinen sie ihr genetisches Potential besser ausgeschöpft zu haben. Auch Pichler et al. (2020) und Meers et al. (2010) berichteten von einer Ausschöpfung des genetischen Potentials bei einer Futterwahlmöglichkeit.

Zusammenfassung

Die Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkungen zweier unterschiedlich nachhaltig gestalteter Rationen auf die Mast- und Schlachtleistung zu evaluieren. Zusätzlich sollte mittels Wahlmöglichkeit zwischen den beiden Rationen gezeigt werden, dass Schwein sich bei Wahlmöglichkeit eine ihren Bedarf entsprechend optimal Ration selbst zusammenstellen können.
Die Ergebnisse zeigten, dass die Wahlgruppe im Vergleich zur Versuchsgruppe (LKE niedrig) während des gesamten Versuchszeitraumes eine signifikant höhere Futteraufnahme und Tageszunahme zeigte ($p < 0{,}05$). Die Schlachtleistung war in allen Behandlungen ähnlich. Alle untersuchten Schlachtleistungsparameter lagen im optimalen Bereich.

Abstract

The study was carried out to evaluate the effects of two different sustainable rations on fattening and slaughter performance. In addition, by offering a choice between the two rations, it was to be shown that pigs can choose the ration that best suits their needs.
The results showed that the choice group showed a significantly higher feed intake and daily gain compared to the experimental group (LKE low) during the whole experimental period ($p < 0.05$). Slaughter performance was similar in all treatments. All slaughter performance parameters tested were in the optimal range.

Literatur

ERTL P., KNAUS W., & ZOLLITSCH W. (2016): An approach to including protein quality when assessing the net contribution of livestock to human food supply. Animal, 10(11), 1883–1889. https://doi.org/10.1017/S1751731116000902

ERTL P., ZEBELI Q., ZOLLITSCH W., & KNAUS W. (2016): Feeding of wheat bran and sugar beet pulp as sole supplements in high-forage diets emphasizes the potential of dairy cattle for human food supply. https://doi.org/10.3168/jds.2015-10285

MEERS S. A., PRINGLE T. D., JONES R. D., & AZAIN M. J. (2010): Effect of body composition on diet selection in finishing pigs. Journal of Animal Science, 88(5), 1733–1740. https://doi.org/10.2527/JAS.2009-2317

PICHLER J., SCHWARZ C., GIERUS M., & SCHEDLE K. (2020): Choice feeding in fattening pigs: Effect of diets differing in nutrient density on feeding behaviour and fattening performance. Czech Journal of Animal Science, 65(07), 247–257. https://doi.org/10.17221/111/2020-CJAS

SCHEDLE K. (2016): Sustainable pig and poultry nutrition by improvement of nutrient utilisation–A review. Die Bodenkultur 67(01), 45-60. DOI: 10.1515/boku-2016-0005

Adresse der Autoren

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Agrarbiotechnologie, Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie (TTE)

*Ansprechpartner: DI Clemens Humer und Dr. Karl Schedle, karl.schedle@boku.ac.at

Einsatz von Sojabohnen mit züchterisch reduzierter Aktivität des Trypsininhibitors in der Rationsgestaltung von Ferkeln

Inclusion of soybeans low in trypsin inhibitor activity in diets of weaned pigs

Markus Mader[1], Reinhard Puntigam[2], Marc Urdl[1],
Julia Steinhoff-Wagner[3], Eduard Schneeberger[1]

Einleitung

Die Anbaufläche von Soja hat österreichweit in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen und im Jahr 2022 mit rund 92.000 ha bzw. ca. 10 % der Ackerfläche einen neuen Höchststand erreicht (AMA 2022). Bayern verzeichnet mit ca. 30.000 ha im Jahr 2022 ebenso einen starken Anstieg der Sojaanbaufläche (LfL 2022). Hohe Preise für Mineraldünger und Eiweißfuttermittel haben diese Entwicklung begünstigt. Mit dem zunehmenden Anbau steigt auch das Interesse der Schweinehalter:innen, vermehrt regionalen / hofeigenen Soja in der Ferkel- und Mastschweinefütterung einzusetzen. Um keine Leistungsminderung durch den Einsatz von Sojafuttermitteln zur riskieren, ist es erforderlich, die Trypsininhibitor-Aktivität (TIA), ein antinutritiv wirkender Inhaltsstoff, im Sojafuttermittel, wie auch im Alleinfuttermittel so weit wie möglich zu reduzieren. Laut Angaben in der Literatur (BATTERHAM et al. 1993; CLARKE and WISEMAN 2005 und 2007) gilt es, einen TIA-Wert von 4 g/kg im Sojafuttermittel zu unterschreiten. Aktuelle Studien (KUENZ et al. 2022) verdeutlichen die Wichtigkeit einer darüber hinausreichenden Reduktion. Futtermitteltechnologisch besteht die Möglichkeit durch Hitzeeinwirkung über eine definierte Zeitspanne (z.B. Toastung) TIA zu inaktivieren. Alternativ kann TIA in Pflanzen züchterisch reduziert werden, mit dem Vorteil, dass bestenfalls keine weiteren Aufwendungen im Hinblick auf die Hitzebehandlung entstehen.
Zum Einsatz züchterisch TIA-reduzierter Sojabohnen wurde von WETSCHEREK et al. (2017) ein Fütterungsversuch mit Ferkeln durchgeführt. In diesem wurde jedoch keine Vergleichsgruppe mit hitzebehandelter vollfetter Sojabohne miteinbezogen. Ziel der vorliegenden Studie war es, die Substitution von herkömmlichem Sojaextraktionsschrot durch vollfette Sojabohnenprodukte, unter anderem eine unbehandelte TIA-reduzierte Sojabohnensorte, in Rationen der Ferkelaufzucht unter Praxisbedingungen zu untersuchen.

Material und Methoden

Der dargestellte Praxisversuch orientiert sich an den Vorgaben von FREITAG et al. (2020). Auf einem schweinehaltenden Betrieb in Oberösterreich wurden insgesamt 318 Ferkel mit einer Lebendmasse von 10,8±0,1 kg in drei aufeinander folgenden Durchgängen nach Lebendgewicht auf fünf Futtergruppen (FG) aufgeteilt. Die Zuteilung der Ferkel erfolgte am dritten oder fünften Tag nach dem Absetzen. Bis zum 10. Tag nach dem Absetzen wurden alle FG mit identem Absetzfutter gefüttert. Vom 11. bis zum 14. Tag wurde das Absetzfutter mit dem jeweiligen Versuchsfutter zu Anteilen von 25/75, 50/50, 50/50 und 75/25 % verschnitten. Ab dem 15. Tag nach dem Absetzen bis zum Versuchsende (34,0±1,4 Tage) wurde das jeweilige Versuchsfutter verfüttert. Die Anzahl der Ferkel pro Bucht betrug 10 bzw. 13 Tiere. Um etwaige Einflüsse der Pelletierung auszuschließen, erfolgte die Futtervorlage in mehliger Form. Das Futter wurde *ad libitum* angeboten, wobei jeweils ein Automat für zwei Buchten zur Verfügung stand. Wasser stand ebenfalls zur freien Aufnahme zur Verfügung.
In der Kontrollgruppe (SES) wurde herkömmlicher Sojaextraktionsschrot (SES, 47 % Rohprotein) als alleinige Rohproteinquelle in der Ration eingesetzt. In den weiteren FG wurde ein Teil des SES durch vollfette Sojabohnenprodukte ersetzt. In FG SBEX kamen 10 % hitzebehandelte vollfette Sojabohnen zum Einsatz während in den beiden weiteren Gruppen 5 (X5) bzw. 10 % (X10) unbehandelte vollfette Sojabohnen der TIA-reduzierten Sorte Xonia (Saatzucht Gleisdorf Ges.mbH, Österreich) eingesetzt wurden. FG SB5 enthielt 5 % unbehandelte, vollfette herkömmliche Sojabohnen, die züchterisch nicht TIA-reduziert waren (Tabelle 1).

Datenerfassung und Analytik: Die Tiergewichte wurden zu Versuchsbeginn und -ende buchtenweise erfasst. Die Erhebung des Futterverbrauches erfolgte zum Versuchsende durch Rückwaagen. Dieser wurde mit den erhobenen Tiergewichten zur Futterverwertung verrechnet. Die Futtermischungen wurden mittels nasschemischer Standardanalytik (VDLUFA 2012) auf den Gehalt an Rohnährstoffen untersucht. TIA im Alleinfutter (AF) und in den Sojafuttermitteln wurde nach DIN ISO 14902:2002-02 (2001) analysiert. Die Stickstoffausscheidung (N) wurde nach den Vorgaben der DLG 199 (2014) berechnet.
Die statistische Auswertung wurde mit SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) unter Anwendung der Prozedur GLM durchgeführt. Im Modell wurde als fixer Effekt die FG berücksichtigt.

Tabelle 1: **Anteile der Futterkomponenten in den Futtermischungen der Ferkelaufzucht, in der FM**

Komponente, %	**Futtergruppe**				
	SES	**SBEX**	**X5**	**X10**	**SB5**
Weizen	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
Gerste	25,2	21,4	22,6	21,4	22,6
Körnermais	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Sojaextraktionsschrot	17,7	11,1	14,4	11,1	14,4
Sojabohne vollfett hitzebehandelt	-	10,0	-	-	-
TIA-reduz. Sojabohne unbeh. (Xonia)	-	-	5,0	10,0	-
Sojabohne – herkömml. unbeh.	-	-	-	-	5,0
Weizenkleie	6,4	8,0	7,8	8,0	7,8
Sojaöl	1,2	-	0,7	-	0,7
Futtersäuren	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineralfuttermittel	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0

Tabelle 2: **Kalkulierte und analysierte Nährstoffgehalte der Futtermischungen, in der FM**

Gehalt	**Futtergruppe**									
	SES		**SBEX**		**X5**		**X10**		**SB5**	
	kalk.	**anal.**	**kalk.**	**anal.**	**kalk.**	**anal.**	**kalk.**	**anal.**	**kalk.**	**anal.**
Ums. Energie, MJ ME [1]	13,1	13,5	13,1	13,3	13,1	13,4	13,1	13,5	13,1	13,7
Rohprotein, g	176	177	179	177	178	185	179	179	178	182
Lysin, g	12,4	14,5	12,6	16,4	12,5	15,3	12,6	14,0	12,5	15,8
Rohfaser, g	34	36	36	44	36	38	36	41	36	35
Rohfett, g	34	38	39	47	38	37	39	40	38	41
Calcium, g	6,9	7,2	6,8	8,0	6,8	8,8	6,8	6,8	6,8	8,2
Phosphor, g	5,2	5,8	5,3	5,9	5,3	5,9	5,3	5,8	5,3	5,9
TIA, g/kg	-	0,63	-	0,55	-	0,88	-	1,61	-	1,32

[1]errechnet nach GFE (2006)

Ergebnisse und Diskussion

Sojafuttermittel und Futtermischungen: Der analysierte Gehalt an TIA des eingesetzten Sojaextraktionsschrots, sowie jener der hitzebehandelten Sojabohnen lag mit 0,90 g/kg bzw. 1,78 g/kg deutlich unter dem in der Literatur angeführten Grenzwert von 4 g/kg (BATTERHAM et al. 1993; CLARKE and WISEMAN 2005 und 2007). Der Wert der eingesetzten TIA-reduzierten Sojabohnensorte Xonia lag in diesem Versuch mit 16,6 g/kg über jenem Wert im Versuch von WETSCHEREK et al. (2017), wo 13,8 g/kg analysiert wurden. Dieser Umstand kann vermutlich auf Standorteffekte (z.B. Bodenbeschaffenheit, Witterungseffekte), pflanzenbauliche Effekte (z.B. Kulturführung, Pflanzenschutz) und insgesamt die Homogenität des daraus erzeugten AF zurückgeführt werden. Die herkömmliche unbehandelte Sojabohne lag hingegen mit 21,2 g/kg gegenüber jener in der Studie von WETSCHEREK et al. (2017) mit 29,1 g/kg erheblich niedriger.

Die kalkulierten und analysierten Nährstoffgehalte der Futtermischungen sind in Tabelle 2 angeführt. Die analysierten Gehalte an Rohprotein, Rohfaser, Ca und P stimmen sehr gut mit den kalkulierten Werten überein. Durch die höhere Sojaöl-Supplementierung in der Gruppe SES war der Gehalt an umsetzbarer Energie in allen FG auf gleichem Niveau. Die analysierten TIA-Werte in den AF betrugen 0,63 g/kg in der Gruppe SES, 0,55 g/kg in SBEX, 0,88 g/kg in X5, 1,61 g/kg in X10 und 1,32 g/kg in SB5.

Ferkelfütterungsversuch: Bei den Einstallgewichten gab es keine Unterschiede zwischen den FG (Tabelle 3). Sowohl beim Zuwachs als auch bei den täglichen Zunahmen konnte ein signifikanter Einfluss ($p<0,05$) durch den Einsatz unterschiedlicher Sojafuttermittel mit gesteigertem Gehalt an TIA nachgewiesen werden. Die Tiere der Gruppe SES erzielten mit 556 g/d die höchsten Tageszunahmen über den Versuchszeitraum und unterschieden sich signifikant von jenen der FG X5 (-113 g/d), X10 (-144 g/d) und SB5 (-132 g/d). Tiere der FG SBEX unterschieden sich mit 507 g/d nicht von den weiteren FG. Zwischen dem Gehalt an TIA im AF und den täglichen Zunahmen herrscht ein enger linearer Zusammenhang ($R^2 = 0,74$; Abbildung 1). Ein vergleichbares Ergebnis konnte ebenfalls für die Futterverwertung nachgewiesen werden, die mit steigendem Gehalt an TIA zunehmend abnahm ($p<0,05$). Mit einem Gehalt an TIA von 1,61 g/kg in FG X10 konnte eine signifikante Verschlechterung in der Futterverwertung im Vergleich zu SES, SBEX und X5 nachgewiesen werden. Daraus errechnet sich bei Zunahme von 1 g TIA pro kg Alleinfuttermittel eine Verschlechterung der Futterverwertung um 0,24 kg/kg ($R^2 = 0,97$; Abbildung 1). Die Kalkulation des N-Ansatzes pro Tier bestätigt dies. Hinsichtlich der N-Ausscheidung gab es keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Der höhere TIA-Wert in den Gruppen X10 und SB5 führte zu signifikant niedrigeren Lebendmassen zu Versuchsende.
Die Tageszunahmen der SES gefütterten Tiere lagen auf einem hohen Niveau. Die Futterverwertung war hingegen schlechter als am Betrieb üblich, was auf den Umstand, dass am Betrieb üblicherweise pelletiertes anstelle von mehligem Futter eingesetzt wird, zurückgeführt werden könnte (SALA and DELIA 2012).

WETSCHERREK et al. (2017) konnten beim Einsatz von 5% (1.22 g/kg TIA im AF) bzw. 10 % (1.83g/kg TIA im AF) unbehandelter Sojabohne der Sorte Xonia im Austausch gegen SES (0.57 g/kg TIA im AF) keinen Unterschied in der Leistung feststellen. Wohingegen unter 10% -igem Einsatz der herkömmlichen unbehandelten Sojabohne (3.54 g/kg TIA im AF) 100 g geringere Tageszunahmen zur Kontrollgruppe statistisch absicherbar waren. Auch wenn kein statistischer Unterschied herrschte, kann mit den Ergebnissen von Wetscherek et al. (2017) ein enger Zusammenhang zwischen den täglichen Zunahmen und TIA im Alleinfutter veranschaulicht werden ($R^2 = 0,96$). Als ein Grund für die mangelnde statistische Aussagekraft könnte die geringere Anzahl an Tieren bzw. Wiederholungen unter hohem Gehalt an Rohprotein in der Rationsgestaltung genannt werden.

PREIßINGER et al. (2010) stellten beim Einsatz von 10 % unbehandelten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht nach sechswöchiger Aufzuchtdauer etwa 20 % geringere Endgewichte (35,3 *vs.* 28,0 kg) fest. Ebenso waren die Tageszunahmen 30 % geringer (599 *vs.* 423 g), sowie die Futteraufnahme und -verwertung reduziert. Diese Ergebnisse decken sich mit den Daten aus dem vorliegenden Fütterungsversuch.

Unter der Annahme eines 20 %-igen Einsatzes eines Sojafuttermittels mit 4 g/kg TIA ergibt sich rechnerisch ein Gehalt an TIA von 0,80 g/kg im AF. Hierzu kann mit dargestellten Ergebnissen veranschaulicht werden, dass die täglichen Zunahmen deutlich sinken (ca. 100 g/Tag).

Tabelle 3: **Ergebnisse aus dem Leistungsversuch**

	Futtergruppe					SEM	p-Wert
	SES	**SBEX**	**X5**	**X10**	**SB5**		
Einstallgewicht, kg	10,8	10,7	10,8	10,8	10,8	0,09	0,999
Ausstallgewicht, kg	29,8^{a}	28,1^{ab}	25,9^{ab}	24,9^{b}	25,3^{b}	0,53	0,005
Zuwachs, kg	19,0^{a}	17,3^{ab}	15,1^{ab}	14,1^{b}	14,5^{b}	0,56	0,012
Tägl. Zunahme, g/d	556^{a}	507^{ab}	443^{b}	412^{b}	424^{b}	14,8	0,002
Futteraufnahme, g/d	942^{a}	849^{ab}	776^{b}	806^{ab}	764^{b}	0,02	0,006
TIA-Aufnahme, mg/d	593^{cd}	467^{d}	683^{c}	1.298^{a}	1.008^{b}	59,1	<0,001
Futterverwertung, kg/kg	1,70^{a}	1,68^{a}	1,75^{a}	1,96^{b}	1,83^{ab}	0,03	0,001
N-Aufnahme, g	911	821	783	789	761	20,0	0,132
N-Ansatz, g	487^{a}	444^{ab}	386^{ab}	360^{b}	372^{b}	14,3	0,012
N-Ausscheidung, g	424	377	396	429	389	9,83	0,390

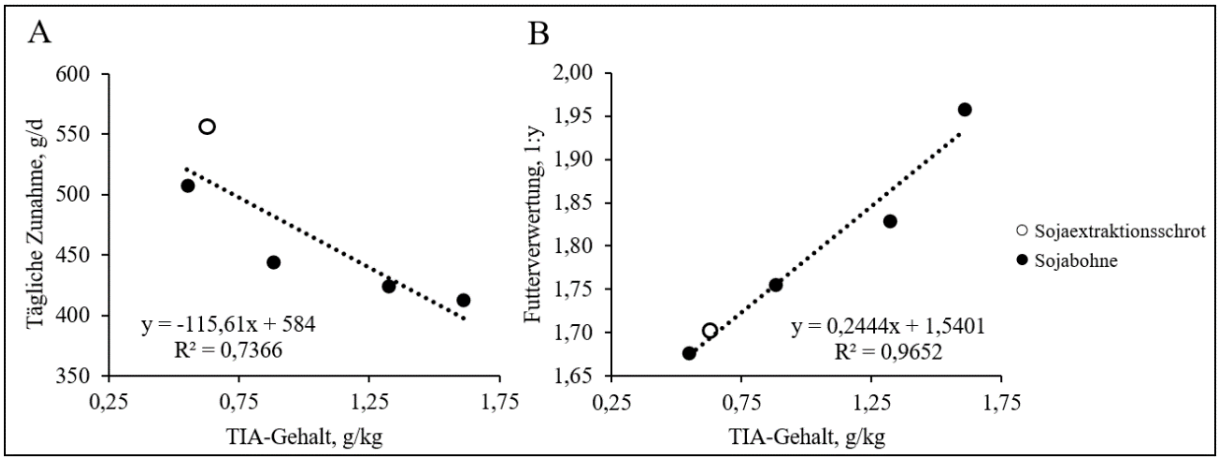


Abbildung 1: **Korrelation zwischen TIA-Gehalt im Alleinfutter und der täglichen Zunahme (A) bzw. der Futterverwertung (B) basierend auf den Fütterungsgruppen**

Zusammenfassung

Mit steigender Sojaanbaufläche steigt das Interesse der Landwirt:innen hofeigenen Soja in der Schweinefütterung einzusetzen – im Idealfall ohne Hitzebehandlung zur Inaktivierung der TIA. Aktuell sind am österreichischen Saatgutmarkt Sojabohnensorten, die züchterisch im Gehalt an TIA reduziert sind, erhältlich. In einem Ferkelfütterungsversuch wurde der Einfluss eines teilweisen Ersatzes von herkömmlichem Sojaextraktionsschrot durch eine dieser neuen Sorten auf die Aufzuchtleistung untersucht. Die Tageszunahmen lagen bei 5 %-iger (-113 g) bzw. 10 %-iger (-144 g) Substitution signifikant unter den Leistungen der Kontrollgruppe. Ebenso war die Futterverwertung bei 10%igem Einsatz um 0,26 kg/kg signifikant schlechter. Zudem konnte ein enger Zusammenhang zwischen TIA im Alleinfutter und den täglichen Zunahmen (R^2=0,74) sowie der Futterverwertung (R^2=0,97) festgestellt werden. Auf Basis dieses Versuches kann somit keine generelle Einsatzempfehlung für züchterisch TIA-reduzierte Sojabohnen ohne Hitzebehandlung in der Ferkelaufzucht abgegeben werden. Zur Vermeidung von Minderleistungen empfiehlt sich vor der Verfütterung hofeigener Sojabohnen eine Analyse des TIA-Gehaltes.

Abstract

Farmers are becoming more and more interested in using own farm-grown soybeans to feed pigs, ideally without heat treatment. Currently, there are some soybean varieties with reduced TIA content available on the Austrian seed market. In a piglet feeding trial, the influence of a partial replacement of conventional soybean meal by one of these new varieties on rearing performance was investigated. Daily gain

was significantly decreased substituting 5 % (-113 g) or 10 % (-144 g) untreated soybeans. Feed conversion rate was significantly declined by 0.26 kg/kg after substitution of 10 % . In addition, a strong correlation between TIA in the complete feed and daily gain (R^2=0.74) resp. feed conversion rate (R^2=0.97) was observed. Based on this trial, no general recommendation for the use of TIA-reduced soybeans without heat treatment can be given for piglet feed. An analysis of the TIA content is recommended before feeding farm-grown soybeans.

Literatur

AMA [AGRAR MARKT AUSTRIA] (2022): Getreide- und Ölsaaten – Anbaufläche, Erträge und Marktleistung. https://www.ama.at (10.03.2023)

BATTERHAM ES, SAINI HS, ANDERSEN LM, BAIGENT RD (1993): Tolerance of growing pigs to trypsin and chymotrypsin inhibitors in chickpeas (*Cicer arietinum*) and pigeonpeas (*Cajanus cajan*). J. Sci. Food Agric., 61 (2): 211-216

CLARKE E, WISEMAN J (2007): Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. British Poultry Science, 48(6), 703–712. doi:10.1080/00071660701684255.

CLARKE E, WISEMAN J (2005): Effects of variability in trypsin inhibitor content of soya bean meals on true and apparent ileal digestibility of amino acids and pancreas size in broiler chicks. In: Anim. Feed Sci. Technol. 121 (1-2), S. 125–138.

DEUTSCHES INSTITUT FUER NOMRUNG (2001): DIN EN ISO 14902:2002-02. In Determination of Trypsin Inhibitor activity of soya products, Berlin.

DLG [DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT E.V.] (2014): Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere, 2. Auflage. Arbeiten der DLG, Band 199. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

FREITAG M, DURST L, THEOBALD P, WESTENDARP H, MAHLKOW-NERGE K (2020); On-Farm Research: Leitfaden zur Durchführung von Feldversuchen in der Tierernährung. Züchtungskunde, 92(3), 145-158.

GfE, [AUSSCHUSS FÜR BEDARFSNORMEN DER GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE] (2006): Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung von Schweinen, 2006, DLG Verlag

KUENZ S, THURNER S, HOFFMANN D, KRAFT K, WILTAFSKY-MARTIN M, DAMME K, BRUGGER D (2022): Effects of gradual differences in trypsin inhibitor activity on the estimation of digestible amino acids in soybean expellers for broiler chickens. Poultry Science, 101740.

LfL [Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft] (2022): Bayrischer Pflanzenbauspiegel 2022. Auflage Juli 2022, Freising-Weihenstephan, 15

PREIßINGER W, LINDERMAYER H, PROBSTMEIER G, BAUER A (2010): Rohe Vollfettsojabohnen in der Ferkelaufzucht und Schweinemast. Grub/Schwarzenau

SALA F, DELIA E (2012): The effect of pellet feed on the performance and nutrient's digestibility ofweaned piglets. Albanian Journal of Agricultural Sciences, 11(4), 275.

VDLUFA [VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN E.V.] (2012). Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

WETSCHEREK W, TELSER H, SCHMIED R (2017): Neue Sojabohnensorte in der Ferkelaufzucht. In: Patz, F. (Hrsg.): Versuchs- und Arbeitsbericht 2017. Hatzendorf, 19-21

Adressen der Autoren

[1] Garant Tiernahrung GmbH, Raiffeisenstraße 3, A-3380 Pöchlarn

[2] Landesanstalt für Landwirtschaft Grub, Prof.-Dürrwaechter-Platz 1, D-85586 Poing

[3] Technische Universität München, Tierernährung und Metabolismus, Liesel-Beckmann Str. 2, D-85354 Freising-Weihenstephan

[*] Ansprechpartner: DI Markus Mader, mader@garant.co.at

Alternativ-, Ersatz- und Hybridfleischprodukte – Relevante Produkteigenschaften für junge Erwachsene

Meat alternatives, substitutes and hybrid meat products - Relevant product characteristics among young adults

Kathrin Heim*, Robert Fina, Thomas Poscher, Cornelia Felbinger

Einleitung

Laut der Food- and Agriculture Organization der Vereinten Nationen (FAO) wird die Weltbevölkerung bis 2050 voraussichtlich 9,1 Milliarden erreichen (UNITED NATIONS 2015). Infolgedessen besteht ein wachsender Bedarf an gesunden und nachhaltigen Ernährungssystemen. Aktuelle Ernährungslösungen werden oft als ungesund und nicht nachhaltig bezeichnet (WILLET et al. 2019), da sie entscheidende Ressourcen (z.B. Wasser, Biodiversität, Energie, Klima) die Ernährungssicherheit und auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigen (FRIEL et al. 2009). Die Lebensmittel- und insbesondere die Fleischproduktion gilt als eine der Hauptquellen menschlicher Belastungen für die Umwelt (POPP, LOTZE-CAMPEN und BODIRSKY 2010). Zudem wird der umfassende Fleischkonsum als gesundheitsschädlich angesehen (LARSSON & WOLK, 2006).
Eine ausreichende Zufuhr von Protein ist für optimales Wachstum, Entwicklung, Leistung und Gesundheit des einzelnen Menschen jedoch erforderlich (BOLAND et al. 2013). Pflanzenprotein ist dafür als eine naheliegende alternative Quelle (DE BOER und AIKING 2011).
Eine Personengruppe die hier als Zielgruppe besonders interessant ist, sind die Jugendlichen und jungen Erwachsenen am Übertritt von der familiär geprägten Ernährung hin zur eigenen Auseinandersetzung mit ihrem zukünftigen Ernährungsverhalten. Diese Jugendlichen stellen jene Gruppe dar, die das größte anteilige Wachstum an Flexitarier*innen bildet und daher für die Produktentwicklung besonders interessant ist. (HEINRICH BÖLL STIFTUNG 2021)
Inwiefern sich die heranwachsende Generation mit Fleischersatz und -alternativen identifizieren kann, welche sensorischen Attribute sich für die Beschreibung eignen und inwiefern ein rohstoffeigener Geschmack die Präferenz der Produkte beeinflusst, wurde bisher nur unzureichend erforscht und stellte daher den Fokus der aktuellen Studie dar.

Material und Methoden

Studiendesign: Für die systematische Ermittlung kamen die sensorischen Methoden Einfach beschreibende Prüfung, Napping und CATA zum Einsatz, welche in mehreren Stufen mit Jugendlichen im Alter von 13 bis 20 Jahren (n=387) an der Höheren Tourismusschule St. Pölten durchgeführt wurden.
Stimulusmaterial: Als Stimulusmaterial kamen sieben frittierte Nuggets (Chicken Nugget für die Gastro, Chicken Nugget für den Heimgebrauch, Hybridnugget mit 50 % Fleischanteil, Ersatznugget auf Sojaproteinbasis, Ersatznugget auf Erbsenproteinbasis, Gemüsenugget, Käsenugget) zum Einsatz. Diese wurden in Pflanzenöl frittiert, im Backrohr bis zur Verkostung warmgehalten, vierstellig codiert, und bei Verzehrstemperatur zu den sensorischen Verkostungen gereicht.
Testdurchführung: Im ersten Schritt wurden die sieben Nuggets von elf grundgeschulten Prüfpersonen sensorisch in den Merkmalen Aussehen innen, Geschmack und Textur innen beschrieben, um ein erstes Grundvokabular für die Fleisch-, Fleischersatz-, Alternativ- und Hybridnuggets zu generieren.
Im zweiten Schritt wurden die Nuggets genappt. Dafür wurden die Prüfpersonen (n=170) eingangs mit der Methode des Nappings vertraut gemacht werden. Sie wurden schließlich gebeten, die Nugget-Proben anhand ihrer Unterschiede bzw. Ähnlichkeiten zueinander in drei Durchgängen nach den Merkmalseigenschaften Aussehen innen, Geschmack und Textur innen auf einer Serviette zu positionieren und die jeweiligen Positionen auf das Napping-Koordinatensystem am Bildschirm zu übertragen. In weiterer Folge sollten Ähnlichkeits-Gruppen gebildet und mit verbalen sensorischen Beschreibungen versehen werden.
Die durch die Einfach beschreibende Prüfung und das Napping generierten Attributen für die sieben Nuggets wurden in weiterer Folge bereinigt und dienten in einem dritten Schritt als Basis für die Durchführung einer CATA (Check all that apply). Mittels CATA-Methode beschrieben

die Prüfpersonen (n=206) die Fleisch-, Fleischersatz- und Hybridnuggets sensorisch, beurteilten diese auf einer 9-Punkte-Hedonikskala und gaben Auskunft zu ihrem individuellen Ideal-Nugget.
Statistische Datenauswertung: Das Filtern und Reduzieren der in der Einfach beschreibenden Prüfung gesammelten Begriffe erfolgte in einem zweistufigen Prozess durch Sensorikerinnen, wobei der Schwerpunkt auf der Vermeidung von synonymen und hedonischen Begriffen lag.
Zur Auswertung der Unterschiede und Ähnlichkeiten der sieben Nuggets im Napping kam die Multiple Faktorenanalyse zum Einsatz. Die gesammelten Begriffe wurden anschließend wie bei der EbP in einem zweistufigen Prozess reduziert.
Für die Auswertung der CATA-Daten wurde über den Cochran Q-Test, einer Korrespondenzanalyse, und Penalty-Analysen bewerkstelligt, die Attributenlisten weiter zu bereinigen, indem ungeeignete Begriffe zur Beschreibung und Unterscheidung der Nugget-Proben sowie ungeeignete Probandendaten eliminiert wurden und die Präferenzen der Stichprobe mit der Idealvorstellung eines Nuggets verglichen werden konnten. So konnten schließlich die für die Zielgruppe wesentlichen sensorischen Attribute für die Produktgruppe der Nuggets generiert werden und eine Aussage darüber getroffen werden, inwiefern sich Jugendliche und junge Erwachsene mit Fleischersatz und -alternativen identifizieren können, welche sensorischen Attribute für sie wesentlich sind und inwiefern ein rohstoffeigener Geschmack die Präferenz der Produkte beeinflusst.

Ergebnisse und Diskussion

Auch wenn alle sieben abgetesteten Nuggets von den Jugendlichen mit guten Akzeptanzwerten versehen wurden, zeigen die Ergebnisse zur Idealvorstellung eines Nuggets jedoch immer noch, dass dieses vor allem als fleischartig, saftig und kompakt beschrieben wird.
Über die drei behandelten Merkmalseigenschaften Aussehen innen, Geschmack und Textur innen lässt sich zusammenfassen, dass die Optik bei Nuggets als sehr wesentlich angesehen wird und auch bereits durchaus in allen Varianten auf Anklang stößt, wobei ein bräunlicher Farbton vor einem gräulichen bevorzugt wird.
In der Textur unterscheiden sich die abgetesteten Nuggets am deutlichsten. Während die Chicken Nuggets durchwegs als fleischartig, saftig und kompakt beschrieben werden, sind bei den Alternativen und Ersatzprodukte die Attribute zäh, trocken, klebrig und feinporig vorherrschend.
Geschmacklich ist die Akzeptanz abhängig vom Erkennen der eingesetzten Hauptrohstoffe. Zwar wird bei den pflanzlich basierten Nuggets erkannt, dass hier, wie in Abbildung 1 ersichtlich, gemüse- oder getreidehaltige Rohstoffen eingesetzt wurden, die sich von den gewohnten Chicken Nuggets unterscheiden, eine eindeutige Klassifizierung und Benennung konnte meist jedoch nur unterstützt durch eine vorgegebene Attributenliste in der CATA gegeben werden. So führte das Erkennen von Karfiol als Hauptkomponente im Hybridnugget beispielsweise zu einer höheren Akzeptanz, als wenn dieser nicht erkannt und somit als Fremdgeschmack wahrgenommen wird. Daraus lässt sich ableiten, dass die adäquate sensorische Beschreibung von Ersatz-, Alternativ-, und Hybridprodukten entscheidend für die Akzeptanz dieser ist.

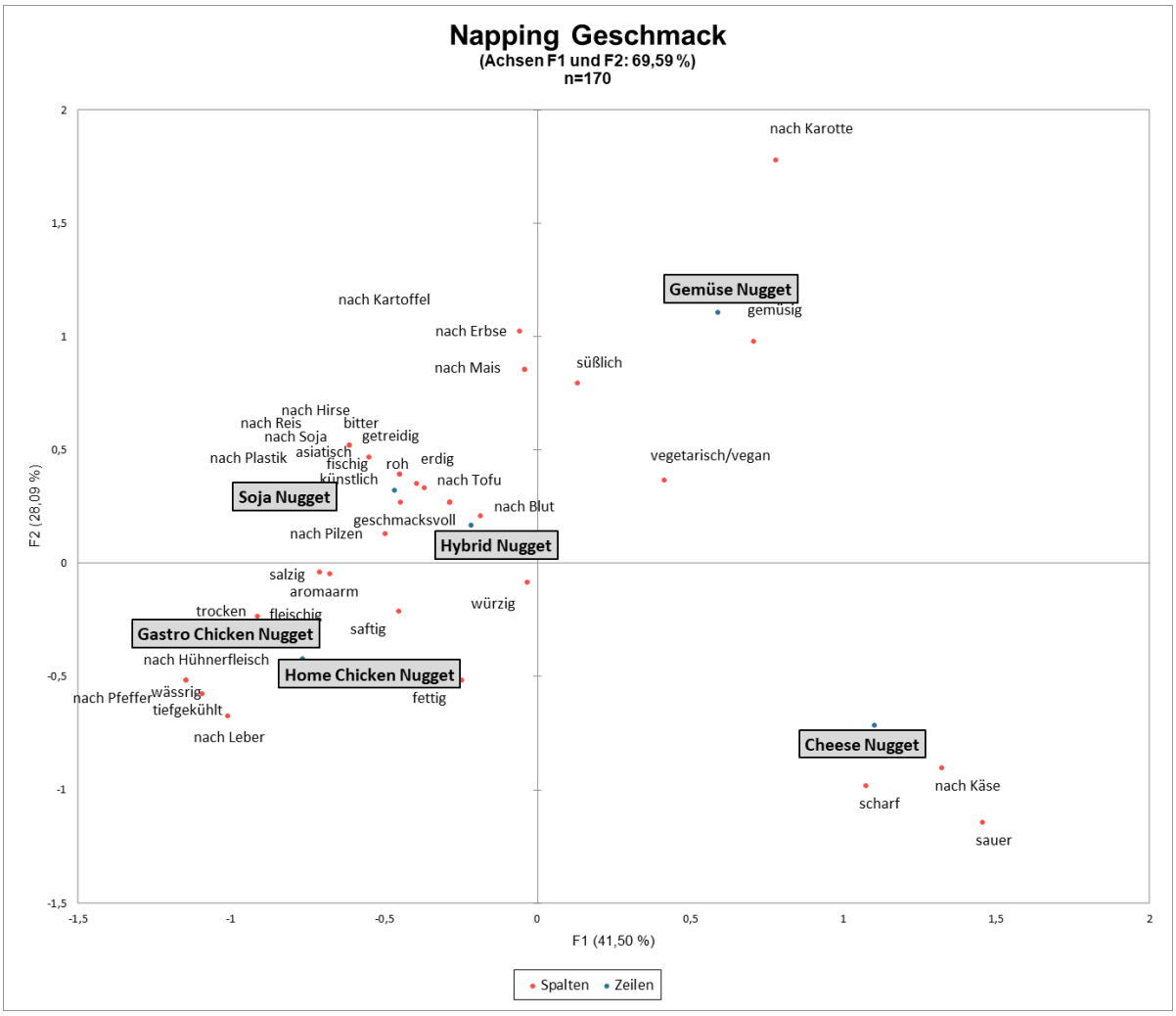


Abbildung 1: **Vergleich der Akzeptanzwerte zwischen den Experimentalgruppen und zur uninformierten Kontrollabbildung**

Eine vorhandene Aversion oder Neophobie im Ernährungsverhalten der Jugendlichen zeigte nur sehr geringe Einflüsse auf die Akzeptanz der unterschiedlichen Nuggets-Kategorien und kann als vernachlässigbar angesehen werden. Diese Erkenntnis lässt den Schluss zu, dass Nuggets insgesamt sowohl als Fleisch, aber auch als Ersatz-, Alternativ- oder Hybridprodukte als Produkt geeignet sind, um einen ersten Schritt hinsichtlich pflanzenbasierter Ernährung zu setzen.

Zusammenfassung

Aus Gründen der Tierethik, des Umweltschutzes und der menschlichen Gesundheit wird propagiert, den Konsum tierischer Lebensmittel zu reduzieren und pflanzliche Proteinquellen zu bevorzugen. Eine verstärkte Nutzung pflanzlicher Ersatzprodukte wird jedoch nur dann erfolgreich sein, wenn die Produkte für die Konsument*innen sensorisch attraktiv genug sind. Wie Ersatz-, Alternativ- und Hybridprodukte sensorisch beschrieben werden können, welche Rolle dabei der Eigengeschmack der produktspezifischen Basiszutaten spielt und in welchen Eigenschaften sie den Referenzprodukten gleichen müssen, blieb bisher weitgehend ungeklärt.
In einer groß angelegten Studie mit 250 Jugendlichen und jungen Erwachsenen, jener Zielgruppe die das größte Wachstum an Fleischreduzierer*innen aufweist, wurde untersucht, inwiefern sich die heranwachsende Generation mit Fleischalternativen in Form von Nuggets identifizieren kann, welche sensorischen Attribute sich für die Beschreibung eignen und inwiefern ein rohstoffeigener Geschmack die Präferenz der Produkte beeinflusst. Zum Einsatz kamen dabei die sensorischen Methoden Einfach beschreibende Prüfung, Napping und CATA.
Die ersten Ergebnisse zeigen, dass die einzelnen Produkte insbesondere in Geschmack und Textur unterschiedlich im Vergleich zu den Vollfleischvarianten beschrieben werden, wobei zwar erkannt wird,

dass alternative Rohstoffe eingesetzt werden, konkret benannt werden können diese jedoch weitgehend nicht. Zudem konnte ermittelt werden, dass das etablierte sensorische Fleischvokabular für die Beschreibung der Alternativen erweitert werden sollte.

Abstract

For reasons of animal ethics, environmental protection and human health, it is propagated to reduce the consumption of animal foods and to prefer plant protein sources. However, an increased use of plant-based substitute products will only be successful if the products are sensory attractive enough for consumers. How substitute, alternative and hybrid products can be described in sensory terms, what role the intrinsic flavor of the product-specific base ingredients plays in this and in which properties they must resemble the reference products, has remained widely unclear until now.
In a large-scale study with 250 adolescents and young adults, the target group with the highest growth in meat reducers, it was investigated to what extent the growing generation can identify with meat alternatives in the form of nuggets, which sensory attributes are suitable for the description and to what extent a raw material-specific taste influences the preference of the products. The sensory methods used were single descriptive testing, napping and CATA.
The initial results show that the individual products are described differently compared to the meat variants, particularly in terms of taste and texture, although it is recognized that alternative raw materials are used, these cannot be specifically named to a large extent. In addition, it could be determined that the established sensory meat vocabulary should be expanded for the description of the alternatives.

Literatur

BOLAND M J, RAE A N, VEREIJKEN J M, MEUWISSEN M P M, FISCHER A R H, VAN BOEKEL, M A J S, RUTHERFURD, S M, GRUPPEN H, MOUGHAN P J and HENDRIKS W H, 2013: The future supply of animal-derived protein for human consumption. Trends in Food Science and Technology, 29(1), 62–73. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.07.002

DE BOER J and AIKING H, 2011: On the merits of plant-based proteins for global food security: Marrying macro and micro perspectives. Ecological Economics, 70(7), 1259–1265. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.03.001

FRIEL S, DANGOUR A D, GARNETT T, LOCK K, CHALABI Z, ROBERTS I, BUTLER A, BUTLER C D, WAAGE J, McMICHAEL A J and HAINES A, 2009: Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. The Lancet, 374(9706), 2016–2025. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61753-0

HEINRICH BÖLL STIFTUNG, 2021: Fleischatlas 2021. Heinrich-Böll-Stiftung (Hrsg.) ISBN 978-3-86928-224-4, https://www.boell.de/sites/default/files/2022-01/Boell_Fleischatlas2021_V01_kommentierbar.pdf

LARSSON S C and WOLK A, 2006: Meat consumption and risk of colorectal cancer: A meta-analysis of prospective studies. International Journal of Cancer, 119(11), 2657–2664. https://doi.org/10.1002/ijc.22170

POPP A, LOTZE-CAMPEN H and BODIRSKY B, 2010: Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. Global Environmental Change, 20(3), 451–462. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.02.001

United Nations. (2015). World population prospects: The 2015 revision, key findings and advance tables. Working paper no. ESA/P/WP.241.

WILLET W, ROCKSTRÖM J, LOKEN B, SPRINGMANN M, LANG T, VERMEULEN S, GARNETT T, TILMAN D, DeCLERCK F, WOOD A, JONELL M, CLARK M, GORDON L J, FANZO J, HAWKES C, ZURAYK R, RIVERA J A, De VREIS W, MAJELE SIBANDA L, … MURRAY C J L, 2019: Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. The Lancet, 393(10170), 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Adresse der Autoren

Fachhochschule Wr. Neustadt, Campus Wieselburg, Zeiselgraben 4, 3250 Wieselburg

* Ansprechpartner: Kathrin HEIM BA MA, kathrin.heim@fhwn.ac.at

Bedeutung der Zitzenreinigung zur Vermeidung des Eintrags von Clostridiensporen in die Rohmilch

Relevance of teat cleaning to reduce raw milk contamination with clostridial endospores

Johanna Burtscher[1*], Tamara Rudavsky[2], Viktoria Neubauer[3], Ulrike Zitz[1] und Konrad J. Domig[1]

Einleitung

Buttersäure bildende Clostridien verursachen schwere Qualitätsmängel in Schnitt- und Hartkäse. Ihre Endosporen sind ubiquitär und können während des Melkens als Kontaminationen in die Rohmilch gelangen. Um bakterielle Kontaminationen in der Rohmilch zu vermeiden, ist die Zitzenreinigung vor dem Melkvorgang von großer Bedeutung. Über die Effektivität verschiedener in der Routine angewandten Zitzenreinigungsmethoden hinsichtlich der Reduktion von Clostridiensporen gibt es bislang jedoch wenig Daten. Das Ziel dieser Studie war daher die Erforschung des Einflusses der Zitzenreinigung auf die Clostridiensporenkonzentrationen in realer Umgebung. Dazu wurde eine Beobachtungsstudie in österreichischen Milchviehbetrieben durchgeführt.

Material und Methoden

Milchviebetriebe: Acht österreichische Milchviehbetriebe wurden beprobt. Insgesamt hielten die Betriebe zwischen 18 und 50 Milchkühe der Rassen Fleckvieh, Holstein-Friesian und Braunvieh. Alle Betriebe verabreichten zumindest zeitweise Silagefutter während des Versuchszeitraums.
Probenahmezeiträume: Während fünf aufeinanderfolgender Probenahmezeiträume wurde Probenmaterial gesammelt: Sommer 2018 (16.07. – 21.08.), Winter 2018 (12.11. – 04.12., Betrieb C 14.01.2019), Frühling 2019 (18.03. – 02.04.), Sommer 2019 (29.07. – 20,08.), und Winter 2019 (18.11. – 03.12.). Eine 6. Probenahme musste wegen der COVID-19 Pandemie abgesagt werden.
Probenmaterial: Pro Betrieb wurden je 16 laktierende Kühe für die Beprobung ausgewählt. Mittels Tupfer wurden die Zitzen der Kühe vor und nach der Euterreinigung beprobt. Von jeder Kuh wurde ein steriles Sammelgemelk entnommen und eine Probe pro Betrieb wurde aus dem Hoftank entnommen.
Analysenmethode: Buttersäure bildende Clostridien wurden mittels Most Probable Number Methode bestimmt (AMP-6000 APS System, Medium AMPMedia666), wobei für die Untersuchung der Zitzenhautproben Milch hinzugefügt wurde (BRÄNDLE et al. 2018, BURTSCHER et al. 2023).

Ergebnisse und Diskussion

Die Clostridiensporenzahlen der in gepuffertem Peptonwasser gesammelten Zitzenhautabstriche vor und nach der routinemäßigen Zitzenreinigung durch den Landwirt wurden analysiert. Die Sporenzahlen reichten von 3,4 bis 8,4 log Clostridiensporen/L Peptonwasser vor der Reinigung und von 3,2 bis 7,8 log Clostridiensporen/L nach der Zitzenreinigung. Die Clostridiensporenzahlen waren signifikant niedriger nach der Zitzenreinigung ($p < 0,0001$, Wilcoxon-Test), mit einem mittleren Unterschied von 0,6 log-Einheiten. Da die untersuchte Probenfläche jedoch nicht standardisiert war und aufgrund der unterschiedlichen Zitzengrößen variierte, sind die relativen Werte relevanter als die absoluten Zahlen. Durchschnittliche Clostridiensporenreduktionen je Probenahmezeitraum und Betrieb sind in Tabelle 1 dargestellt. Im Durchschnitt führte die Reinigung der Zitzen vor dem Melken zu einer Verringerung der durchschnittlichen Ausgangssporenzahl um 76,2 %, was mit anderen Studien übereinstimmt BURTSCHER et al. 2023).

Tabelle 1: **Durchschnittliche Reduktion der Clostridiensporenzahl auf der Zitzenhaut nach der Zitzenreinigung in Milchviehbetrieben A-H während der Probenahmezeiträume (PN) 1-5**

		Durchschnittliche Sporenreduktion [log Clostridiensporen/L Peptonwasser]					
Betrieb		**PN 1 Sommer´18**	**PN 2 Winter´18**	**PN 3 Frühling´19**	**PN 4 Sommer´19**	**PN 5 Winter´19**	**PN1-5**
A	**x̄**	0,6	0,4	0,7	0,4	0,6	0,5
	SD	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
B	**x̄**	1,1	1,2	1,1	0,8	0,5	1,0
	SD	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3
C	**x̄**	0,4	0,9	1,0	0,7	0,6	0,7
	SD	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
D	**x̄**	0,1	0,6	0,5	0,0	0,6	0,4
	SD	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
E	**x̄**	0,6	0,6	0,8	0,7	0,9	0,7
	SD	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3
F	**x̄**	+0,2*	0,7	0,4	0,4	0,4	0,3
	SD	0,8	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
G	**x̄**	0,7	0,6	0,2	0,4	0,9	0,6
	SD	0,2	0,1	0,4	0,4	0,2	0,3
H	**x̄**	0,9	0,7	0,8	0,6	0,9	0,8
	SD	0,4	0,2	0,1	0,3	0,4	0,1
A-H	**x̄**	0,5	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6
	SD	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2

x̄…Arithmetischer Mittelwert, SD…Standardabweichung, *Steigerung der Sporenanzahl

Clostridiensporen im Sammelgemelk: Die Clostridiensporenzahlen in den Sammelgemelksproben lagen zwischen ≤1,9 log und 4,5 log Sporen/L Milch. Multiple Vergleiche zeigten signifikante Unterschiede in der Clostridiensporenzahl in Sammelgemelksproben der ausgewählten Betriebe ($p < 0,0001$). Es wurden saisonale Schwankungen der Clostridiensporenzahlen im Sammelgemelk beobachtet. In den Probenahmeperioden 1 und 4 (Sommer) waren die Sporenzahlen sehr niedrig (nahe oder unter der Nachweisgrenze) und in den Probenahmeperioden 2, 3 und 5 (Frühjahr und Winter) sehr hoch (nahe oder über der oberen Nachweisgrenze). Einer der Hauptgründe für die großen Schwankungen zwischen Sommer und Winter/Frühjahr war wahrscheinlich der Unterschied zwischen Weidehaltung und Silagefütterung (BURTSCHER et al. 2023).

Korrelationsanalysen: Es wurde eine signifikant starke positive Korrelation zwischen den Clostridiensporenzahlen der gereinigten Zitzen und den entsprechenden durchschnittlichen Sporenzahlen der Sammelgemelksproben ermittelt ($n = 191$, $p < 0,0001$, $r = 0,78$). Die Konzentrationen in Sammelgemelken und Tankmilch korrelierten ebenfalls stark ($n = 40$, $p < 0,0001$, $r = 0,84$) (BURTSCHER et al. 2023).

Die deutliche Reduktion der Clostridiensporen auf der Zitzenhaut durch die Reinigung und die starken Korrelationen zwischen Ergebnissen der Zitzenhaut- und Milchproben verdeutlichen die Rolle der Zitzenreinigung als wichtige Hygienemaßnahme zur Vermeidung von Clostridienkontaminationen in Milch und zur langfristigen Sicherung der Hartkäsequalität.

Zusammenfassung

Buttersäure bildende Clostridien verursachen schwere Qualitätsmängel in Schnitt- und Hartkäse. Ihre Endosporen sind ubiquitär und können während des Melkens als Kontaminationen in die Rohmilch gelangen. Um bakterielle Kontaminationen in der Rohmilch zu vermeiden, ist die Zitzenreinigung vor dem Melkvorgang von großer Bedeutung. Über die Effektivität verschiedener in der Routine angewandten Zitzenreinigungsmethoden hinsichtlich der Reduktion von Clostridiensporen gibt es bislang jedoch wenig Daten. Das Ziel dieser Studie war die Erforschung des Effekts verschiedener Zitzenreinigungsmethoden zur Reduktion von Clostridiensporen in der Milch. Zu diesem Zweck wurden acht Milchviehbetriebe im Zeitraum von 1,5 Jahren fünf Mal beprobt. Clostridiensporen wurden auf den Zitzen vor und nach der Zitzenreinigung, im Sammelgemelk sowie in der Tankmilch jedes Betriebes mittels Most Probable Number Methode quantifiziert. Im Schnitt wurden Clostridiensporenkozentrationen auf den Zitzen um 0,6 log reduziert. Eine stark positive Korrelation zwischen Clostridiensporenkonzentrationen auf den Zitzen nach der Reinigung und im Sammelgemelk wurde ermittelt. Die Konzentrationen in Sammelgemelken und Tankmilch korrelierten ebenfalls stark. Die Ergebnisse verdeutlichen die Rolle der Zitzenreinigung als wichtige Hygienemaßnahme zur Vermeidung von Clostridienkontaminationen in Milch und zur Sicherung der Hartkäsequalität.

Abstract

Butyric acid producing clostridia (BAPC) cause the so-called late blowing defect, a serious quality problem in semi-hard and hard cheeses. Late blown cheeses are characterized by undesired slits and cracks, irregular eyes, and off-flavors due to excessive amounts of gas and organic acids produced by clostridia. Clostridial transfer to raw milk can occur during milking through dirty teats. There-fore, teat cleaning before milking is a key factor in preventing clostridial contamination of the milk. However, different cleaning methods are used and little information is available on the efficacy of routine teat cleaning in reducing clostridial endospores. The main objectives of this study were to assess the extent of udder contamination with BAPC spores and to investigate the efficacy of routine teat cleaning on BAPC spore counts in milk. In a longitudinal study, eight dairy farms were visited during five sampling events. Clostridial spore counts were quantified from teat skin before and after routine teat cleaning, in pooled quarter milk samples from individual cows, and in bulk tank milk samples using a most probable number method. In addition, farm management data were collected periodically through a survey and average cow cleanliness was assessed by a veterinarian. On average, teat cleaning resulted in a 0,6 log unit reduction in BAPC spores on teat skin and a strong positive correlation was found between BAPC spore concentrations on teat skin after cleaning and in pooled quarter milk samples. Seasonal variations and the potential influence of differences in farm management were also noted. Interestingly, average cow cleanliness correlated strongly with BAPC spore levels in milk, suggesting the potential for a quick and rough estimation method of clostridial contamination that could be implemented by farmers.

Literatur

BRÄNDLE J, HEINZLE, L, FRABERGER, V, BERTA, J, ZITZ, U, SCHINKINGER, M, STOCKER, W, KNEIFEL, W, DOMIG, KJ (2018): Novel approach to enumerate clostridial endospores in milk. Food Control 2018, 85, 318–326.

BURTSCHER J, RUDAVSKY, T, ZITZ, U, NEUBAUER, V, DOMIG, KJ (2023): Importance of Pre-Milking Udder Hygiene to Reduce Transfer of Clostridial Spores from Teat Skin to Raw Milk. Microorganisms 2023, 11, *zur Veröffentlichung angenommen.*

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur Wien, Department für Lebensmittelwissenschaften und -technologie, Institut für Lebensmittelwissenschaften, Muthgasse 18, 1190 Wien

[2] FFoQSI - Austrian Competence Centre for Feed and Food Quality, Safety & Innovation, Technopark 1D, 3430 Tulln

[3]Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit, Veterinärplatz 1, 1210 Wien

[*] Ansprechpartnerin: Ass.Prof. Dr. Johanna Burtscher, johanna.burtscher@boku.ac.at

Algen als Lebensmittelzutat? – Identifikation der Kern-Zielgruppen

Algae as a food ingredient? – identification of key target groups

Andrea Reiterlehner*, Kathrin Heim, C. Felbinger, R. Fina, G. Zweytick

Einleitung

Angesichts der wachsenden Weltbevölkerung und des Bedarfs an gesunder und nachhaltiger Ernährung könnten Algen als neuer Lebensmittelrohstoff eine gewinnbringende Alternative zu tierischen Proteinen für den menschlichen Verzehr darstellen. (Palmieri & Bonaventura Forleo, 2020)
Algen können im Hinblick auf eine umweltfreundliche Lebensmittelproduktion auf nicht landwirtschaftlich nutzbaren Flächen produziert werden und ermöglichen eine hohe Produktionsrate pro Quadratmeter (Becker, 2006), wobei jedoch Lebensmittelneophobie, die Abneigung oder Vermeidung, unbekannte Lebensmittel zu essen, ein Hindernis darstellt. (Barrena & Sánchez, 2012) Obwohl der Verzehr von Algen mit verschiedenen gesundheitlichen Vorteilen in Verbindung gebracht wird (Al-Thawadi, 2018; Prager, 2017), könnten sie in Westeuropa Abscheu hervorrufen, während sie in der asiatischen Esskultur fest verankert sind. Zutaten wie diese passen nicht ohne Weiteres in die Gerichte der westeuropäischen Küche (de Boer & Aiking, 2019).
Im Zuge des Projekts Algae4Food wurden unterschiedliche Lebensmittelprodukte mit Spirulina (Proteingehalt von 63 % in der Trockenmasse (Becker, 2007)) entwickelt, um die regelmäßige Einnahme von Spirulina durch innovative Produkte zu ermöglichen. Spirulina gehört zu den Cyanobakterien (umgangssprachlich auch Blaualge genannt) und wird in vielen Medien als neues Superfood und als Rohstoff mit gesundheitlichen Vorteilen ausgelobt.

Ziel dieser Studie war es, mögliche Zielgruppen für den Algenkonsum zu identifizieren, diese zu beschreiben und herauszuarbeiten, welche Kommunikationsstrategien notwendig sind, um KonsumentInnen anzusprechen und so relevante Informationen für einen gelingenden Markteintritt zu erheben.

Material und Methoden

Studiendesign: Zur Ermittlung der Zielgruppe wurde das Marktpotential in Form eines Onlinefragebogen im experimentellen Design mit vier Gruppen, insgesamt 120 TeilnehmerInnen, erhoben. Hierzu wurden drei der entwickelten Prototypen mit Spirulina in Form eines Fotos präsentiert und die Erwartungshaltung an den Geschmack mittels einer 7-Punkte-Hedonikskala und einer kurzen CATA-Frage mit zwölf Attributen zu jedem Produkt abgefragt. Um die Geschmackserwartungen im Online-Fragebogen zu erheben, wurden 360°-Videos der drei Produkte gezeigt.
34 der ProbandInnen stellten die Kontrollgruppe dar und erhielten keine weiteren Informationen. In den drei Experimentalgruppen wurden Informationen zur Regionalität und nachhaltigen Produktion (n = 31) und zur Gesundheit (n = 27) zur Verfügung gestellt bzw. eine Gruppe erhielt eine sensorische Beschreibung des Geschmacks, Geruchs und Textur (n = 28).
Weiteres wurde die willingness to pay mittels der Van Westendorp Methode für die randomisiert gezeigten Produkte ermittelt. Die ProbandInnen führten auch eine Selbsteinschätzung bezüglich ihrer Bereitschaft zum Konsum von algenhaltigen Lebensmitteln (Neophilie) durch bzw. gaben an, ob bereits algenhaltige Lebensmittel konsumiert wurden. Darüber hinaus ordnete sich jede/r TeilnehmerIn einer vordefinierten Konsumentengruppe nach Palmieri & Bonaventura Forelo (2020) zu.
Proben: Als Stimuli wurden ein Burger, Porridge und Knödel jeweils mit Spirulina ausgewählt.
Der Burger wurde als Repräsentant eines typischen Food Festival Produktes gewählt, da laut Literatur innovative Produkte in einem solchen Verzehrskontext besser angenommen werden. (Tuorila & Hartmann, 2020) Das Porridge könnte durch ein Farbspiel, welches bei der Beigabe von Wasser erfolgt, einen positiven Einfluss auf die Akzeptanz des neuen Produktes haben. (Mouritsen et al., 2018) Das dritte Produkt, der Spinatknödel, ist möglichen KonsumentInnen bereits als grünes Lebensmittel vertraut und es wird somit angenommen, dass dieses Produkt mit Spirulinaanteil wahrscheinlicher akzeptiert wird. (Chapman et al., 2015)
Datenerhebung: Die Datenerhebung erfolgte in der Online-Umfrage über die Software Qualtrics® und im Akzeptanztest über die Software RedJade®.

Die Teilnehmer der Online-Befragung mussten Fragen zur Bereitschaft, zu verfügbaren Informationen und zum bisherigen Konsum von Algen in Lebensmitteln anhand vordefinierter Kategorien beantworten, bevor sie die Geschmackserwartungen in Form von 7-Punkte-Hedonics-Fragen zu den drei in randomisierter Reihenfolge gezeigten 360°-Aufnahmen angeben konnten. Der Fokus des Akzeptanztests lag auf den sensorischen Eigenschaften der Produktproben, die anhand einer 9-Punkte-Hedonik-Skala und JAR-Skalen ermittelt wurden.
Datenauswertung: Zur statistischen Auswertung der gewonnenen Daten wurden die Programme IBM SPSS und Microsoft Ad on XLSTAT verwendet. Die gemischte ANOVA wurde verwendet, um signifikante Unterschiede zwischen den Testgruppen und den Produktbewertungen zu berechnen und somit den Einfluss der unterschiedlichen Produktinformationen zu ermitteln. Die Multiple Korrespondenzanalyse (MCA) und die Hauptkomponentenanalyse gemischter Daten (PCAmix) in Kombination mit agglomerativ-hierarchischem Clustering (AHC) wurden zur Untersuchung und Beschreibung möglicher Zielgruppen eingesetzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass der Konsum von essbaren Algen beinahe allen TeilnehmerInnen bekannt war, auch wenn vor allem FlexitarierInnen und VegetarierInnen bereits einmal oder mehrmals Algen als Zutat in Lebensmitteln konsumiert haben. Die Bereitschaft zum Konsum zeigte sich als unabhängig von der bisherigen Erfahrung oder der Ernährungsform.

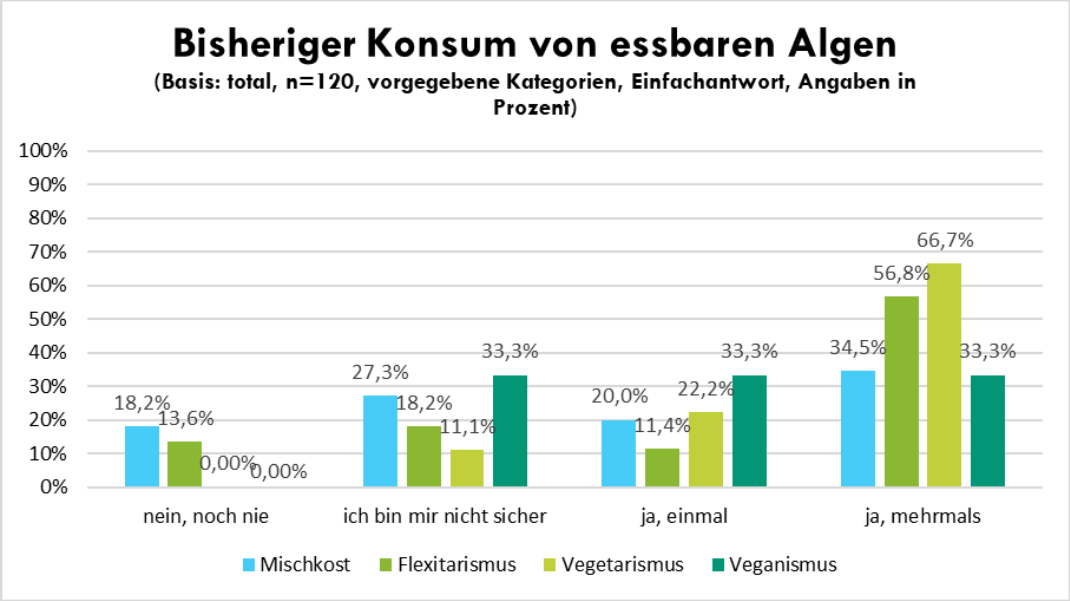


Abbildung 16: **Bisheriger Konsum von essbaren Algen**

Entgegen der Erwartungen zeigte sich, dass das Priming mit gesundheitsbezogenen, nachhaltigkeitsbezogenen und auch sensorischen Angaben zu den drei Stimulusprodukten zwar tendenziell aber nicht signifikant höhere Geschmackserwartungen hinsichtlich der drei untersuchten Lebensmittel bei den TeilnehmerInnen der Onlinestudie liefert. Insgesamt liegt die Geschmackserwartung mit Mittelwerten zwischen 3,22 (Burger in Experimentalgruppe 2) und 4,79 (Porridge in der Kontrollgruppe) auf der 7-Punkte Hedonik-Skala deutlich unter den Werten der tatsächlichen Geschmackswahrnehmung im Akzeptanztest, wo der Burger 7,32, die Knödel 6,8 und der Porridge 6,75 im Mittel auf der 9 Punkte-Hedonik-Skala erreichen konnten. Die Geschmacksbewertungen im Akzeptanztest waren darüber hinaus signifikant höher als die Bewertungen des Aussehens der Produkte, die wie im Onlinefragebogen auch im Akzeptanztest nur mittelmäßige Mittelwerte erreichten.
Neben den demografischen Daten wie Alter und Geschlecht lieferten auch die familarity sowie die Erfahrung mit Algen als Lebensmittel keine signifikanten Unterschiede auf die Geschmackserwartung der drei Produkte.

Mit Hilfe von MCA und PCAmix konnten vier Hauptzielgruppen identifiziert werden: Die Gruppe der "Ängstlichen und Offenen" besteht vor allem aus der jüngeren Zielgruppe, die Allesesser sind und bisher wenig Berührungspunkte mit Algen in Lebensmitteln hatten. Für diese Gruppe steht der Geschmack als Auswahlkriterium für Lebensmittel im Vordergrund. Eine zweite Gruppe, die "Neophilen und Sensiblen", beschreibt vor allem weibliche Vegetarier, für die neben dem Geschmack auch das Aussehen entscheidend für die Wahl ist. Die Gruppe der "Furchtlosen und Unbekümmerten" besteht ebenfalls hauptsächlich aus Frauen, die Algenprodukten gegenüber sehr aufgeschlossen sind und diese bereits probiert haben oder regelmäßig konsumieren. Die größte mögliche Zielgruppe "neutral", der sich fast 40 % der Teilnehmer zuordneten, beschreibt Menschen, die meist Allesfresser oder Flexitarier sind und ebenfalls offen für neue Lebensmittel sind, aber nicht aus persönlichem Engagement nach neuen Produkten suchen. Für diese Menschen ist der Geschmack bei der Auswahl von Lebensmitteln entscheidend.
Bei der Datenanalyse teilte AHC die Teilnehmer außerdem in vier Klassen ein, die sich in ihren Geschmackserwartungen in Bezug auf die drei gezeigten Produkte signifikant unterschieden. Die Klasse, die signifikant höchsten Geschmackserwartungen in Bezug auf die drei Produkte im Test aufwies, ähnelt der von Palmieri und Bonaventura Forelo (2020) "Fearless and Unsconcernes". Diese Gruppe konsumiert bereits Algen und ist sehr aufgeschlossen gegenüber neuen Lebensmitteln. Um diese Zielgruppe weiterhin an sich zu binden und zu erweitern, ist es unerlässlich, ihr immer wieder neue Innovationen zu bieten.

Tabelle 1: **Hauptzielgruppen, eigene Darstellung**

Fearless and unconcerned (15 %)	20-39, regionale Produktion wichtig, hohe Produktbewertungen, flexitarisch, vegetarisch, Optik wichtig, weiblich, haben bereits Erfahrung, sind gewillt Algen zu essen
Scared and open (10 %)	junge Gruppe unter 20, 40-49 oder 60-69, unsicher, probiert eher nicht gerne Neues, hat noch nichts von essbaren Algen gehört, eher zurückhaltend, Geschmack am wichtigsten, Mischkost
Neophiliac and sensitive (12,5 %)	schon von Algen gehört, evtl. auch einmal probiert, vorsichtig bei neuen Produkten, Optik wichtig, weiblich, 20-39, Flexitarier, Vegetarier
Neutral (39,2 %)	Geschmack und Aussehen, männlich und weiblich, omnivore oder vegetarisch, teilweise schon von Algen gehört oder auch gekostet oder unsicher, auch unter Umständen gewillt, zu essen, hin und wieder offen für neues, 40-49

Die zweite und größte Klasse (50 % der Teilnehmer), die mit der Clusteranalyse analysiert wurde, unterscheidet sich in wenigen, aber wesentlichen Punkten. Diese Klasse ist vorsichtiger bei der Produktauswahl und entspricht den Gruppen "neutral", "neophil und sensibel" sowie "furchtlos und unbekümmert". Dieser Gruppe muss die Möglichkeit gegeben werden, Algenprodukte zu probieren und sie auf diese Weise sensorisch kennen und schätzen zu lernen.

Zusammenfassung

Angesichts der wachsenden Weltbevölkerung und des Bedarfs an gesunder und nachhaltiger Ernährung könnten Algen als neuer Lebensmittelrohstoff eine gewinnbringende Alternative zu tierischen Proteinen für den menschlichen Verzehr darstellen.
Im Zuge des Projekts Algae4Food wurden unterschiedliche Lebensmittelprodukte mit Spirulina entwickelt um die regelmäßige Einnahme von Spirulina durch innovative Produkte zu ermöglichen.
Im Folgenden galt es zu ermitteln, welche Zielgruppen angesprochen werden müssen, um Algen in die Ernährung zu integrieren sowie relevante Informationen für einen gelingenden Markteintritt zu erheben. Hierzu wurden drei der entwickelten Prototypen mit Spirulina, ein Burger, Spinatknödel und Instantporridge, in Form eines Fotos präsentiert und die Erwartungshaltung abgefragt. Um mögliche Zielgruppen zu beschreiben, wurden die Multiple Korresponenzanalyse (MCA) und Hauptkomponentenanalyse gemischter Daten (PCAmix) kombiniert mit agglomerativem hierarchischem Clustering (AHC).
Die Ergebnisse zeigen, dass vier Hauptzielgruppen, „Fearless and unconcerned“, „Scared and open“, „Neophilic and sensitive“, sowie „neutral“ identifiziert werden konnten, die sich in ihrer Erfahrung mit

Algen in Lebensmitteln, aber insbesondere in ihren Anforderungen an die gezielte Ansprache unterscheiden.
Entscheidend für die größte Gruppe „Neutral“ ist, dass sie keine Abneigung zeigen, jedoch Produkte mit Algen direkt zum Probieren angeboten werden müssen, da ihnen die Initiative fehlt, selbst zu Unbekanntem zu greifen.

Abstract

In view of the growing world population and the need for healthy and sustainable nutrition, algae as a new food raw material could represent a profitable alternative to animal proteins for human consumption.
In the course of the Algae4Food project, different food products containing spirulina were developed to enable the regular intake of spirulina through innovative products.
In the following it had to be determined which target groups have to be addressed in order to integrate algae into the diet as well as to collect relevant information for a successful market entry. For this purpose, three of the developed prototypes with spirulina, a burger, spinach dumplings and instant porridge, were presented in the form of a photo and the expectations were queried. To describe possible target groups, multiple correspondence analysis (MCA) and principal component analysis of mixed data (PCAmix) were combined with agglomerative hierarchical clustering (AHC).
The results show that four main target groups, "Fearless and unconcerned", "Scared and open", "Neophilic and sensitive", and "neutral" could be identified, differing in their experience with algae in food, but especially in their targeting requirements.
Crucial for the largest group "Neutral" is that they do not show any aversion, but products with algae must be offered directly for tasting, as they lack the initiative to reach for the unknown themselves.

Literatur

AL-THWADI, S. (2018): Public perception of algal consumption as an alternative food in the Kingdom of Bahrain. Arab Journal of Basic and Applied Sciences, 25(1), 1–12. https://doi.org/10.1080/25765299.2018.1449344
BARRENA, R., & SÁNCHEZ, M. (2013): Neophobia, personal consumer values and novel food acceptance. Food Quality and Preference, 27(1), 72–84. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.06.007
BECKER, E. W. (2007): Micro-algae as a source of protein. Biotechnology Advances, 25(2), 207–210. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002
DE BOER, J., & AIKING, H. (2019): Strategies towards healthy and sustainable protein consumption: A transition framework at the levels of diets, dishes, and dish ingredients. Food Quality and Preference, 73(November 2018), 171–181. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.012
PALMIERI N, BONAVENTURA FORLEO M: The potential of edible seaweed within the western diet. A segmentation of Italian consumers, International Journal of Gastronomy and Food Science, Volume 20, 2020, 100202, ISSN 1878-450X, https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100202.
MOURITSEN, O. G., RHATIGAN, P., & PÉREZ-LLORÉNS, J. L. (2018). World cuisine of seaweeds: Science meets gastronomy. International Journal of Gastronomy and Food Science, 14(September), 55–65. https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2018.09.002
TUORILA, H., & HARTMANN, C. (2020). Consumer responses to novel and unfamiliar foods. Current Opinion in Food Science, 33, 1–8. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.09.004

Adressen der Autoren

Fachhochschule Wiener Neustadt, Campus Wieselburg, Zeiselgraben 4, 3250 Wieselburg

* Ansprechpartner: Ing. Andrea Reiterlehner BEd., MA; andrea.reiterlehner@fhwn.ac.at

Ramularia, eine neue Lagerkrankheit des Apfels in Südtirol (Norditalien)

Dry lenticel rot – an emerging postharvest disease on apples in South Tyrol (Northern Italy)

Stefanie M. Primisser[1,2*], Evi Deltedesco[1], Sabine Öttl[1]

Einleitung

Die weltweite Lebensmittelnachfrage wird Prognosen zufolge in den kommenden Jahren stetig wachsen, deshalb gilt es, dem Schutz von Nutzpflanzen vor Schäden durch Krankheitserreger höchste Priorität einzuräumen. Aktuelle Herausforderungen liegen vor allem im Spannungsfeld der Bedrohung durch neue Pathogene im Angesicht einer geringer werdenden Anzahl von verfügbaren Wirkstoffen und einer gleichzeitig wirtschaftlichen Produktionsweise. Eine frühzeitige Erkennung von neu auftretenden Pathogenen ist daher unerlässlich, um zeitnah reagieren zu können und Ressourcen zu sparen.
Im Apfelanbau Norditaliens stellt die Gattung *Ramularia* eines dieser neuen Pathogene dar. Im Jahr 2012 wurde zum ersten Mal im Piemont *Ramularia eucalypti* als Erreger einer neuen Lagerkrankheit beim Apfel (*Malus* × *domestica* Borkh. cv. Ambrosia) nachgewiesen (GIANETTI et al. 2012). Zum Zeitpunkt der Ernte scheinbar gesunde Früchte zeigten nach 3-5 Monaten Lagerung klecksartige, rötlich-braune bis schwarze Flecken im Bereich der Lentizellen. Zeitgleich berichtete das Versuchszentrum Laimburg (LINDNER 2013) erstmals über das vereinzelte Auftreten von "Klecksartigen Lentizellenflecken" in Südtirol auf cv. Golden Delicious. Seit 2017 kommt es zu verstärkten Meldungen aus den südtiroler Obstgenossenschaften über das Auftreten des Schadbildes nach der Lagerung. Dabei wurden bislang vorwiegend Symptome an cv. Golden Delicious beobachtet. Einzelne Vorkommen wurden aber auch bei den Sorten Gala, Braeburn, Shinano Gold$^{(cov)}$/yello® und Bonita (s. Abb 1) festgestellt.

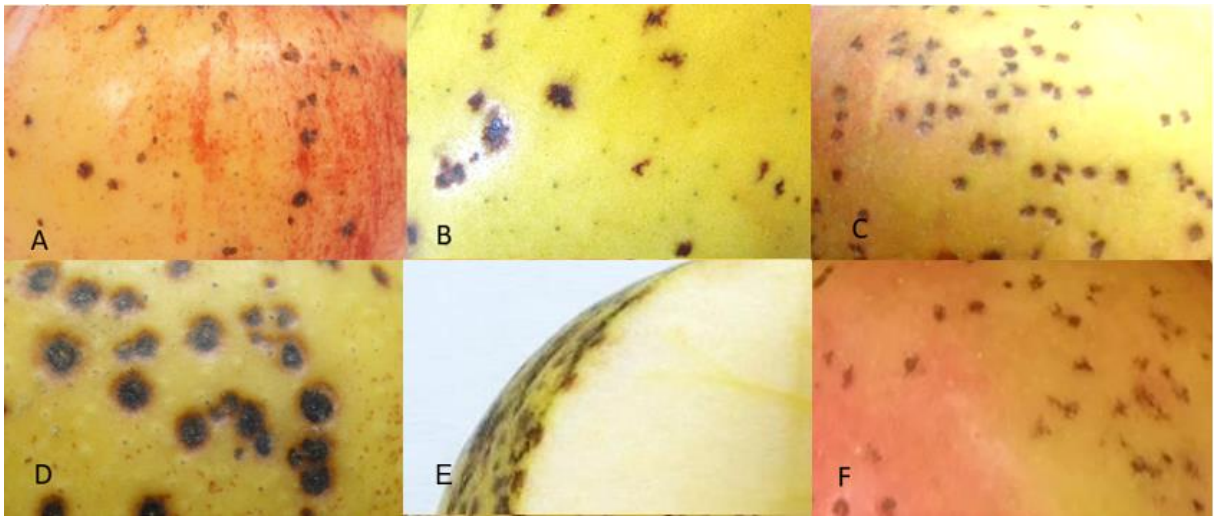


Abbildung 1: **Typische durch *Ramularia* sp. verursachte Symptomatik auf (A) Gala, (B) Golden Delicious, (C) Braeburn, (D) Shinano Gold$^{(cov)}$/yello®, (E) Querschnitt Schale Golden Delicious und (F) Bonita.**

Während der Auslagerung 2022 (Ernte 2021) wurden im phytopathologischen Labor des Versuchszentrum Laimburg 187 Proben als Ramularia-Verdachtsfälle gemeldet und bestätigt. Davon betrafen 96,8% die Sorte Golden Delicious, 1,9% Red Delicious und jeweils 0,6% Gala und Goldrush. Die Proben stammten aus den verschiedenen Obstbaubezirken Südtirols. In den letzten zwei Jahren folgten auch weitere Berichte aus Anbaugebieten im Trentino (Italien) der Steiermark (Österreich), Provence-Alpes-Côte d'Azur (Frankreich) und den Niederlanden (OETTL 2022, submitted). Aufgrund der wenigen Beobachtungen weltweit sind Informationen zur Biologie und Epidemiologie des Erregers dürftig und auch zu den Infektionsbedingungen und Bekämpfungsstrategien gibt es bislang nur Hypothesen. Dies gilt jedoch nicht für die gesamte Gattung, da beispielsweise *Ramularia collo-cygni* bei Gerste und *R. beticola* bei Futter- und Zuckerrüben sowie auch Roter Beete zu bedeutenden wirtschaftlichen Schäden

führen und bereits seit Jahrzehnten erforscht werden (HUSS et al. 2004, VIDEIRA et al. 2016). Erkenntnisse zu anderen Vertretern der Gattung sind jedoch kaum auf den Apfel übertragbar, da es sich bei den Krankheiten der Gerste und der Rüben nicht um eine Lagerkrankheit handelt, sondern einer Blattkrankheit im Feld. Daher sind grundlegende Untersuchungen zur Infektionsbiologie, zum Krankheitsverlauf und zur Entwicklung von zielgerichteten Vorbeugungs- und Bekämpfungsstrategien von höchster Bedeutung. Die höchste Priorität ist es daher, die genaue Art und Verbreitung des Krankheitserregers zu identifizieren und epidemiologische Hintergründe zu klären.

Material und Methoden

In enger Zusammenarbeit mit den Mitgliedsgenossenschaften der beiden Erzeugerorganisationen VOG (Verband der Südtiroler Obstgenossenschaften) und Vi.P. (Vinschgauer Produzenten für Obst- und Gemüse) wurden in den Jahren 2021 und 2022 Proben betroffener Partien aus den Kühllagern übermittelt. Von diesen wurden Reinisolate auf Kartoffelextrakt-Agar (PDA; engl.: *potato dextrose agar*) hergestellt und im Dunkeln bei 25°C kultiviert. Anschließend wurden die Isolate fotografiert, um deren Morphologie zu dokumentieren. Von 132 Reinisolaten erfolgte die DNA-Isolation aus dem Myzel (DNeasy® Plant Mini, Qiagen, Deutschland); mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR; engl.: *polymerase chain reaction*) wurde der DNA-Abschnitt der *internal transcribed spacer* (ITS)-Region sowie der Locus, welcher für translation elongation factor 1-α (*tef*1-α) codiert, amplifiziert und sequenziert (LGC Genomics GmbH, Deutschland). Durch einen Abgleich der einzelnen Sequenzen mit Vergleichserbgut der NCBI -Datenbank wurde in allen Fällen die Gattung *Ramularia* identifiziert. Von 95 ausgewählten Reinisolaten wurde, basierend auf der DNA-Information der zwei obengenannten DNA-Abschnitte, ein Stammbaum erstellt. Zudem wurden 8 Sequenzen von Referenzisolaten (*Ramularia collo-cygni* CBS:101181, *Ramularia vizellae* CBS:115981 & CBS:115982, *Ramularia eucalypti* CBS:356.69 & CBS:120726, *Ramularia hydrangea* CBS:122272, *Ramularia glennii* CBS:129441, *Ramularia mali* CBS:129581) in die phylogenetische Analyse integriert. Für das Multialignment der zwei Genloci wurde die Software Geneious® 11.1.5 (Biomatters Inc., Neuseeland) und der CLUSTALW Algorithmus verwendet. Für die anschließende phylogenetische Analyse wurde mittels der Freeware MEGAX (Version 10.2.6) (Kumar et al. 2018) und dem Maximum Likelihood (ML)-Algorithmus der phylogenetische Baum berechnet. Um zusammen mit den phylogenetischen Daten eventuelle Risikofaktoren für das Auftreten des Schadbildes zu identifizieren, wurden zusätzlich in enger Abstimmung mit den Erzeugerorganisationen für alle untersuchten Proben Hintergrunddaten zu den Apfelanlagen (Lage, durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen und agronomische Maßnahmen, Erntetermine, u.a.m.) übermittelt und werden gegenwärtig einer Analyse unterzogen.

Ergebnisse und Diskussion

Die morphologischen Untersuchungen zeigten eine große Variabilität innerhalb der bisher untersuchten Proben aus den Fruchtflecken, welche aber aufgrund der vorläufigen genetischen Untersuchungen alle der Gattung *Ramularia* zuzuordnen sind. Zum Beispiel handelt es sich bei allen vier Isolaten in Abb. 2 um die Art *R. mali* (Sequenzanalyse der Loci ITS und tef1-α) auf PDA, obwohl sich alle Isolate deutlich in ihrer Farbe und Oberflächenstruktur unterscheiden. Grundsätzlich zeigten alle Isolate aber auch Gemeinsamkeiten, die morphologisch auf die Gattung *Ramularia* schließen lassen: ein vorwiegend nach oben gerichtetes Wachstum (der Pilz wächst zunächst in die Breite und beginnt nach kurzer Zeit in die Höhe zu wachsen), die Kolonien sind häufig radial gestreift, und in diesem Prozess kann auch das darunterliegende Medium aufgerissen werden und der Pilz wächst in manchen Fällen in den Hohlraum ein. Dies geschieht sehr langsam, so hat er zumeist nach einem Monat erst einen Durchmesser von 2-3 cm auf PDA. Mit zunehmendem Alter zeigt die Kultur eine gefaltete Oberfläche wie in den Beispielen in Abb. 2 ersichtlich.

Abbildung 17: **Morphologie verschiedener Isolate aus Fruchtflecken, welche basierend auf der Sequenzanalyse zweier DNA-Abschnitte der Gattung Ramularia zugeordnet wurden nach einem Monat Wachstum auf PDA und 25°C im dunkeln, mit einem Durchmesser von 2-3 cm.**

Abbildung 3: **Phylogenetischer Baum basierend auf dem ML-Algorithmus; es wurden zwei DNA-Abschnitte von 95 Ramularia-Reinisolaten untersucht; dargestellt sind die verschiedenen Genotypen (gt) aus Südtirol sowie acht Referenzsequenzen (gekennzeichnet mit ■) .**

Da aufgrund der hohen morphologischen Variabilität eine Artidentifikation der Reinisolate nicht durchführbar war, wurden 95 ausgewählte Isolate phylogenetisch genauer untersucht. Ziel war es dabei, zu untersuchen, ob in Südtirol analog zur Region Piemont eine Art als Ursache für die Symptomentwicklung verantwortlich ist (PRENCIPE et al. 2022) oder ob weitere *Ramularia*-Arten involviert sind. Erste phylogenetische Ergebnisse (s. Abb. 3) basierend auf den oben beschriebenen DNA-Abschnitten deuten darauf hin, dass in Südtirol zwei verschiedene *Ramularia*-Arten vorkommen (Abb. 3). Es wurden zunächst 59 verschiedene Genotypen identifiziert, wobei sich zwei große Cluster um die Arten *R. mali* und *R. glennii* bilden. Ein einziges Isolat wurde der Art *R. hydrangeae-macrophyllae* (CBS 122272) zugeordnet. Ob es sich hierbei nur um einen Zufallsfund handelt oder sich auch diese Art in Südtirol auf dem Apfel etablieren konnte, sollen zukünftige Untersuchungen zeigen. Weitere Genloci werden gegenwärtig analysiert, um neben der eindeutigen Artidentifizierung auch eine mögliche phylogeographische Zuordnung der Isolate zu den Herkünften aus den verschiedenen Anbaubezirken Südtirols vorzunehmen und als zusätzliche Information für eine Risikobewertung verfügbar zu machen.

Zusammenfassung

In den Jahren 2012/13 wurden in den Regionen Piemont und sowie der Provinz Südtirol (Italien) erstmals von einer neuen Lagerkrankheit des Apfels berichtet: Nach einer Langzeitlagerung waren an Früchten der Sorten 'Ambrosia' und 'Golden Delicious' trockene, klecksartige, braun-rote Flecken rund um die Lentizellen sichtbar und die Gattung *Ramularia* wurde als Verursacher dieser Klecksartigen Lentizellenflecken identifiziert. Seit 2017 ist eine Zunahme von Meldungen dieser Lagerkrankheit nicht nur in den beiden genannten Apfelanbaugebieten zu verzeichnen, sondern auch in Frankreich und Österreich wurde das Auftreten bestätigt. In Südtirol wird das Auftreten der Krankheit seit 2021 systematisch erfasst und populationsgenetische Studien basierend auf verschiedenen Genabschnitten werden durchgeführt. Es gilt nun, wesentliche Fragen zur Infektionsbiologie zu klären, um vorbeugende Maßnahmen und zielgerichtete Bekämpfungsstrategien zu entwickeln.

Abstract

Symptoms of dry lenticel rot, also known as *Ramularia* spots, were first observed 2012 in two North Italian Regions, South Tyrol and Piedmont, on apples after long-term conservation in the cold storage. This fungus has already been described to cause a similar damage pattern on pears (2011) in the Piedmont region (Italy). However, since 2019, a notable increase of dry lenticel rot, has been observed in South Tyrol and recently, occurrence of similar symptoms has been reported from other apple growing areas like Styria and Provence-Alpes-Côte d'Azur. Microbiological isolation of >100 fungal isolates, originating of various orchards was performed and subsequent molecular analysis based on multi locus sequencing of 5 gene loci identified *Ramularia mali* as causative agent of this postharvest disease. Nevertheless, subvariants were identified and thus their influence needs to be investigated and might contribute to a better understanding of the *Ramularia* spp.-apple pathosystem and therefore, represent the basis for the development of containment measures of *Ramularia* spp. in affected regions.

Literatur

GIANETTI S, GROSSO S, ORTALDA E, DI MAURO G (2012): Segnalata in Piemonte *Ramularia eucalypti* su mele frigoconservate. L'Informatore Agrario 9/2012 p.72-73

GIANETTI S, ORTALDA E, GROSSO S (2016): Nuove acquisizioni su bioepidemiologia e distribuzione di Ramularia mali. Online: https://quaderniagricoltura.regione.piemonte.it/articoli/analisi-e-ricerche/9-articolo-secondario-4.html.

HUSS H (2004): The biology of Ramularia collo-cygni in meeting the challenges of barley blights. The Second International Workshop on Barley Leaf Blights (ICARDA), April 2002, Aleppo, Syria. http://www. icarda.org/.

KUMAR S, STECHER G, LI M, KNYAZ C, TAMURA K (**2018**). MEGA X: Molecular Evolutionary Genetics Analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution* **35**:1547-1549.

LINDNER L (2013): "Laimburg, Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale. Diagnostica 2013" Online: http://www.laimburg.com/en/projects-publications/diagnostics.asp.

NEI M, KUMAR S (2000): *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press, New

York.
OETTL (2022): Speckled lenticel spots (SLS) – an emerging postharvest disease on apples in South Tyrol (Northern Italy). IOBC Meeting SG Pome and Stone Fruit Diseases.
PRENCIPE S, VALENTE S, NARI L, SPADARO D (2022): A quantitative real-time PCR assay for early detection and quantification of Ramularia mali, an emerging pathogen of apple causing dry lenticel rot. Plant Disease 2023 May 4:PDIS07221586RE. doi: 10.1094/PDIS-07-22-1586-RVIDEIRA S I R, GROENEWALD J Z, BRAUN U, SHIN H D, CROUS P W (2016): All that glitters is not Ramularia. In: *Studies in mycology* 83, S. 49–163. DOI: 10.1016/j.simyco.2016.06.001.
VIDEIRA S I R, GROENEWALD J Z, KOLECKA A, VAN HAREN L, BOEKHOUT T, CROUS P W (2015): "Elucidating the Ramularia eucalypti species complex". Persoonia, 34, pp. 50-64.

Adressen der Autoren

[1] Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6 - Pfatten (Vadena), 39040, Auer (Ora), BZ, Italien

[2] Università degli Studi di Torino,Via Verdi, 8, 10124 Torino, Italien

[*] Ansprechpartnerin: Mag. Stefanie Maria Primisser, StefanieMaria.Primisser@laimburg.it

Fungizideinsparung durch an die Epidemiologie des Echten Rebenmehltaus angepasste Applikationen

Reduction of fungicides against grape powdery mildew by adaption of applications based on epidemiology

Markus Redl[1*], Elias Jagg[1], Christian Redl[2]

Einleitung

Der Echte Mehltau der Rebe, *Erysiphe necator*, ist ein bedeutender Schaderreger im Weinbau. Bei der Bekämpfung dieses Pathogens können verschiedene Einflussfaktoren eine wichtige Rolle hinsichtlich der Wirkung von Fungizide spielen. Es sollte der Einfluss der Temperatur und des Einsatzzeitpunktes mehrerer Fungizide in verschiedenen epidemiologischen Entwicklungsstadien auf ihre befallsreduzierende Wirkung untersucht werden. Ein weiteres Ziel war es abzuklären, ob es einen Effekt des Zeitpunktes der Primärinfektion und der Erstapplikation in der Vegetationsperiode auf den Traubenbefall gibt.

Material und Methoden

Laborversuch: Blätter der Sorte „Müller-Thurgau“ wurden desinfiziert, auf 1%igem Wasseragar in Petrischalen gelegt und mit einer Sporensuspension an 8 Stellen inokuliert. Diese wurden entweder 24 h vor Inokulation, 48 h nach Inokulation, kurz vor Sporulationsbeginn oder nach Sporulation mit den Multi-site-Fungiziden Netzschwefel (Thiovit Jet), Kupferoxychlorid (Cuprofor Flow), Kaliumhydrogencarbonat (Kumar), Meptyldinocap (Karathane Gold) oder mit Wasser mittels Potter Spray Tower (Burkhard Manufacturing Co Ltd, Rickmansworth, Hertfordshire, England) behandelt. Die Blätter wurden bei 15, 20 und 25 °C bis 1 Tag nach der Behandlung nach Sporulation inkubiert und dann auf frische Blätter aufgerieben, um diese zu inokulieren. Die frischen Blätter wurden dann im 2. Zyklus für 14 Tage bei 25 °C inkubiert. Es wurde die Befallshäufigkeit im 1. Zyklus und die Befallsstärke im 2. Zyklus ermittelt.
Freilandversuche: In Mailberg (Grüner Veltliner) und Klosterneuburg (Chardonnay) wurde im Jahr 2022 zu verschiedenen phänologischen Zeitpunkten (BBCH 15, 57, 71) mit den Applikationen gegen den Echten Mehltau begonnen. In Klosterneuburg wurden die Blätter zusätzlich noch zu BBCH 13, 55, 57 mit *E. necator* inokuliert und es wurde hier nur Netzschwefel appliziert. In Mailberg wurden synthetische Pflanzenschutzmittel verwendet. An beiden Standorten wurden Befallshäufigkeit und –stärke der Trauben ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In den Laborversuchen zeigte Kaliumhydrogencarbonat bei der Behandlung 24 h vor Inokulation bei allen getesteten Temperaturen keine Wirkung. Bei Netzschwefel gab es im selben Behandlungsstadium bei 15 °C eine geringere Wirkung im Vergleich zu den anderen Temperaturen. Dagegen zeigte Kupferoxychlorid auch bei geringer Temperatur eine höhere Wirkung. Meptyldinocap reduzierte den Befall nur bei 25 °C. Bei der Behandlung 48 h nach Inokulation wiesen Kaliumhydrogencarbonat, Netzschwefel, Kupferoxychlorid eine signifikante Befallsreduktion gegenüber der Wasserbehandlung bei allen Temperaturen auf. Meptyldinocap fiel im Vergleich zu den anderen Wirkstoffen durch eine schlechtere Wirkung auf. Im 2. Zyklus zeigte sich dasselbe Bild. Bei Behandlung vor der Sporulation gab es bei Netzschwefel einen starken Temperatureffekt mit einer Wirkungsabnahme hin zu 15 °C. Im Gegensatz dazu nahm die Wirkung bei Kupferoxychlorid mit steigender Temperatur ab, wobei dieser Temperatureffekt im 2. Zyklus schwächer war. Bei Kaliumhydrogencarbonat hingegen gab es keinen Unterschied zwischen den Temperaturen und zeigte sich die stärkste Wirkung. Nach Sporulation konnten Netzschwefel, Kupferoxychlorid, Kaliumhydrogencarbonat den Befall im 2. Zyklus geringfügig aber signifikant reduzieren, Meptyldinocap nicht. Die Ergebnisse zeigen, dass Kupferoxychlorid ein sehr hohes Potential zur Kontrolle des Echten Rebenmehltaus besitzt, obwohl dieses Fungizid nicht zur Bekämpfung von *E. necator* in Österreich zugelassen ist (BAES 2023). Bisher wurde Kupfer nur eine geringe Wirkung gegenüber diesem Pathogen zugeschrieben (GADOURY et al. 2015). Ein allgemeiner Trend,

dass Netzschwefel bei Temperaturen unter 18°C eine schlechte Wirkung zeigt konnte nicht bestätigt werden (HALLEEN und HOLZ 2001). Die nicht vorhandene protektive Wirkung von Kaliumhydrogencarbonat stimmt mit anderen Studien überein (WILCOX und WONG 2015).
Im Freilandversuch in Mailberg ohne Inokulation gab es bei einem mittleren Befallsdruck keinen Unterschied zwischen einem frühen und einem späten Applikationsbeginn hinsichtlich Befallshäufigkeit und –stärke der Trauben. Der Befall konnte bei allen 3 Startzeitpunkten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant auf unter 5 % Befallshäufigkeit reduziert werden. In Klosterneuburg gab es einen starken Effekt des Inokulationszeitpunktes. Die früh inokulierten Reben zeigten einen höheren Traubenbefall als jene, die spät inokuliert wurden. Der Applikationsbeginn mit Schwefelbehandlungen zeigte hier keinen Einfluss auf das Befallsauftreten an den Trauben. Auch in einer anderen Studie zeigte die Behandlung mit Netzschwefel keinen ausreichenden Bekämpfungserfolg (WARNEKE et al. 2020). Demnach hatten an beiden Standorten die Behandlungen vor Fruchtansatz (BBCH 71) keinen Effekt auf die Befallsreduktion und hätten eingespart werden können. Diese Studie liefert wichtige Erkenntnisse um den Einsatz der getesteten Fungizide für die Praxis zu optimieren, die Pflanzenschutzmittel optimal zu terminieren, und so die Pflanzenschutzmittelverwendung zu reduzieren.

Zusammenfassung

Der Echte Mehltau der Rebe, verursacht durch *Erysiphe necator* Schwein., ist eine der bedeutendsten Krankheiten im Weinbau und muss durch mehrere Fungizidapplikationen bekämpft werden. Das Ziel dieser Studie war es zu untersuchen, ob die Anzahl an Behandlungen gegen diesen Schaderreger ohne Qualitätsverluste reduziert werden kann. Ein anderes Ziel war es die Wirkung von Multi-site-Inhibitoren unter verschiedenen Temperaturen und in unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Erregers zu evaluieren. In einem Laborversuch wurden Netzschwefel, Kupferoxychlorid, Kaliumhydrogencarbonat und Meptyldinocap bei 15, 20 und 25 °C vor Inokulation, nach Inokulation, vor Sporulation und nach Sporulation getestet. In zwei Freilandversuchen starteten die Fungizidapplikationen gegen den Echten Mehltau zu drei Terminen zwischen 5-Blatt-Stadium und Fruchtansatz (BBCH 15, 57, 71). Im Laborversuch hatte Kupfer ein hohes Wirkungspotential als Fungizid gegen den Echten Mehltau, obwohl es nicht gegen diesen Schaderreger registriert ist. Kaliumhydrogencarbonat zeigte keine Wirkung bei der Behandlung vor Inokulation, aber hatte die höchste eradikative Wirkung. In den Freilandversuchen gab es keinen Unterschied im Krankheitsauftreten zwischen den Startzeitpunkten der Behandlungen. Diese Studie zeigte, dass es unter den Bedingungen des Jahres 2022 möglich war die Anzahl an Fungizidapplikationen gegen den Echten Mehltau durch einen Beginn erst ab Fruchtansatz zu reduzieren und dass die Wirkung von Kupfer als Echtes Mehltaufungizid in der Zukunft berücksichtigt werden muss.

Abstract

Grape powdery mildew, caused by *Erysiphe necator* Schwein., is one of the major diseases in viticulture. Today the disease has to be controlled by several fungicide applications. The aim of this study was to investigate if the number of fungicide applications against this pathogen can be reduced without quality losses. Another objective was to evaluate the effect of multi-site-inhibitor fungicides at different temperatures and biological development stages of the pathogen. In lab experiments sulphur, copper oxychloride, potassium bicarbonate and meptyldinocap were tested at 15, 20, 25 °C before inoculation, after inoculation, before sporulation and after sporulation. In two field trials fungicide applications against powdery mildew started at three dates between 5-leaf-stage and fruit set (BBCH 15, 57 and 71) and the disease level was determined. In the lab experiment, copper had a high potential as fungicide against powdery mildew, although not registered against this pathogen. Potassium bicarbonate showed no effect when applied before inoculation, but had the highest eradicative effect. There were no differences in the disease level of grapes between the starting points of applications in the field trials. This study showed that it was possible to reduce the number of fungicide applications under the conditions of 2022 by starting with treatments against powdery mildew at fruit set and that the effect of copper as powdery mildew fungicide has to be considered in future.

Danksagung

Unser Dank ergeht an alle Teammitglieder für deren Unterstützung während dieser Studie. Dieses Projekt wird im Rahmen des Ressortforschungsprogramms über dafne.at mit Mitteln des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft finanziert. Das BML unterstützt angewandte, problemorientierte und praxisnahe Forschung im Kompetenzbereich des Ressorts.

Literatur

BAES (2023): Pflanzenschutzmittel-Register - Verzeichnis der in Österreich zugelassenen/genehmigten Pflanzenschutzmittel. https://psmregister.baes.gv.at, abgerufen am 27.04.2023

GADOURY DM, WILCOX WF, RUMBOLZ J, GUBLER WD (2015): Powdery mildew. In Wilcox WF, Gubler WD., Uyemoto J. K. (Eds.), Compendium of grapevine diseases, disorders, and pests (2. Auflage) pp. 75–83). St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society.

HALLEEN F, HOLZ G (2001): An overview of the biology, epidemiology and control of *Uncinula necator* (powdery mildew) on grapevine, with reference to South Africa. South African J Enol Vitic 22, 2, 111–121. https://doi.org/10.21548/22-2-2205

WARNEKE B, THIESSEN LD, MAHAFFEE WF (2020): Effect of fungicide mobility and application timing on the management of grape powdery mildew. Plant Dis 104, 4, 1167–1174. https://doi.org/10.1094/PDIS-06-19-1285-RE

WILCOX WF, WONG FP (2015): Grapevine fungicides. In Wilcox WF, Gubler WD., Uyemoto J. K. (Eds.), Compendium of grapevine diseases, disorders, and pests (2. Auflage) pp. 177–184. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society.

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien

[2] HBLA und BA für Obst und Weinbau, Wiener Straße 74, 3400 Klosterneuburg

[*] Ansprechpartner: Dr. Markus REDL, markus.redl@boku.ac.at

Reduktion von Echtem Mehltau (*Podosphaera fuliginea*) in Schmorgurke (*Cucumis sativus*) durch die Anwendung von Grundstoffen

Reduction of powdery mildew (Podosphaera fuliginea) in cucumber (Cucumis sativus) through basic substances

Mathias Breuhahn[1,2], Jana Podhorna[2], Martina Bandte[2],
MalgorzataRybak[1], Carmen Büttner[2]

Einleitung

Grundstoffe sind Stoffe mit Nutzen im Pflanzenschutz, aber keine herkömmlichen Pflanzenschutzmittel. Sie sind reguläre Produkte wie Natriumchlorid, Bier oder Molke. Grundstoffe sind unbedenklich für Mensch, Tier und Umwelt. Angesichts der geplanten Verordnung zur Reduktion chemischer Pflanzenschutzmittel (EU 2021/2115 Art. 4) werden sichere biologische Alternativen dringend benötigt. Ackerschachtelhalm enthält Verbindungen mit fungizider Wirkung gegen Phytophthora infestans (Četojević-Simin et al. 2010; Godlewska et al. 2020, Rogozhin et al. 2020). Lecithine und Chitosan haben ebenfalls fungizide Eigenschaften (Dayan 2009, Ghyczy et al. 1987, Goy et al. 2009, Zabka et al. 2018, 2020). In einer Studie wurden diese Grundstoffe mit konventionellen und ökologischen Fungiziden kombiniert, um ihre Wirksamkeit gegen Echten Mehltau an Gurken zu bewerten.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial und Kultivierung: Gurkenjungpflanzen aus eigener Anzucht wurden in Substratkultur kultiviert. Die 10 Versuchsglieder mit jeweils 4 Pflanzen wurden in einer randomisierten Blockanlage aufgebaut. Die Infektion mit *Podosphaera fuliginea* trat natürlich an den Gurkenpflanzen auf. Jede Variante wurde dreimal wiederholt. Ab Befallsbeginn wurde die infizierte Blattfläche von jeweils 3 Blättern pro Gurke prozentual geschätzt.
Pflanzenschutzbehandlungen: Equisetum, Lecitine und Chitosan-Hydrochlorid wurden entsprechend ihrer Regulation der europäischen Kommission (EC) No 1107/2009 (Appendix 1) ausgebracht. In Tabelle 1 sind die getesteten Spritzfolgen gegen den Echten Mehltau aufgeführt.
Statistische Auswertung: Die generierten Daten wurden mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) ausgewertet. Die statistische Analyse wurde mit den Programmen R und RStudio (R Version 4.0.3, RStudio Version 1.3.1093) durchgeführt. Für den Vergleich der Mittelwerte wurde ein 95 % iges Konfidenzintervall P=0,05 (R package emmeans Version 1.7.0) festgelegt.

Tabelle 1**: Spritzfolgevarianten zur Bekämpfung des Echten Mehltaus in Schmorgurken**

Nr	Anw. 1	Anw. 2	Anw. 3	Anw. 4	Anw. 5	Anw. 6	Anw. 7	Anw. 8	Anw. 9
1	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle	Kontrolle
2	Flint	Topas	Dagonis	Flint	Topas	Dagonis	Flint	Topas	Dagonis
3	Kumulus	Kumar	Kumulus	Kumar	Kumulus	Kumar	Kumulus	Kumar	Kumulus
4	Kumulus	Kumar	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan	Chitosan
5	Kumulus	Kumar	Equisetum	Equisetum	Equisetum	Equisetum	Equisetum	Equisetum	Equisetum
6	Kumulus	Kumar	Lecitine	Lecitine	Lecitine	Lecitine	Lecitine	Lecitine	Lecitine
7	Kumulus	Kumar	Chitosan	Equisetum	Lecitine	Chitosan	Equisetum	Lecitine	Chitosan
8	Kumulus	Chitosan	Kumar	Equisetum	Kumulus	Lecitine	Kumulus	Chitosan	Kumar
9	Kumulus	Chitosan	Equisetum	Kumar	Lecitine	Chitosan	Kumulus	Equisetum	Lecitine
10	Chitosan	Equisetum	Lecitine	Chitosan	Equisetum	Lecitine	Chitosan	Equisetum	Lecitine

Ergebnisse

Zu Beginn des Versuches am 05.08.2022 (B0) konnte in allen Versuchsvarianten ein homogener Befall mit Echtem Mehltau verzeichnet werden (durchschnittlich 0,5 %). Nach 2 Behandlungen ab der Bonitur B2 stieg der Befall sowohl in der Grundstoff-, als auch in der Wasserkontrolle signifikant an. Diese Ausprägung setzte sich ebenfalls in der folgenden Bonitur B4 fort (siehe Abbildung 1). Dabei zeigten die chemische, die ökologische und die um 66 % mit Grundstoffen ersetzte Variante den höchsten Wirkungsgrad. In den darauffolgenden Bonituren konnten die Grundstoffvarianten 44 % und 66 % den Befall zwar immer noch im Gegensatz zur unbehandelten Kontrolle signifikant reduzieren. Allerdings mit deutlichem Unterschied zur chemischen und ökologischen Kontrolle. In den beiden abschließenden Bonituren B7 und B8 zeigte keine der getesteten Grundstoff-Varianten eine signifikante Reduktion des Schaderreger-Befalls. Hervorzuheben ist hierbei, dass die ökologische Variante (B8: 73 %) signifikant unter dem Befallsdruck der chemischen Variante lag.

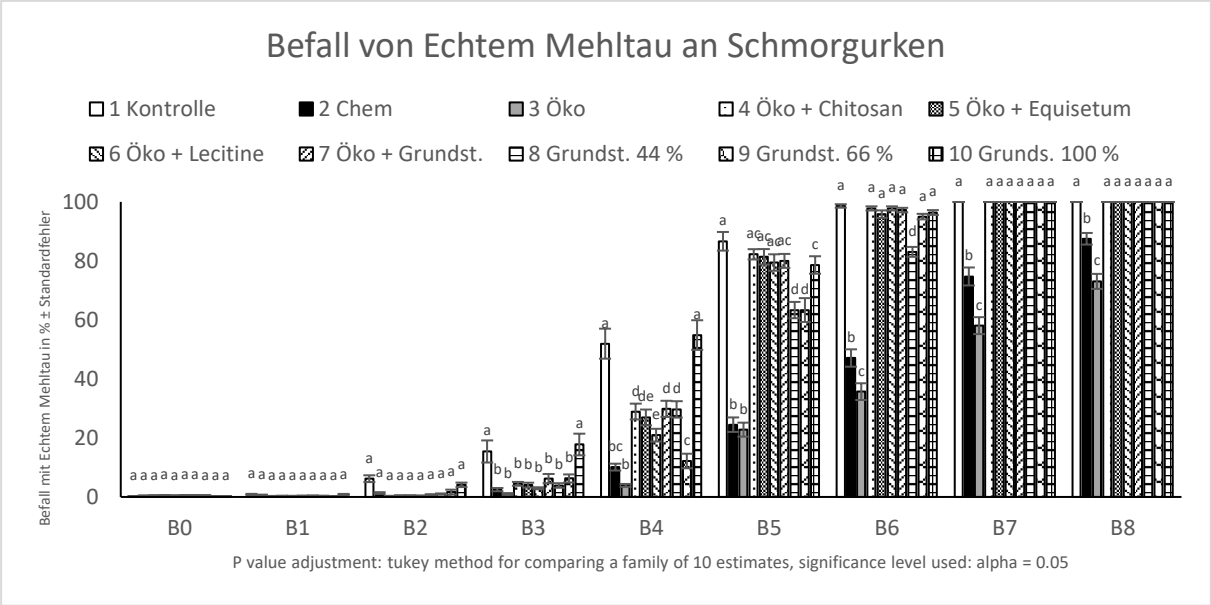


Abbildung 1: **durchschnittliche mit echtem Mehltau befallende Blattfläche in Prozent**

Zusammenfassung

Die Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln auf ein notwendiges Maß zu begrenzen und dabei die Wirksamkeit von praxistauglichen Alternativen zu analysieren ist ein Schwerpunkt des Projektes zur „Reduzierung chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen in den Betrieben des Zierpflanzen- und Gemüsebaus in den Vier- und Marschlanden“. Der Fokus dieser Untersuchung lag hierbei auf Erprobung der Wirksamkeit von 3 ausgewählten Grundstoffen gegen den pilzlichen Schaderreger Echter Mehltau (*Podosphaera fuliginea*) in der Hamburger Gemüsebaukultur Schmorgurke (*Cucumis sativus*). Lecitine, Equisetum und Chitosan-Hydrochlorid wurden mit einer ökologischen und einer konventionellen Spritzfolge verglichen. Ebenfalls wurden die Grundstoffe in die ökologische Spritzfolge integriert, um festzustellen ob hierbei einzelne Fungizid-Behandlungen ersetzt werden können. Die Anwendung der Fungizide wurde hierbei jeweils um 44 %, 66 % und 100 % reduziert. Im Laufe der Untersuchung konnte festgestellt werden, dass bis auf die chemische und die ökologische Variante nur die um 44 % reduzierten Parzellen einen weniger stark ausgeprägten Befall mit echtem Mehltau zeigten. Im Gegensatz dazu konnte kein signifikanter Unterschied zwischen einer reinen Grundstoff-Behandlung und der unbehandelten Kontrolle dargestellt werden. In Bezug auf den Ertrag konnten die meisten Gurken in der chemischen und der ökologischen Kontrolle geerntet werden. Die Ernteleistung korreliert hierbei negativ mit dem Befall.

Abstract

Limiting the use of chemical pesticides to the necessary minimum and analyzing the effectiveness of practicable alternatives is a focus of the project on "Reducing chemical pesticides in ornamental plant

and vegetable in the Hamburg". The focus of this study was on testing the effectiveness of 3 selected basic substances against the fungal pathogen powdery mildew (Podosphaera fuliginea) in cucumber (Cucumis sativus). Lecitine, equisetum and chitosan hydrochloride were compared with an ecological and a conventional spraying sequence. The basic substances were also integrated into the ecological spraying sequence in order to determine whether individual fungicide treatments could be replaced. The use of fungicides was reduced by 44%, 66% and 100% respectively. In the course of the investigation, it was found that apart from the chemical and ecological variants, only the plots reduced by 44% showed a less pronounced infestation with powdery mildew. In contrast, no significant difference could be shown between a pure basic substance treatment and the untreated control. In terms of yield, most of the cucumbers could be harvested in chemical and ecological control. The harvest performance correlates negatively with the infestation.

Literatur

ČETOJEVIĆ-SIMIN DD, ČANADANOVIĆ-BRUNET JM, BOGDANOVIĆ GM, DJILAS SM, ĆETKOVIĆ GS, TUMBAS VT, STOJILJKOVIĆ BT (2010) Antioxidative and antiproliferative activities of different horsetail (Equisetum arvense L.) extracts. J Med Food 13:452–459

DAYAN, F.E., CANTRELL, C.L., DUKE, S.O., 2009. Natural products in crop protection. Bioorganic & Medicinal Chemistry 17, 4022–4034

FAUTEUX F, CHAIN F, BELZILE F, MENZIES JG, BÉLANGER RR (2006) The protective role of silicon in the Arabidopsis-powdery mildew pathosystem. Proc Natl Acad Sci U S A 103:17554–17559

GHYCZY, M., IMBERGE, P.R., WENDEL, A., 1987. United States Patent. Phospholipid compositions and their use in plant protection spray mixtures. Appl. No. 755, 967

GODLEWSKA K, BIESIADA A, Michalak I, PACYGA P (2020) The effect of botanical extracts obtained through ultrasound-assisted extraction on white head cabbage (Brassica oleracea L. Var. Capitata L.) seedlings grown under controlled conditions. Sustainability 12:1871

GOY, R.C.; DE BRITTO, D.; ASSIS, O.B.G. A Review of the Antimicrobial Activity of Chitosan. Polimeros 2009, 19, 241–247

MARCHAND PA (2016) Basic substances under EC 1107/2009 phytochemical regulation: experience with non-biocide and food products as biorationals. J of Plant Prot Res 56:312–318

ROGOZHIN EA, VASILCHENKO AS, BARASHKOVA AS, SMIRNOV AN, ZAVRIEV SK, DEMUSHKIN VP (2020) Peptide extracts from seven medicinal plants discovered to inhibit oomycete Phytophthora infestans, a causative agent of potato late blight disease. Plants 9:1294.

ZABKA, M.; PAVELA, R. Effectiveness of Environmentally Safe Food Additives and Food Supplements in an in Vitro Growth Inhibition of Significant Fusarium, Aspergillus and Penicillium species. Plant Prot. Sci. 2018, 54, 163–173

ZABKA, M.; PAVELA, R.; TRAVNICKOVA, M.; BARNET, M. Calcium disodium ethylenediaminetetraacetate as a safe compound for crop protection with the potential to extend the basic substances group. Plant Prot. Sci. 2020, 56, 123–131

Adressen der Autoren

[1]Pflanzenschutzdienst Hamburg, Behörde für Wirtschaft und Innovation

[2] Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Fachgebiet Phytomedizin

[*]Ansprechpartner: Mathias Breuhahn, mathias.breuhahn@bwi.hamburg.de

Einfluss organischer und mineralischer Additive auf den Spargelertrag im Nachbau - Ergebnisse aus fünf Jahren Spargelanbau

Influence of organic and mineral additives on asparagus yield in postharvest production - Results from five years of asparagus cultivation

Roxana Djalali Farahani-Kofoet[1*], Franziska Häfner[2], Carmen Feller[1]

Einleitung

Der wiederholte Anbau von Spargel auf ein und demselben Feld kann zu starken Ertragseinbußen führen. Trotz umfangreicher Forschungen zur Nachbauproblematik ist die Ursache dieser Bodenmüdigkeit nicht vollständig geklärt. Es wird ein überwiegend mikrobieller Ursachenkomplex vermutet. Insbesondere auf leichten Sandböden kann es im Vergleich zu lehmigen Böden zu einer stark eingeschränkten Wachstumsentwicklung, Etablierungsproblemen und späteren Ertragseinbußen kommen. Um geeignete alternative Anbaumaßnahmen zur Überwindung der Bodenmüdigkeit zu entwickeln, wurde auf zwei Feldern in Brandenburg (Nordosten von Deutschland), die seit Jahren mit Spargel bewirtschaftet werden, die Wirkung verschiedener Zusatzstoffe auf den Spargelertrag getestet. Zu Beginn der Freilandversuche im Leibniz Institut für Gemüse und Zierpflanzenbau und einem Beelitzer Spargelbetrieb konnte in Gefäßversuchen mit Böden von diesen Feldern gezeigt werden, dass die sterilisierte Erde (Dampfmethode) einen deutlichen Wachstumsvorteil gegenüber der unbehandelten Ursprungserde hat. In den Böden wurde mittels DNA-Multiscan vorwiegend die Pathogene *Fusarium* spp., *Pythium* spp. und *Phytophthora* spp. detektiert werden.

Material und Methoden

Kultur- und Versuchshinweise: Auf zwei Standorten in Brandenburg (Nordosten Deutschlands): Großbeeren (A) und Beelitz (B) wurde von 2020-2022 für Großbeeren und 2021-2022 für Beelitz der Gesamtmarktertrag erfasst, dabei wurden alle Stangen größer 12 mm ohne Qualitätsmängel einbezogen.
Varianten: Neben einer Kontrolle wurden Champost mit 30 t TS/ha, ein Tonmineral (Fimonit) mit 5 t TS/ha und 10 g/Pflanze des Präparates Micosat-F UNO (Arbuskuläre Mykorrhiza in einer Mischung mit nützlichen Bakterien und Saprophyten) zugegeben. Als fünfte Bodenbehandlungsvariante erfolgte eine Biofumigation mit 5t TS-Senfmehl/ha. Für die Biofumigation wurde Senfmehl von Sareptasenf (*Brassica juncea*) eingesetzt, da dieser einen hohen Glucosinolatgehalt aufweist. Die im Versuch gepflanzten Spargelsorten waren ‚Gijnlim', ‚Ravel' und ‚Ramires'.
Versuchsaufbau: Auf den beiden Versuchsstandorten wurde 2018 ein zweifaktorieller Versuch mit den Faktoren Bodenadditive und Sorten, randomisierte Streifenanlage mit 4 Wiederholungen je Faktorkombination (Bodenbehandlung*Sorte) aufgepflanzt. Die gesamte Versuchsfläche betrug 432 m^2, wobei ein Teilstück (Faktorkombination) 4 x 9 m groß war und 2 Reihen enthielt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Standorte unterschieden sich in der Bodenart sowie in der Dauer der Anbaupause (1 Jahr Standort Beelitz und 5 Jahre Standort Großbeeren) mit Spargel. Am Standort mit 5-jähriger Anbaupause (Abb. 1 A) konnte sowohl bei Champost als auch bei der Biofumigation ein deutlich höherer Marktertrag (aufsummiert von 2020-2022) erzielt werden als bei der Kontrolle. Bei den Varianten Tonminerale und Micosat konnten keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle nachgewiesen werden, aber auch nicht zu den Varianten Champost und Biofumigation. Der marktfähige Ertrag in den ersten drei Erntejahren bei den Behandlungen mit Senfmehl, Champost, Micosat F Uno und Tonminerle war um 16%, 14%, 12% und 7% höher als bei der Kontrolle.
An dem extrem sandigen Standort mit nur einjähriger Anbaupause (Beelitz) zeigten die Additive jedoch keine signifikante Ertragssteigerung (aufsummiert von 2021-2022). Es wurde jedoch eine positive Tendenz zu Champost, aber nicht zu Biofumigation festgestellt. Auch die Bodenbehandlung mit Tonmineral wies eine leichte Tendenz zur Ertragssteigerung (Abb 1B).

Generell wurde festgestellt, dass der Effekt der Biofumigation im Vergleich zur Kontrolle über die drei Jahre abnimmt. Dies gilt auch für die Varianten Fimonit und Micosat. Bei Champost dagegen blieb der Effekt konstant.
'Ramires' fiel im Marktertrag etwas ab, was daran liegen kann, dass in den ersten beiden Jahren 2020 und 2021 der Erntezeitraum mit 23 und 33 Tagen in Großbeeren sehr kurz war. Im Jahr 2022 konnten keine Unterschiede im Ertrag innerhalb der Sorten nachgewiesen werden.
Beim DNA-Multiscantest am Ende der Freilandversuche (externes Labor) war das Hybridisierungssignal für die Summe aller möglichen *Fusarium* spp. unabhängig von den Varianten stark. Bei Champost und dem Einsatz von Tonmineral war das Signal im Vergleich zur Kontrolle bei *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* und *Pythium ultimum* aber deutlich schwächer, weshalb wir bei diesen Additiven auf eine suppressive Wirkung schließen.

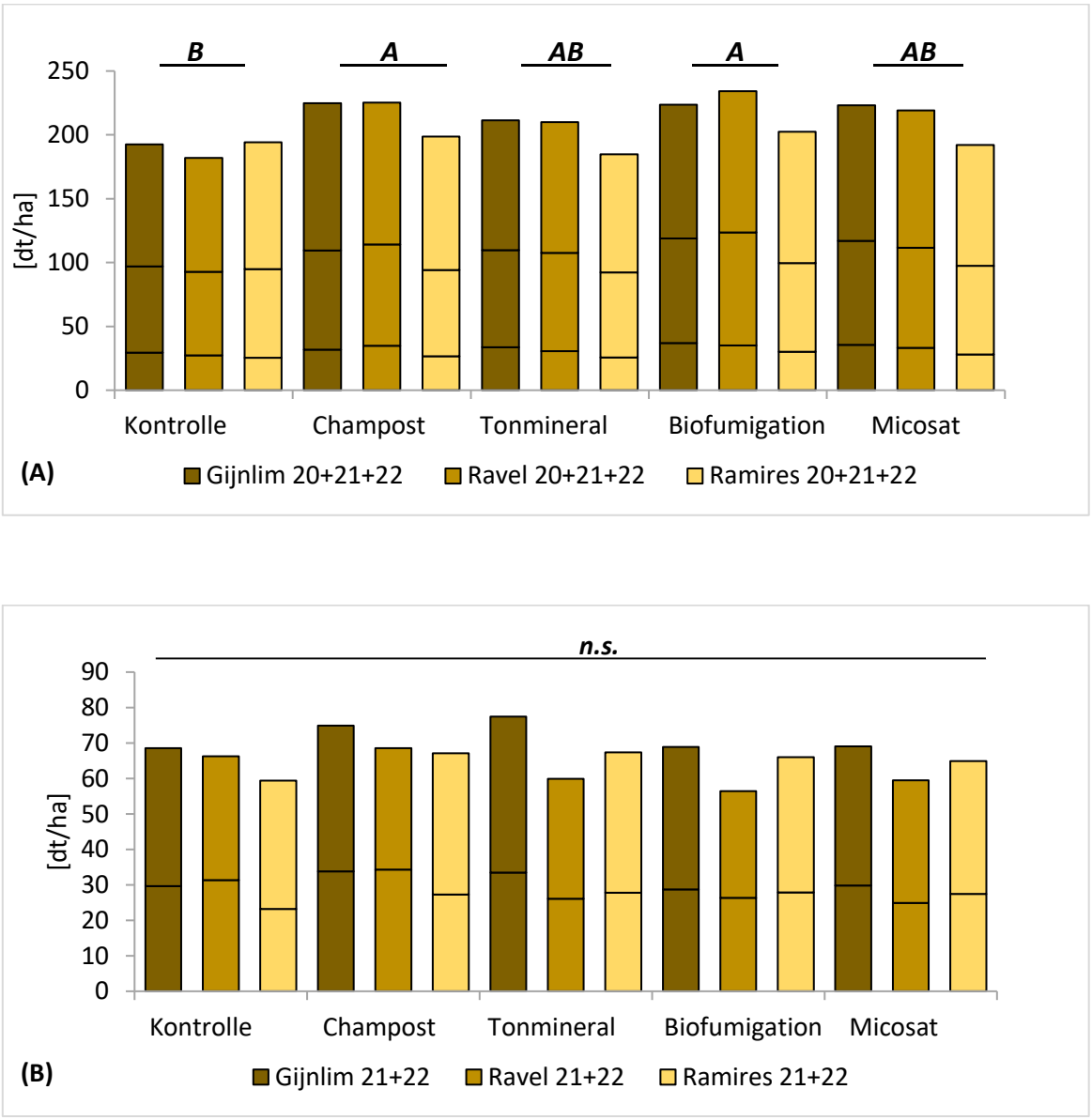


Abbildung 1: **Gesamt-Marktertrag der Sorten ‚Gijnlim', ‚Ravel' und ‚Ramires' aus Feldversuchen in Großbeeren A) und Beelitz (B). Gestapelte Balken stehen für die Jahre 2020-2022 für Großbeeren und 2021-2022 für Beelitz. Unterschiedliche Buchstaben über die Behandlungen mit Champost, Tonmineral, Micosat und durch Biofumigation und Kontrolle stellen die Signifikanzen über den Gesamt-Marktertrag dar (Tukey test; p≤0.05); n.s. = nicht signifikant.**

Zusammenfassung

Auf zwei nachbaubelasteten Böden in Brandenburg (Nordosten Deutschlands) wurde von 2020 (2021)-2022 der Einfluss von mineralischen und natürlichen Additiven auf den Gesamt-Marktertrag von Spargel getestet. Es konnte an einem Standort mit Champost und der Biofumigation eine deutliche Ertragssteigerung erzielt werden. Die Biofumigation mit Senfmehl erfordert einen erheblichen Aufwand an Kosten und Zeit, da die Fläche nach Einbringung des Senfmehls mit einer 200 my starken Folie luftdicht abgedeckt werden muss. Diese Methode der Bodenverbesserung ist deshalb aus wirtschaftlichen Gründen für Spargelanbauer nicht interessant. Damit bleibt das Verfahren des Einbringens von Champost als beste Variante zur Nutzung von Böden im Nachbau.

Abstract

The influence of mineral and natural additives on the total market yield of asparagus was tested from 2020 (2021)-2022 on two replant fields in Brandenburg (northeast Germany). Significant yield increases were achieved at one site with champost and biofumigation. However, since biofumigation with mustard meal requires a considerable amount of cost and time, as the area must be covered airtight with a 200 my thickness film after application of the mustard meal, this method of soil improvement is not interesting for asparagus growers for economic reasons. Thus, the method of incorporation of champost remains as the best variant for the use of soils in post-cultivation.

Adressen der Autoren

[1] Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V., Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren

[2] Agroscope, Forschungsbereich Agrarökologie und Umwelt, Forschungsgruppe Bodenqualität und Bodennutzung, Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz

* Ansprechpartner: Roxana Djalali Farahani-Kofoet, kofoetr@igzev.de

Herausforderungen eines Diagnoselabors in der Phytopathologie: Diagnose - Iso Norm – Quarantäne

Challenges of a diagnostic laboratory in phytopathology: Diagnosis - Iso Norm - Quarantine

Monika Heupel

Das Labor des Pflanzenschutzdienstes der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in Köln ist zuständig für die phytopathologischen Testungen von Proben im Rahmen des deutschen Pflanzenschutzgesetzes, des Pflanzengesundheitsgesetzes und der Pflanzenbeschauverordnung.
In jedem Jahr werden zwischen 9000 und 10.000 Pflanzen-, Boden- Saatgut und Wasserproben mit ca. 15.000 Einzeltestungen auf Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschädlinge analysiert. Die Registrierung erfolgt in einem modernen Laborinformationsmanagementsystem. Die Hälfte der Proben stammt aus der Arbeit des Pflanzengesundheitsdienstes, dessen Inspektoren an den Einlassstellen und den großen Flughäfen in Köln und Düsseldorf Proben ziehen. Die weiteren Proben stammen von den über 33.000 landwirtschaftlichen und gärtnerischen Betrieben in NRW, aber auch aus dem Öffentlichen Grün, das mit über 18 Millionen Einwohnern im bevölkerungsreichsten Bundesland Deutschlands, eine große Bedeutung hat.
Die Untersuchungsverfahren umfassen das gesamte Spektrum der klassischen mikroskopischen Methoden und Isolationsverfahren sowie auch sämtliche serologische und molekularbiologische Diagnosemöglichkeiten. Die Zielsetzung ist in kurzer Zeit eine sachgerechte Diagnose zu erstellen. Es werden die Diagnoseprotokolle der EPPO (European Plant Protection Organisation) angewendet. Die Untersuchungsergebnisse müssen eine hohe Spezifität und Nachweissicherheit haben, reproduzierbar und möglichst kostengünstig sein. Dabei sind die validierten Methoden in den EPPO-Diagnoseprotokollen die Grundlage für die Testung von Quarantäneerregern.
Das Labor des Pflanzenschutzdienstes NRW ist nach der DIN Norm ISO 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle akkreditiert. Dies ist die Voraussetzung für die Prüfung der Quarantäneschaderreger. Zu den Voraussetzungen für die Akkreditierung gehören unter anderem regelmäßige Schulungen des Personals und die Teilnahme an umfangreichen Laborvergleichsuntersuchungen. Ein nicht unerheblicher Teil der Arbeitszeit wird für diese Analysen aufgewendet. Auch ist das Laborgebäude als Quarantänestation benannt. Hierfür wurden bei dem 2016 neu errichteten Labor zahlreiche bauliche Maßnahmen berücksichtigt.
Die schnelle Bearbeitung der Routineproben, die Aufklärung neuer Erkrankungen, die Erfüllung der Voraussetzungen für die Akkreditierung und die Einhaltung der Meldekette bei der Diagnose von Quarantäneschaderregern sind eine tägliche Herausforderung für das Laborteam.

Adresse der Autorin

Landwirtschaftskammer NRW Pflanzenschutzdienst Köln

Ansprechpartnerin; Dr. Monika Heupel, monika.heupel@lwk.nrw.de

Bestimmung der Endophyten im Blutungssaft der Rebe mittels Next Generation Sequencing

Detection of Endophyts in Bleeding Sap of Vine by Next Generation Sequencing

Karin Mandl, Jasmina Suljic, Christian Bader, Ingrid Hofstetter, Florian Faber

Einleitung

„Mit dem ersten Temperaturanstieg, im späten Winter oder frühen Frühjahr, sondert die Weinrebe aus Schnittstellen und anderen Wunden Xylemsaft ab. Dieser Saftfluss wird oft als ,,Blutung‘‘ bezeichnet und steht gleichzeitig für den Übergang von einer Ruhephase zu einem aktiven Wachstum. Blutungen sind das Ergebnis eines positiven hydrostatischen Drucks, der in den Wurzeln durch die Remobilisierung von Nährstoffreserven aus Stärke und Proteinen sowie Transport von Zucker und Aminosäuren in das Xylem entsteht. Der Beginn der Blutung sowie das Ausmaß selbst hängt vom Einfluss verschiedener Faktoren wie Rebsorte, Transpirationsrate, Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit ab. Eine Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit sowie deren Temperatur über 7°C führt zum Einsetzen von Blutungen. Die Intensität der Blutung kann sich jedoch verzehnfachen, wenn die Bodentemperatur von 10°C auf 20°C ansteigt. Dieses Phänomen dauert mehrere Tage oder sogar Wochen und es kann auch zu einem diskontinuierlichen Prozess kommen, der eng mit den Änderungen der Bodentemperatur zusammenhängt. Allgemein betrachtet scheidet eine Rebe 1 l/Tag Blutungssaft aus wobei die Absonderung bei höheren Temperaturen einen Wert bis zu 1,5 l/Tag erreichen kann. Viele Faktoren, vor allem die Sorte der Rebe hat einen Einfluss auf die Inhaltsstoffe des Blutungssaftes. Die Inhaltsstoffe sind im Prinzip Kohlenhydrate, Aminosäuren, organische Säuren (insbesondere Citrat, Malat und Tartarat), Mineralstoffe (insbesondere Kalium und Kalzium), Stickstoffverbindungen sowie Hormone, die in erster Linie zur Versorgung der Pflanze dienen. Neben der Versorgung werden viele Mikroben, darunter Nützlinge, Saprophyten und Krankheitserreger durch den Saftstrom von der Erde zur Pflanze und zur Traube transportiert. Die Anzahl der Bakterien, *Aktinomyceten* und Pilzen in Rhizosphärenboden werden auf 10,5 x 10^6 bzw. 10^7 pro Gramm geschätzt. Wissenschaftlich und/oder industriell interessante Bakterien so wie Pilze aus der Rhizosphäre umfassen *Mykorrhiza, Azospirillum, Bacillus, Pseudomonas, Rhizobium, Alternaria, Fusarium, Gliocladium, Pythium, Rhizoctonia, Trichoderma* und *Verticillium.*

Die bakterielle endophytische Besiedlung der Wirtspflanze ist, wobei viele endophytische Bakterien und Hefen die Wurzeln besiedeln und durchdringen das Pflanzengewebe infizieren und sich in den Stängeln beziehungsweise Rebstöcken hinaufbewegen. Ein anderer Weg der Besiedelung erfolgt durch die Stomata der Blätter oder durch die Übertragung von Insekten sowie durch andere wirbellose Tieren wie Nematoden.

Da die Weinrebe ein natürliches Reservoir ansässiger mikrobieller Ressourcen darstellt, war das Hauptziel dieser Studie zu untersuchen, welche Keime sich im Blutungssaft befinden und ob sie durch die Pflanze transportiert werden. Eine bessere Kenntnis über die Anwesenheit verschiedener Bakterien und andere Mikroorgansimen im Blutungssaft sowie ihrer Interaktionen mit der Rebe bietet einen potentiellen zielgerichteten Einsatz von bestimmten Bioagenten in das mikrobielle Ökosystem der Rebe im Hinblick auf den Rebenschutz (Mandl et al,.2022)“.

Material und Methoden

<u>Probenahme des Blutungssaftes</u>

Die Studie wurde auf einem Versuchsweinberg der höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Weinbau und Obstbau, in Klosterneuburg, bei Wien, Österreich (Koordinaten 48.294809N, 16.324693E; 192 m über dem Meeresspiegel) durchgeführt. Es wurden 16 Rebstöcke auf sandigem, braunem Boden untersucht, wobei eine saubere Trinkwasserflasche zur Gewinnung des Blutungssaftes angebracht wurde. Die alkoholische Desinfektion der Fruchtrute erfolgte unmittelbar nach dem frischen Schnitt, eine ungeöffnete saubere 0,5 l Frische PET - Flasche mit stillem Mineralwasser wurde entleert und anschließend an der Fruchtrute fixiert. Zum Schutz wurde noch eine Aluminiumfolie angebracht. DNA Reinigung und NGS (Next Generation Sequencing) Analyse aus 1 ml Blutungssaft wurde die extrahierte DNA an ein kommerzielles Labor (Eurofins Genomics, Ebersberg, Deutschland) geschickt,

um eine Next-Generation-Sequenzierung (NGS) durchzuführen. Die DNA-Extraktion erfolgte mittels NucleoSpin Soil Kit (Macherey Nagel, Düren, Deutschland), danach wurden die Analysen mit einem Illumina MiSeq v3, 2 x 300 bp Modus durchgeführt. Für die Zielregion V1V3 wurden die Primer V1V3_F: AGAGTTTGATCATGGCTCAG und V1V3_R: GTATTACCGCGGCTGCTG verwendet. Das angewandte PCR-Programm beinhaltete 2 min 95°C, dann 28 Zyklen (30 s 95°C + 50 s 50°C + 1 min 72°C), dann 6 min 72°C und schließlich 4°C. Die weitere Verarbeitung von OTUs und taxonomischen Zuordnungen erfolgte mit dem Softwarepaket QIIME (Version 1.9.1, http://qiime.org/) und der NCBI-Datenbank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/).

Bestimmung der Mineralstoffe

Die Mineralstoffe des Blutungssaftes aller 16 Rebstöcke wurde zur näheren Beschreibung erhoben. Die Analysen wurden in der Abteilung Chemie am Bundesamt für Wein- und Obstbau durchgeführt.
Die Mittelwertberechnung sowie die Standardabweichungen der Mineralstoffwerte erfolgte mittels Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) und die Normalverteilung wurde mit IBM® SPSS® Statistics Version 26 (IBM®, New York, USA) berechnet. Der Kolomogorov-Smirnov und der Shaphiro-Wilk Test wurde mit einem Signifikanzniveau von 0,05 durchgeführt, und gefolgt von einem Mann-Whitney U-Test für die Gattung *Pseudomonas* und *Aureobasidium.*

Ergebnisse und Diskussion

Die Mineralstoffwerte wurden mit den Xylemsaftdaten von Keller et al. 2010 verglichen und es wurde festgestellt, dass die Kalium - Xylemsaftwerte mit 110 ± 80 mg/l den Angaben (39,1 – 391 mg/l) entsprechen. Natrium konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden, aber andere Studien haben jedoch bestätigt, dass es im Xylemsaft mit einem Wert von 2,2 - 4,6 mg/l im Xylemsaft zu rechnen ist. Die gemessen Magnesiumwerte von 7,5 ± 6 mg/l sind viel niedriger im Vergleich zu den Angaben in der Literatur, die bei 24,3 – 48,6 mg/l liegen, während die Calciumwerte mit 77,3 ± 6,8 mg/l mit den Angaben von 40 – 200 mg/l übereinstimmen. Die Phosphatwerte (H2PO4) wurden mit 9,6 – 290 mg/l beschrieben und liegen mit (P2O5) 48,4 ± 30,98 mg/l im bekannten Bereich. Es wurde auch bestätigt, dass die Werte für anorganische Substanz 0,2 – 4 g/l angegeben im Rahmen der Werte der Studie Keller (2010) passen. Für die Mikronährstoffe Kupfer, Eisen, Zink und Mangan konnten keine Vergleichswerte ausgehoben werden (Mandl et al,.2022).

Ergebnisse und Beschreibung der wichtigsten gefundenen Gattungen im Blutungssaft

Die OTU Werte der NGS (Next Generation Sequencing) Analysen zeigen, dass vor allem wenige Bakteriengattungen dominant bei den ausgewählten Rebstöcken vorkommen. Die dominantesten Gattungen der Rebstöcke waren *Pseudomonas* mit 100 % und *Massilia* 88 %, die Gattungen *Zoogloea* mit 63 %, *Bacillus* mit 50 %, *Idonella* mit 50 %, *Sphingomonas* und *Paenibacillus* mit 38 % wurden bei den Rebstöcken bestimmt. Der hefeähnliche Mikroorganismus Aureobasidium pullulans konnte bei 13 % der Individuen festgestellt werden. Vereinzelt traten bei den Rebstöcken noch die Gattungen *Jatrophihabitans, Curtobacterium, Paenibacillus, Enterococcus, Weissella, Alphaproteobacteria* n.b. (nicht bestimmbar), *Rhizobiales, Beijerinckia, Bradyrhizobium, Hyphomicrobium, Mesorhizobium, Methylibium, Hydrogenophaga, Oxalobacteraceae* n.b, *Duganella, Janthinobacterium, Enterobacterales* n.b, *Pantoea* und *Acinetobacter* auf. Die oben benannten Gattungen waren in den letzten Jahren Gegenstand von einigen mikrobiellen Studien (Pinto und Gomes, 2016; Belda et al., 2017) und nur das bessere Wissen über diese Gemeinschaften und ihre Wechselwirkungen mit der Weinrebe sowie die Identifizierung als auch die Charakterisierung neuer Mikroorganismen ermöglicht den Schutz der Weinreben mit biologischem Kontrollpotenzial. Im Interesse dieser Studie ging es in erster Linie darum fest zu stellen, welche Keime sich im Blutungssaft befinden und generell wie diese über dem Xylemsaft im Rebstock verteilt werden. *Aureobasidum pullulans* konnte in zwei Rebstöcken (zwei und fünf) detektiert werden. Dieser hefeähnliche Organismus ist im Rebökosystem für seine weitreichende Verbreitung über die Pflanzen, sowohl in unterirdischen als auch in oberirdischen Teilen bekannt, und dominiert die mikrobiellen Konsortien, aber seine funktionelle Rolle ist noch nicht vollständig aufgeklärt.

Da die Weinrebe ein natürliches Reservoir ansässiger mikrobieller Ressourcen darstellt, die in ein komplexes Mikroökosystem eingebettet ist, war das Hauptziel dieser Studie zu untersuchen, welche Keime

sich in Blutungssaft befinden und ob sie durch die Pflanze transportiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass *Pseudomonaden*, welche aktiv durch *Aureobasidium* beeinflusst werden neben *Massilia* die wichtigsten Bakteriengattungen waren. Sie können sich frei im Blutungssaft bewegen und stellen eine Grundvoraussetzung einer gewebespezifischen Besiedlung sowie Stärkung der Pflanzengesundheit dar (Mandl et al,.2022).

Zusammenfassung

Die Weinrebe stellt ein natürliches Reservoir ansässiger mikrobieller Ressourcen dar, die in ein komplexes Mikroökosystem eingebettet ist. Ziel dieser Studie war heraus zu finden, welche Keime sich im Blutungssaft befinden und ob sie durch die Pflanze transportiert werden. Die Gewinnung des Blutungssaftes erfolgte mittels einer sauberen PET- Flasche. Nach erfolgter Anreicherung wurde die DNA-Extraktion mit anschließender NGS Analyse mit der Zielregion V1V3 untersucht und die erhaltenen Sequenzen mit der NCBI Datenbank abgeglichen. Die dominantesten Gattungen in den Rebstöcken waren *Pseudomonas* und *Massilia* gefolgt von den Gattungen *Zoogloea, Bacillus, Idonella, Sphingomonas* und *Paenibacillus*. Zusätzlich konnte der hefeähnliche Mikroorganismus *Aureobasidium pullulans* bei zwei Rebstöcken bestimmt werden sowie wenige andere Bakteriengattungen, die vereinzelt auftreten. Die in der Grube et al. (2011) Studie beschriebene hemmende Interaktion zwischen *Pseudomonas* und *Aureobasidium* konnte auch in unserer Studie nachgewiesen werden. Alle im Blutungssaft bestimmten Mikroorganismen haben generell einen pflanzenstärkenden Einfluss und stellen eine Basis für eine Besiedlung in gewebespezifische Pflanzenteile dar.

Abstract

The grapevine represents a natural reservoir of resident microbial resources embedded in a complex microecosystem. The aim of this study was to find out which germs are present in the bleeding sap and whether they are transported through the plant. The bleeding juice was obtained using a clean PET bottle. After enrichment, DNA extraction followed by analysis of an Illumina MiSeq v3 with target region V1V3 was examined. The sequences obtained were aligned with the NCBI database. The most dominant genera in the grapevines were *Pseudomonas* and *Massilia* followed by the genera *Zoogloea, Bacillus, Idonella, Sphingomonas* and *Paenibacillus*. Sporadically, other bacterial genera appeared in the vines. In addition, the yeast-like microorganism *Aureobasidium pullulans* was determined in two vines and the described inhibitory interaction between *Pseudomonas* and *Aureobasidium* was confirmed as described in the study Grube et al. (2011). In general, all microorganisms determined in the bleeding sap have a plant-strengthening influence and provide a basis for colonization into tissue-specific plant parts.

Orginal und Langversion des Artikels:

MANDL K, SULJIC J, BADER C, HOFSTETTER I AND FABER F (2022): Bestimmung der Endophyten im Blutungssaft der Rebe mittels Next Generation Sequencing. In Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, vol.73, no.2 , pp.123-133. https://doi.org/10.2478/boku-2022-0009

Literatur

BELDA I, ZARRAONAINDIA I, PERISIN M, PALACIOS A, ACEDO, A (2017): From vineyard soil to wine fermentation? Microbiome approximations to explain the “terroir” concept. Frontiers in Microbiology 8, 821.

GRUBE M, SCHMID F, BERG G (2011): Black fungi and associated bacterial communities in the phyllosphere of grapevine, Fungal Biology 115 (10), 978–986.

KELLER M (2010): The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. Elvesier, Burlington, USA, 53–68.

MANDL K, SULJIC J, BADER C, HOFSTETTER I AND FABER F (2022): Bestimmung der Endophyten im Blutungssaft der Rebe mittels Next Generation Sequencing. In Die Bodenkultur: Journal of

Land Management, Food and Environment, vol.73, no.2 , pp.123-133. https://doi.org/10.2478/boku-2022-0009
PINTO C. and GOMES AC (2016): Vitis vinifera microbiome: from basic research to technological development. Bio-Control 61, 243–256.

Adresse der Autoren

HBLA und BA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, A-3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Dr. Karin Mandl, Karin.Mandl@weinobst.at

Nachhaltige Strategien und Folgenabschätzung im Pflanzenschutz

Sustainable strategies and impact assessment in crop protection

Jürgen Schwarz, Bettina Klocke, Silke Dachbrodt-Saaydeh und Hella Kehlenbeck*

Einleitung

Die Landwirtschaft steht vor großen Herausforderungen hinsichtlich der Bereitstellung vielfältiger Leistungen wie Ernährungssicherheit, Schutz und Erhaltung der Biodiversität, Beitrag zum Klimaschutz bei gleichzeitigem Ressourcenschutz und Anpassung an Klimaänderungen sowie vielen gesellschaftlichen Forderungen. Dies adressiert auch die Farm-to-Fork-Strategie mit ihren ambitionierten Zielsetzungen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Reduktion der Anwendung und des Risikos von chemischen Pflanzenschutzmitteln (PSM), so dass zukunftsfähigen und nachhaltigen Pflanzenschutzstrategien eine ganz besondere Bedeutung zukommt.
Ansätze und Potentiale bietet der integrierte Pflanzenschutz (IPS) mit allen vorbeugenden, unterstützenden und direkten alternativen Maßnahmen. Aber auch Anbausysteme, die vollständig auf die Anwendung von PSM verzichten, finden zunehmende Berücksichtigung in der Forschung. Im Folgenden stellen wir diese Ansätze anhand von Beispielen hinsichtlich ihrer Potenziale und Folgen auf der Grundlage unserer aktuellen Forschungsarbeiten mit dem Schwerpunkt „Ackerbau“ vor.

Reduktion der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Auf den JKI-Versuchsflächen am Standort Dahnsdorf (Bundesland Brandenburg) führen wir seit 1995 Dauerfeldversuche zu Pflanzenschutzstrategien unter der Berücksichtigung von Reduktionspotentialen oder dem vollständigen Verzicht auf die Anwendung von PSM durch (SCHWARZ, 2020).
In einem Dauerfeldversuch wurden sowohl der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel, als auch die Reduktion um 25 % und 50 % geprüft. Die Fruchtfolge des Versuchs bestand aus Silomais- Winterweizen1 (A-Weizen)- Wintergerste- Kartoffeln- Winterweizen2 (E-Weizen)- Winterroggen.

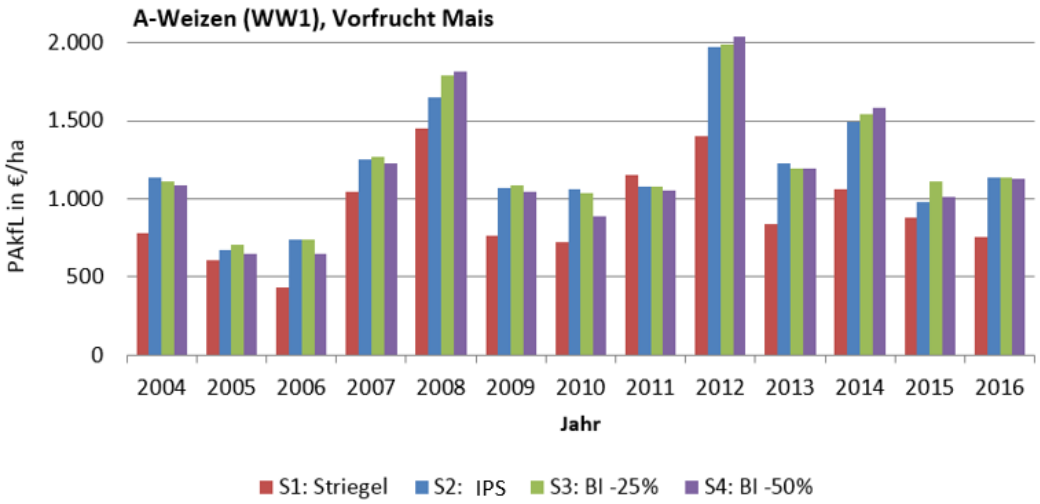


Abbildung 1: **Pflanzenschutz- und arbeitskostenfreie Leistungen (PAkfL, in € je ha) des A-Weizens in einer sechsgliedrigen Fruchtfolge bei vier Pflanzenschutzstrategien (Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel (S1), integrierter Pflanzenschutz (S2), Reduktion des Behandlungsindex (BI) der Strategie S2 um 25 % (S3) und um 50 % (S4)) in einem Dauerversuch am JKI-Standort in Dahnsdorf.**

Die ökonomische Untersuchung der Pflanzenschutzstrategien zeigte, dass der Verzicht auf chemisch-synthetischen Pflanzenschutz (S1) zu deutlichen monetären Verlusten gegenüber den übrigen drei Strategien (S2, S3, S4) führte, wobei diese sich wiederum kaum in ihrer Wirtschaftlichkeit unterschieden (Abbildung 1). Mit lediglich geringem Vorteil war unter den hier gewählten Annahmen ein um 25%

reduzierter Behandlungsindex im Weizen am wirtschaftlichsten. Dies war neben einem intensiven Monitoring der Schadorganismen vor allem auch auf die weite Fruchtfolge zurückzuführen, die zu einer deutlichen Reduktion der Pflanzenschutzintensität im Winterweizen ohne nachteilige Wirkungen auf die Wirtschaftlichkeit führte (SALTZMANN & KEHLENBECK, 2018).

Resistente Sorten als zentraler Bestandteil von Anbausystemen

Der Anbau krankheitsresistenter Sorten bietet im Ackerbau eine sehr wirksame Möglichkeit der Vorbeugung gegen einen ertragswirksamen Befall mit Pflanzenpathogenen und bietet damit Potential zur Einsparung von Fungiziden. Jedoch zeigten Auswertungen der Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz im Getreide (DACHBRODT-SAAYDEH et al. 2021), dass Landwirte oftmals alle angebauten Sorten gleichermaßen mit Fungiziden behandeln, unabhängig vom Resistenzniveau der jeweiligen Sorte. Gründe dafür könnten sein, dass die Resistenzen im Feld nicht erkannt werden (aufgrund vereinzelt sichtbarer Krankheitssymptome am Getreide), oder dass die Bonituren nur an den anfälligeren Sorten erfolgten und von diesen auch auf die resistenten Sorten geschlossen wurde.

Um die Zusammenhänge zwischen dem Anbau resistenter Sorten, der situationsbezogenen Fungizidbehandlung, dem Reduktionspotential hinsichtlich der Anwendung von PSM und der ökonomischen Vorteilhaftigkeit dieser Strategie zu untersuchen, wurden drei Fungizidstrategien (unbehandelt, praxisbezogen, situationsbezogen) an fünf Standorten mit jeweils acht Weizensorten getestet (Projekt AWECOS, KLOCKE et al. 2022). Bei der situationsbezogenen Strategie wurde für jede einzelne der acht Sorten entschieden, ob eine Fungizidmaßnahme notwendig war. Bei der praxisbezogenen Fungizidstrategie wurden bei Überschreiten der Bekämpfungsrichtwerte in einer Sorte auch alle anderen Sorten behandelt. Eine ausführliche Darstellung findet sich bei KLOCKE et al. 2022.

Tabelle 1 zeigt, dass sich die Behandlungsintensitäten, dargestellt anhand des Behandlungsindexes (BI), deutlich zwischen den Standorten und Sorten unterschieden. Bei der situationsbezogenen Fungizidstrategie musste an einigen Standorten (Thyrow, Groß Lüsewitz) gar nicht behandelt werden. Im Mittel lag der Fungizid-BI, außer bei der anfälligen Sorte JB Asano, unter 1,0. Bei der praxisbezogenen Fungizidstrategie lag der BI im Mittel bei 1,7 und somit deutlich über dem der situationsbezogenen Fungizidstrategie. Durch konsequentes Beachten der Sortenresistenzen und der Behandlung nach Schadensschwellen sind auf diese Weise Einsparungen bis zu 80% möglich. Allerdings steigt der Aufwand bezüglich der Bonituren deutlich an, da häufiger und jede Sorte separat bonitiert werden muss.

Tabelle 1: **Behandlungsindex und Summe der Behandlungen der acht Sorten gemittelt über die Jahre an den fünf Standorten in der situationsbezogenen und praxisbezogenen Variante (AWECOS, 2016-2018)**

Behandlungsindex	**Standorte**						
	Söllingen	**Dahnsdorf**	**Bingen**	**Groß Lüsewitz***	**Thyrow**	**Mittel**	**Summe Behandlungen**
situationsbezogen							
JB Asano	2,0	1,7	1,7	1,0	1,1	1,6	25
Apertus	1,2	1,1	0,5	1,0	0,2	0,8	10
Julius	0,8	1,0	0,5	0,5	0,3	0,6	11
Patras	1,0	1,0	0,5	0,5	0,0	0,6	11
Attraktion	1,2	0,7	1,1	0,0	0,0	0,7	11
Spontan	0,8	0,8	0,5	0,0	0,0	0,4	8
Capone	0,6	0,6	0,6	0,0	0,0	0,4	6
Dichter	0,6	0,3	0,6	0,0	0,0	0,3	5
Mittel	1,0	0,9	0,8	0,4	0,2	0,7	11
praxisbezogen							
alle Sorten	2,1	1,8	1,8	1,0	1,3	1,7	25

* nur die Jahre 2017-2018

Die ökonomische Analyse der Strategien anhand der Deckungsbeiträge zeigte, dass die situationsbezogene Fungizidstrategie mit Ausnahme der hochanfälligen Sorte JB Asano auch wirtschaftlich vorteilhaft war (Abb. 2). Diese Differenz war bei den resistenten Sorten Attraktion, Capone und Dichter am höchsten. Die Einsparung von Behandlungskosten bei einem gleichzeitig guten Ertragspotential dieser Sorten waren die primären Ursachen für diese Ergebnisse.

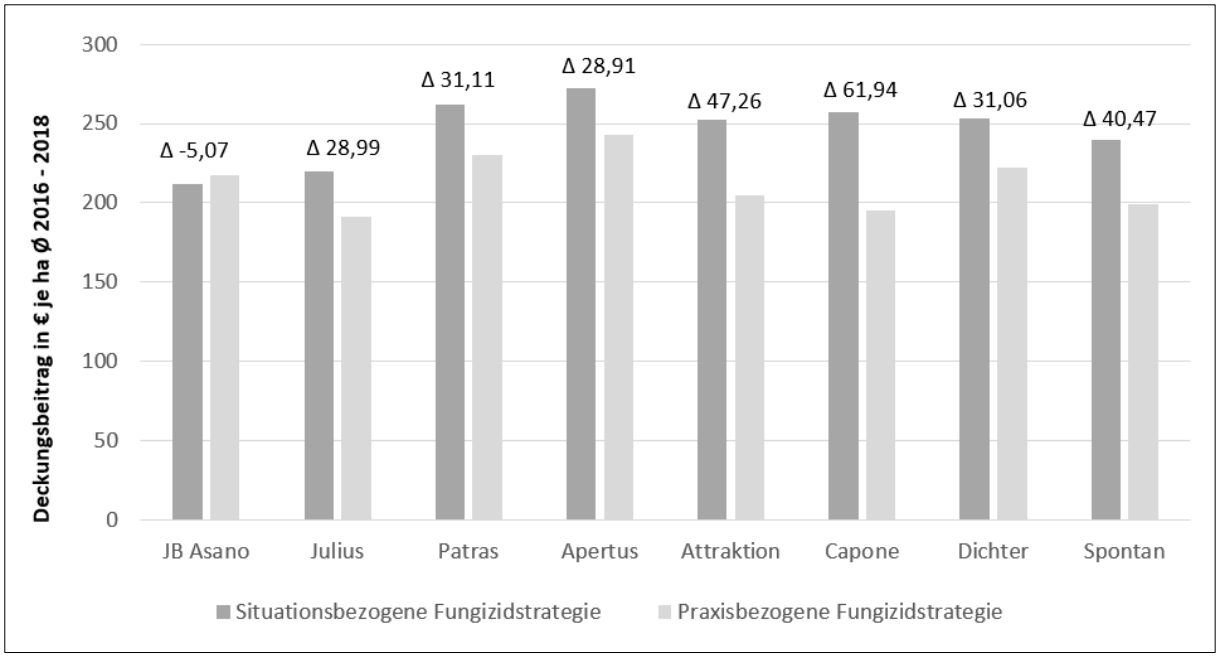


Abbildung 2: **Deckungsbeiträge und deren Differenz (jeweils in € je ha) zwischen der situations- und praxisbezogenen Fungizidstrategie im Mittel der untersuchten Jahre 2016-2018 und Standorte je Sorte.**

Umsetzung des integrierten Pflanzenschutzes in der Praxis

Die konsequente Umsetzung des IPS in der landwirtschaftlichen Praxis wird trotz seiner gesetzlichen Verankerung als unzureichend kritisiert. Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung sollte hier das Modell- und Demonstrationsvorhaben „Integrierter Pflanzenschutz“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) leisten. Von 2011 bis 2019 nahmen an dem Vorhaben insgesamt 66 landwirtschaftlichen Betriebe teil (HELBIG et al. 2022). Die teilnehmenden Betriebe wurden bei der bestmöglichen Umsetzung und Demonstration des IPS intensiv begleitet und beraten. Schwerpunkte bildeten die regelmäßige Bestandeskontrolle und Befallsermittlung, die Einhaltung von Bekämpfungsrichtwerten, Nutzung von Warndienst und Prognosemodellen, die Bevorzugung nichtchemischer Behandlungen sowie die Erprobung vorbeugender Maßnahmen (wie Sortenwahl, Aussaatzeitpunkt, Fruchtfolge) und nichtchemischer alternativer Maßnahmen (wie mechanische Beikraut- und Schädlingskontrolle, elektronengebeiztes Saatgut, Nutzung von Untersaaten).

Abbildung 3 zeigt exemplarisch ein Ergebnis der Betreuung und Beratung der Betriebe im Rahmen des Vorhabens anhand der Entwicklung der Behandlungsintensitäten der Insektizide im Raps in einem Bundesland. Mit Hilfe von Untersaaten und der konsequenten Anwendung von Bekämpfungsrichtwerten gelang es den Betrieben, die Behandlungsintensitäten deutlich zu reduzieren. Als wesentliche Stellschrauben für die erfolgreiche Umsetzung des IPS mit Wirkung auf die Reduktion der Anwendung von PSM in den Betrieben wurden eine intensive und unabhängige Beratung, ein intensives Monitoring im Feld, die Nutzung von Prognosemodellen und Entscheidungshilfen, die Sortenwahl, die Verfügbarkeit nichtchemischer Verfahren sowie die Investition in Pflanzenschutztechnik identifiziert.

Räumliche Diversifizierung

Ein weiterer Ansatz zur Reduktion der Anwendung von PSM ist die räumliche und zeitliche Diversifizierung in der Agrarlandschaft. Der räumliche Kontext wird dabei als eine kleinteilige Ausgestaltung der Agrarlandschaft, z. B. Schlaggrößen oder Landschaftselemente verstanden. Der zeitliche Kontext zielt auf standortangepasste Fruchtfolgen und Kulturen ab. Beide Maßnahmen sollen zur Förderung von Antagonisten und der Reduzierung von Krankheiten und Schädlingen beitragen, was im Projekt patchCROP (https://comm.zalf.de/sites/patchcrop/SitePages/Homepage.aspx) untersucht wird.

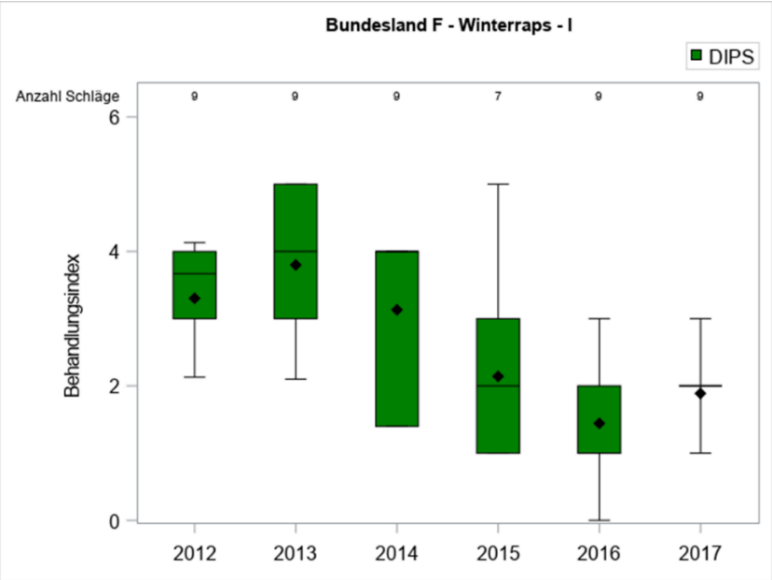


Abbildung 3: **Entwicklung der Behandlungsintensitäten der Insektizide im Winterraps der Betriebe eines Bundeslandes im Verlauf des Modell- und Demonstrationsvorhabens integrierter Pflanzenschutz**

Verzicht auf die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln

Zunehmend suchen neue Forschungsansätze nach Wegen, vollständig auf PSM zu verzichten (u.a. die Initiative „Towards a Chemical Pesticide Free Agriculture, https://www.era-pesticidefree.eu/). So auch das Projekt „LaNdwirtschaft 4.0 Ohne chemisch-synthetischen PflanzenSchutz (NOcsPS)“ (ZIMERMANN et al. 2021), das mit einem Konzept arbeitet, das zwischen dem integrierten und ökologischen Anbau angesiedelt ist: dem Verzicht auf chemischen Pflanzenschutz, jedoch unter Verwendung mineralischer Düngung. Verglichen wird zwischen der NOcsPS-Variante, dem Ökolandbau und dem integrierten (konventionellen) Anbau. In der NOcsPS-Variante werden alle Möglichkeiten des vorbeugenden und des nichtchemischen Pflanzenschutzes genutzt, wie Sortenwahl, mechanische Beikrautregulierung und Befallsmonitoring. Die Versuche wurden im Jahr 2019 am JKI in Dahnsdorf und an der Universität Hohenheim angelegt. Erste Ergebnisse aus Dahnsdorf zeigen tendenziell höhere Erträge der mineralisch gedüngten NOcsPS-Variante im Vergleich zu den ökologisch bewirtschafteten Flächen des Versuchs (Abb. 4), so dass ein solches Anbausystem unter Verzicht auf PSM dazu beitragen könnte, die Ertragslücke im Vergleich zum Ökolandbau zu schließen.

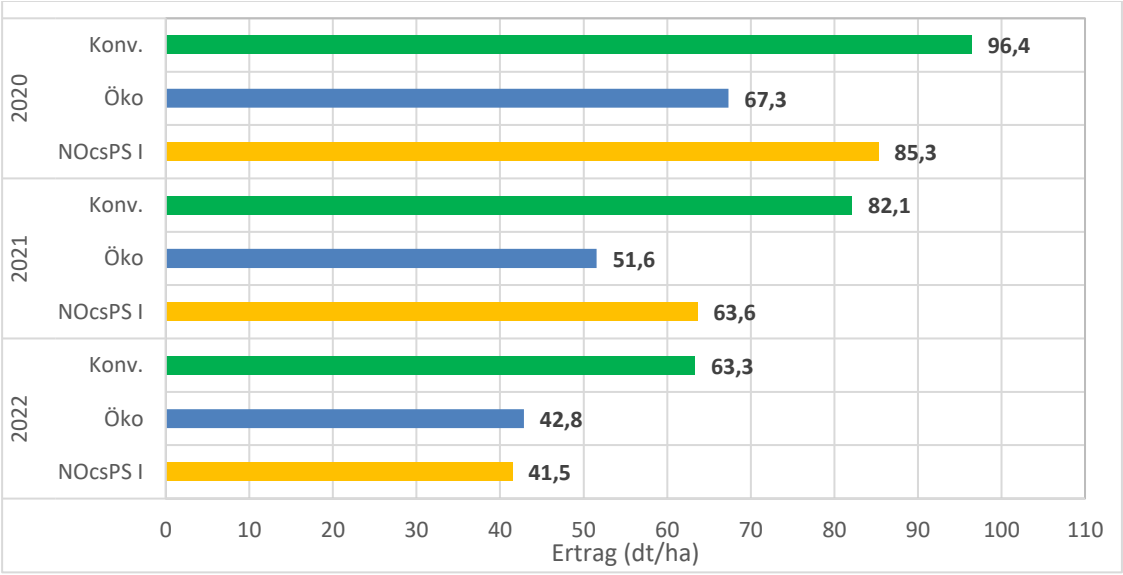


Abbildung 4: **Ertrag (dt/ha) von Winterweizen1 (Sorte Achim) am Standort Dahnsdorf in den Anbausystemen konventionell (konv.), Ökologischer Anbau (Öko), NOcsPS I (ohne chemische Pflanzenschutzmittel, mit angepasster mineralischer Düngung, normale Saatstärke)**

Zusammenfassung

Es gibt vielfältige nachhaltige Pflanzenschutzstrategien, denen die Grundlagen des IPS, mit vorbeugenden Maßnahmen, dem Monitoring, der Anwendung von Prognosesystemen und nichtchemischen Verfahren gemeinsam ist. Der IPS erweist sich nach wie vor als sehr wichtige Strategie mit ökonomischer Vorteilhaftigkeit. Die konsequente Umsetzung in der Praxis kann einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der vielfältigen Ziele u.a. im Rahmen der Farm-to-Fork-Strategie leisten, vor allem wenn auch klima- und biodiversitätsrelevante Aspekte berücksichtigt werden. Erforderlich sind dafür die Weiterentwicklung, Erprobung und Bereitstellung weiterer nichtchemischer Maßnahmen und Verfahren. Ein vollständiger Verzicht auf PSM, wie aus gesellschaftlicher Sicht erwünscht, stellt bisher noch eine Herausforderung dar, jedoch zeigen Systeme wie NOcsPS erste vielversprechende Schritte in diese Richtung.

Abstract

There are many sustainable crop protection strategies that have in common the implementation of Integrated Pest Management (IPM) including preventive measures, monitoring and decision support systems as well as non-chemical methods. IPM still proves to be an important strategy with economic advantages. Consistent implementation in practice can make a significant contribution to achieving the diverse goals of the Farm-to-Fork strategy, among others, especially if aspects relevant to climate adaptation and protection of biodiversity are also taken into account. This requires the further development, testing and provision of additional non-chemical measures and strategies. Completely omission of pesticides, as desired from a societal perspective, is still a challenge, but systems such as NOcsPS and other initiatives are showing the first promising steps into this direction.

Literatur

DACHBRODT-SAAYDEH, S., SELLMANN, J., STRASSEMEYER, J., SCHWARZ, J., KLOCKE, B. KRENGEL, S., KEHLENBECK, H. (2021). Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz: Jahresbericht 2017; Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2017. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 210, 140 S.

HELBIG, J., GUMMERT, A., PAAP, M., EBERHARDT, G., SCHLAGE, B., SELLMANN, J., STRASSEMEYER, J., FREIER, B., PETERS, M., SUHL, F., PRAMSCHÜFER, L., STOSIUS, H., HERZER, A., KEHLENBECK, H. (2022) BMEL Modell- und Demonstrationsvorhaben „Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz“, Abschlussbericht – Teilprojekt „Koordination“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 218. Doi 10.5073/20211215-101835.

KLOCKE B, SOMMERFELDT N, WAGNER C, SCHWARZ J, BAUMECKER M, ELLMER F, JACOBI A, MATSCHINER K, PETERSEN J, WEHLING P, SELLMANN J, RAJMIS S, KEHLENBECK H (2022) Disease threshold-based fungicide applications: potential of multi-disease resistance in winter wheat cultivars in Germany. European Journal of Plant Pathology 165, 363–383.

SALTZMANN, J., KEHLENBECK, H. (2018): Wirtschaftlichkeitsbewertung von Pflanzenschutzstrategien in E- und A Weizen anhand eines Feldversuches in Brandenburg mit sechsgliedriger Fruchtfolge in den Jahren 2004 bis 2016. Gesunde Pflanzen. 70 (3), 129-138. Doi: 10.1007/s10343-018-0425-0.

SCHWARZ J. (2020): Auswirkungen von mehrjährig herbizidfreiem Management auf den nachfolgenden Auflauf von dikotylen und monokotylen Unkräutern - Ergebnisse einer Dekade. Julius-Kühn-Archiv, Nr. 464, S. 51 – 56.

ZIMMERMANN, B., CLAß-MAHLER, I., VON COSSEL, M., LEWANDOWSKI, I., WEIK, J., SPILLER, A., NITZKO, S., LIPPERT, C., KRIMLY, T., PERGNER, I., ZÖRB, C., WIMMER, M.A., DIER, M., SCHURR, F.M., PAGEL, J., RIEMENSCHNEIDER, A., KEHLENBECK, H., FEIKE, T., KLOCKE, B. ET AL. (2021): Mineral-Ecological Cropping Systems—A New Approach to Improve Ecosystem Services by Farming without Chemical Synthetic Plant Protection. Agronomy 11 (9), 1710.

Adresse der Autoren

Julius Kühn-Institut, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, D-14532 Kleinmachnow

* Ansprechpartner: Dr. Hella Kehlenbeck, hella.kehlenbeck@julius-kuehn.de

Der Einfluss von Witterung, Tageszeit und interspezifischer Konkurrenz auf die Parasitierungsleistung von Schlupfwespen

Influence of weather, time of day, and interspecific competition on the parasitization performance of ichneumonid wasps

Thomas Zankl*, Martin Mayrhofer, Christa Schafellner, Axel Schopf

Einleitung

Der Grüne Eichenwickler, *Tortrix viridana* (Lepidoptera, Tortricidae), gilt als die forstlich bedeutsamste Wicklerart in europäischen Laubwäldern. Durch unregelmäßig auftretende Massenvermehrungen kommt es häufig zur vollständigen Entlaubung von Eichenbeständen im Frühjahr. Die Populationsdynamik des Eichenwicklers wird wesentlich von seinen natürlichen Gegenspielern beeinflusst. Puppenparasitoide aus der Familie der Schlupfwespen (Ichneumonidae) nehmen dabei eine Schlüsselrolle ein (BOGENSCHÜTZ 1978). Im Zuge des Forschungsprojekts *Eichenresilienz* wurden heimische Parasitoide identifiziert, die sich zur Massenzucht auf Alternativwirten im Labor und anschließenden Freilassung in Eichenbeständen eignen. Ein Anheben der Populationsdichte der Antagonisten soll Massenvermehrungen und somit starken Schäden vorbeugen und die Widerstandsfähigkeit von Eichenwäldern gegenüber biotischen Schadfaktoren erhöhen. Als potenziell geeignete Arten erwiesen sich die Schlupfwespen *Pimpla turionellae, Itoplectis maculator* und *Apechthis quadridentata* (Hymenoptera, Ichneumonidae). Zum breiten Wirtskreis dieser Puppenparasitoide zählen zahlreiche Wickler-Arten. Nach erfolgreicher Zucht in Puppen der Großen Wachsmotte, *Galleria mellonella* (Lepidoptera, Pyralidae), wurden im Sommer 2022 unter Semifreilandbedingungen Versuche zum Einfluss von Witterung, Tageszeit und interspezifischer Konkurrenz auf die Parasitierungsleistung der drei Schlupfwespenarten durchgeführt.

Material und Methoden

Die Versuche wurden in insektendichten Gazezelten mit einer Grundfläche von 4 Quadratmetern und einer Höhe von 2 Metern im Institutsgarten an der BOKU in Wien durchgeführt. Die Zelte wurden mit getopften Hainbuchen und Datenloggern (HOBO Pendant) zur Aufzeichnung von Temperatur, Strahlungsintensität und relativer Luftfeuchtigkeit ausgestattet. Im Anschluss wurden Wespenweibchen in den Zelten freigelassen und in unterschiedlichen Versuchsvarianten Wirtspuppen zur Parasitierung angeboten.

Versuch 1 (Juni 2022): Als Parasitoide wurden *P. turionellae* und *I. maculator* verwendet, als Wirte Puppen des Grünen Eichenwicklers und des Kleinen Frostspanners, *Operophtera brumata* (Lepidoptera, Geometridae). Das Verhältnis von Wespenweibchen zu Wirtspuppen lag in allen Varianten bei 1:10 (Tabelle 1). Eichenwicklerpuppen wurden in künstliche Blattwickel aus Zigarettenpapier verpackt und an Schnüre geknüpft im Kronenbereich der Topfpflanzen angeboten (Abbildung 1). Frostspannerpuppen wurden unter einer dünnen Schicht von Kokosfasersubstrat vergraben. Die Exposition der Puppen im Zelt erfolgte für 30 Stunden, der Versuch wurde vier Mal wiederholt. Die Wespen verblieben dabei in den Zelten, die Wirtspuppen wurden ausgetauscht. Die künstlichen Wickel wurden im Anschluss auf Einstichlöcher untersucht. Aufgrund des Größenunterschiedes zwischen *P. turionellae* und *I. maculator* konnten Einstichlöcher der beiden Arten anhand des Durchmessers unterschieden werden. Die im Versuch verwendeten Eichenwicklerpuppen waren in ihrer Entwicklung bereits weit fortgeschritten und der Falterschlupf stand kurz bevor. Daher erlaubten die Puppen in vielen Fällen keine erfolgreiche endoparasitische Entwicklung der Wespen. Die Auswertung des Versuchs erfolgte entsprechend anhand der Zahl der Puppen mit Einstichlöchern.

Versuch 2 (Juli 2022): Jeweils fünf Weibchen von *P. turionellae* und *A. quadridentata* wurden gemeinsam in einem Zelt freigelassen, jeweils 50 Puppen der Großen Wachsmotte wurden in künstlichen Blattwickeln angeboten. Die Puppen wurden dabei unregelmäßig verteilt: 25 Puppen in einem zentralen Wirtscluster mit geringem Abstand zu einander, 25 Puppen verteilt an den Zelträndern. Um die tageszeitliche Parasitierungsaktivität zu untersuchen, wurden die Puppen in vier Wiederholungen für jeweils

zwei Stunden am Morgen (06:00-08:00 Uhr), zu Mittag (12:00-14:00 Uhr) und am Abend (18:00-20:00 Uhr) angeboten. Im Anschluss an den Versuch wurden die Wickel auf Einstichlöcher untersucht. Potenziell parasitierte Puppen wurden bei 20 °C und Langtagbedingungen bis zum Schlupf der Parasitoide oder der adulten Falter gelagert.

Tabelle 1: **Versuchsanordnung**

	Wespenweibchen	**Anzahl**	**Wirtspuppen**	**Anzahl**
Zelt 1	*Pimpla turionellae*	10	*Tortrix viridana*	50
			Operophtera brumata	50
Zelt 2	*Pimpla turionellae*	5	*Tortrix viridana*	50
	Itoplectis maculator	5	*Operophtera brumata*	50
Zelt 3	*Itoplectis maculator*	5	*Tortrix viridana*	50

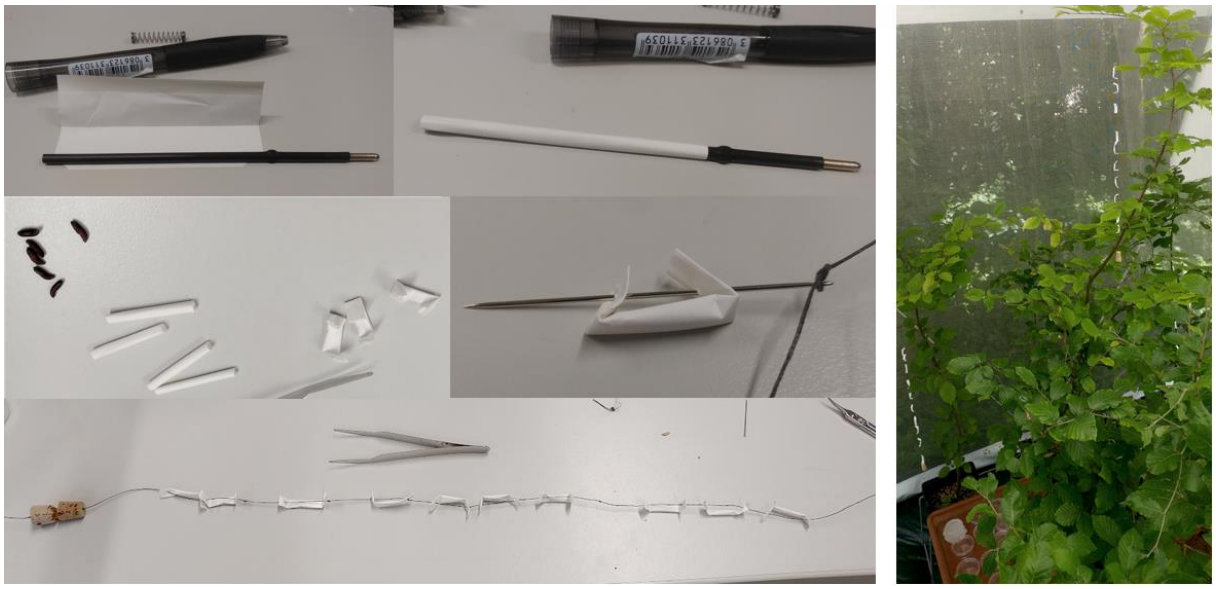


Abbildung 1: **Blattwickel mit Puppen von *T. viridana* und *G. mellonella***

Ergebnisse und Diskussion

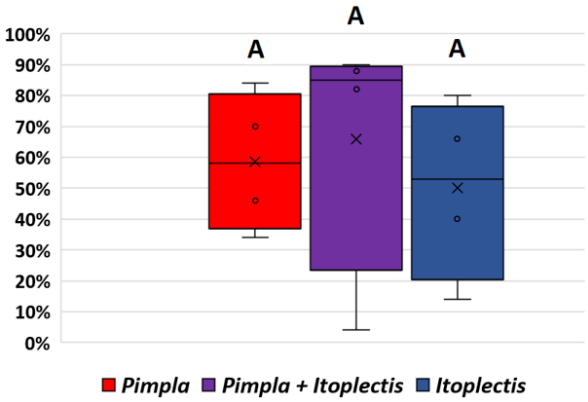


Abbildung 2: **Anteil an Eichenwicklerpuppen mit Einstichlöchern. Zwischen den verschiedenen Zelten gab es keine signifikanten Unterschiede (ANOVA, p = 0,784).**

Versuch 1: Frostspannerpuppen werden weder zum natürlichen Wirtskreis von *P. turionellae* noch *I. maculator* gezählt (FITTON et al. 1988). In unseren Laborversuchen gelang dennoch eine erfolgreiche Parasitierung durch *P. turionellae* und auch ein Grabverhalten der Wespen konnte beobachtet werden, wenn Puppen unter Kokosfasersubstrat angeboten wurden. Unter naturnahen Bedingungen in den Zelten war dies hingegen nicht der Fall: Frostspannerpuppen wurden in keiner Versuchsanordnung durch die Wespen parasitiert.

Der Anteil an Eichenwicklerpuppen mit Einstichlöchern unterschied sich in den drei Zelten nicht signifikant und lag zwischen 50-66 % (Abbildung 2). In Zelt 2 (*P. turionellae* und *I. maculator* gemeinsam) lag der Anteil an Puppen mit Einstichlöchern tendenziell am höchsten (Ausnahme: erste Wiederholung mit 4 %). Die interspezifische Konkurrenz hatte also keine negative Auswirkung auf die Gesamtparasitierungsrate, die Einstichlöcher stammten allerdings nahezu ausschließlich von *P. turionellae*. Dies ist möglicherweise auf die unterschiedliche Körpergröße der beiden Wespenarten zurückzuführen. Während die im Versuch verwendeten Weibchen

von *I. maculator* aus Eichenwicklerpuppen stammten, entwickelten sich die Weibchen von *P. turionellae* in den wesentlich größeren Puppen der Wachsmotte. Körperlich überlegene Wespen verdrängen kleinere Weibchen häufig von potenziellen Wirtspuppen (ODE et al. 2022).

Versuch 2: Während am frühen Morgen kaum Parasitierungsaktivität festgestellt wurde (5 %), lag der Anteil an Puppen mit Einstichlöchern zu Mittag (19 %) bzw. am Abend (22 %) signifikant höher (ANOVA, p = 0,012). Knapp 90 % der Puppen, deren Wickel Einstichlöcher aufwiesen, wurden dabei auch tatsächlich abgetötet. Adulte Wespen schlüpften etwa aus der Hälfte der angestochenen Wickel, die andere Hälfte wurde entweder durch „host-feeding" abgetötet oder es kam zum vorzeitigen Tod der Wirtspuppe. Einstichlöcher von *P. turionellae* und *A. quadridentata* konnten optisch nicht unterschieden werden, somit konnten nur Puppen mit erfolgreichem Wespenschlupf eindeutig einer der beiden Arten zugerechnet werden. Hinsichtlich der interspezifischen Konkurrenz zeigte sich *P. turionellae* wieder überlegen: aus 5,7 % der angebotenen Wirtspuppen entwickelte sich *P. turionellae*, während *A. quadridentata* nur aus 1,8 % der Puppen schlüpfte.
Die Parasitierungsrate durch *P. turionellae* lag morgens niedriger als mittags und abends, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (ANOVA, p = 0,087). Bei *A. quadridentata* zeigte sich hingegen abends eine signifikant höhere Parasitierungsaktivität als am Morgen (ANOVA, p = 0,036). Während *P. turionellae* zu Mittag eine signifikant höhere Parasitierungsrate erreichte als *A. quadridentata* (t-test, p = 0,006), waren morgens (t-test, p = 0,391) und abends (t-test, p = 0,295) keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Arten zu erkennen (Abbildung 3). *Pimpla turionellae* zeigte keine Präferenz für Wirtscluster oder verstreute Wirtsvorkommen (t-test, p = 0,108). Bei *A. quadridentata* lag der Parasitierungserfolg im zentralen Cluster mit 3,0 % signifikant höher als bei den am Zeltrand verteilten Puppen (0,7 %) (Fisher's exact text, p = 0,032).

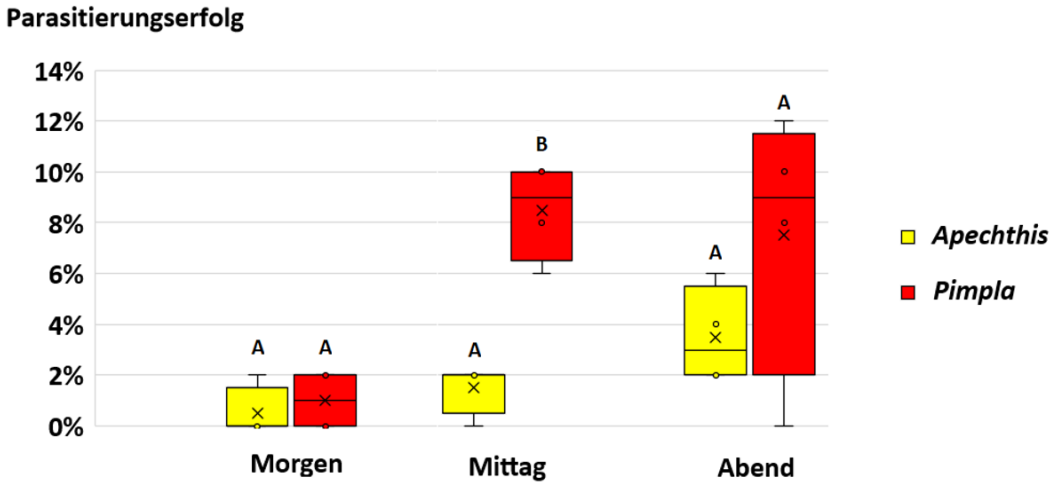


Abbildung 3: **Parasitierungserfolg durch *P. turionellae* bzw. *A. quadridentata* in Abhängigkeit von der Tageszeit. Buchstaben über den Säulen beziehen sich auf Unterschiede zwischen den beiden Arten: unterschiedliche Buchstaben repräsentieren signifikante Unterschiede.**

Während sich die mittleren Temperaturen zu Mittag (29°C) und am Abend (28°C) kaum unterschieden, lagen sie am Morgen mit 21°C signifikant niedriger (ANOVA, p = 0,012). Die relative Luftfeuchtigkeit war morgens tendenziell am höchsten (68 %), die Unterschiede zu den Werten zu Mittag (49 %) und am Abend (54 %)

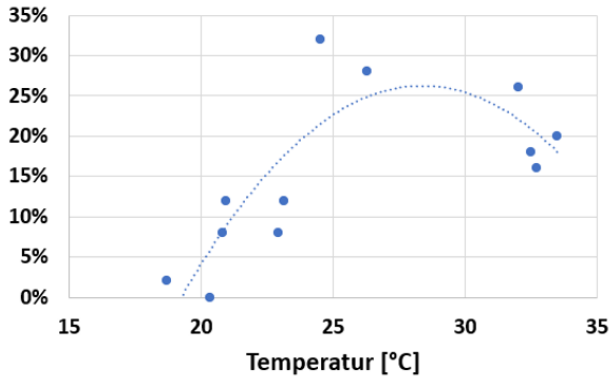


Abbildung 4: **Blattwickel mit Einstichlöchern in Abhängigkeit von der Temperatur (Spearman Korrelationskoeffizient, ρ = 0,653)**

waren jedoch nicht signifikant (ANOVA, p = 0,292).

Hinsichtlich der Parasitierungsaktivität ergab sich in Bezug auf die Temperatur ein Aktivitätsmaximum im Bereich von 25°C (Abbildung 4). Während die Aktivität bei niedrigeren Temperaturen um 20°C stark gehemmt war, wirkten sich Temperaturen um 33°C kaum negativ auf die Parasitierungsaktivität aus (Abbildung 4). Dies gilt sowohl für den Anteil aller Puppen mit Einstichlöchern, als auch für *P. turionellae* im Speziellen. Für *A. quadridentata* konnte aufgrund der niedrigen Parasitierungsrate kein eindeutiger Zusammenhang nachgewiesen werden. Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit wirkte sich ebenfalls negativ auf die Parasitierungsaktivität aus (Abbildung 5).

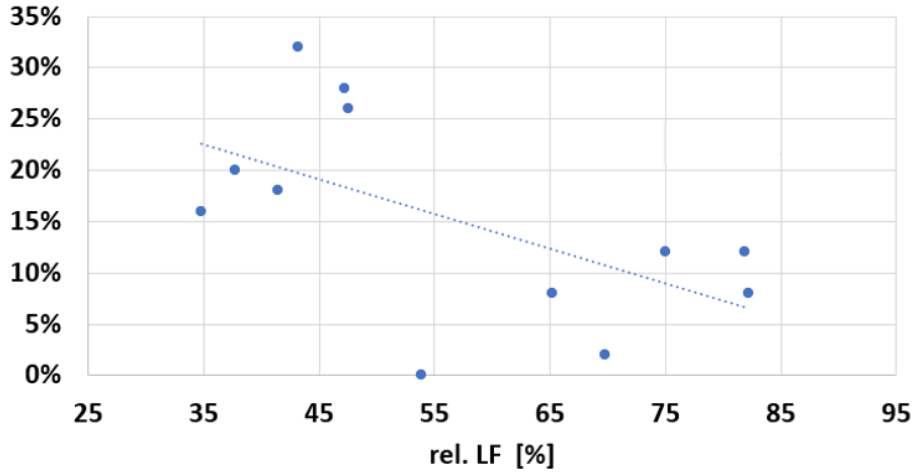


Abbildung 5: **Blattwickel mit Einstichlöchern in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit (Pearson Korrelationskoeffizient, r = -0,578)**

Im Zuge der Versuche konnten wichtige Daten und Informationen für eine möglichst effiziente Freilassung der betreffenden Wespenarten im Wald gesammelt werden. Trotz der kompetitiven Überlegenheit von *P. turionellae* brachte die interspezifische Konkurrenz keine negativen Effekte auf die Gesamtparasitierungsrate mit sich, im Gegenteil sind synergistische Effekte zu erwarten. Die Parasitierungsleistung pro Weibchen lag in einem Bereich von 3-6 Puppen pro Tag. Hohe Temperaturen zur Zeit der Puppenruhe des Grünen Eichenwicklers dürften den Parasitierungserfolg kaum schmälern, während in kühl-feuchten Wetterperioden die Erfolgsaussichten deutlich geringer sein dürften. Eine Präferenz für Wirtscluster, wie sie bei *A. quadridentata* gegeben ist, kann hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen einer Freilassung als positiv betrachtet werden. Nicht-Zielarten dürften somit weniger häufig parasitiert werden.

Zusammenfassung

Der Grüne Eichenwickler, *Tortrix viridana* (Lepidoptera, Tortricidae), zählt zu den bedeutendsten Forstschädlingen in europäischen Eichenwäldern und verursacht bei Massenvermehrungen immer wieder große Schäden. Natürliche Gegenspieler können die Populationsdynamik des Insekts wesentlich beeinflussen. Eine zentrale Rolle spielen dabei Puppenparasitoide aus der Familie der Schlupfwespen (Ichneumonidae). Im Sommer 2022 wurden Versuche zum Einfluss von Witterung, Tageszeit und interspezifischer Konkurrenz auf die Parasitierungsleistung von drei Schlupfwespenarten durchgeführt. In zwei Versuchsreihen wurden Wirtspuppen und Wespenweibchen der Arten *Pimpla turionellae, Itoplectis maculator* und *Apechthis quadridentata* (Hymenoptera, Ichneumonidae) in insektendichte Zelte ausgebracht. Bei Temperaturen um 25°C lag die Parasitierungsaktivität bei allen Arten signifikant höher als bei 20°C. Bei Temperaturen über 30°C verringerte sich die Aktivität wieder, der Effekt war jedoch wesentlich schwächer als bei niedrigeren Temperaturen. Während die Aktivität am frühen Morgen bei beiden Arten sehr niedrig war, zeigte *P. turionellae* die höchste Aktivität über die Mittagszeit, *A. quadridentata* hingegen am Abend. Hinsichtlich der interspezifischen Konkurrenz war *P. turionellae* gegenüber den beiden anderen Arten deutlich dominant. Dies wirkte sich jedoch nicht negativ auf die Gesamtparasitierungsleistung aus.

Abstract

The European oak leafroller, *Tortrix viridana* (Lepidoptera, Tortricidae), is one of the most important pest insects in European oak forests and population outbreaks frequently cause severe damage. Natural enemies can significantly influence the insect's population dynamics. Pupal parasitoids of the family Ichneumonidae play a key role among the natural enemies. In summer 2022, semi-field experiments were conducted to investigate the influence of weather, time of day, and interspecific competition on the parasitization performance of three ichneumonid wasp species. Host pupae and female wasps of *Pimpla turionellae*, *Itoplectis maculator*, and *Apechthis quadridentata* (Hymenoptera, Ichneumonidae) were released in insect-proof tents. Parasitization activity of all species was significantly higher at 25°C than at 20°C. At temperatures above 30°C, activity decreased, but the effect was much weaker than that caused by lower temperatures. While wasp activity in the early morning was generally very low, *P. turionellae* showed the highest activity at noon and *A. quadridentata* in the evening. In terms of interspecific competition, *Pimpla turionellae* exhibited a strong dominance over the other two species. However, this did not negatively affect the overall parasitization rate.

Literatur

BOGENSCHÜTZ H (1978): Tortricinae. In: Schwenke, W. (Hrsg.): Die Forstschädlinge Europas – Ein Handbuch in fünf Bänden. Bd. 3 – Schmetterlinge. Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlin, 55-89.

ODE P J, DHAVAL K V, HARVEY J A (2022): Extrinsic Inter- and Intraspecific Competition in Parastoid Wasps. Annu Rev Entomol 67, 305-328.

FITTON M G, SHAW M R, GAULD I D (1988): Handbooks for the identification of British Insects – Pimpline Ichneumon-Flies. Bd. 7, Teil 1. Royal Entomological Society of London, London, 111pp.

Adresse der Autoren

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Peter-Jordan-Straße 82/I, A-1190 Wien

* Ansprechpartner: DI Thomas ZANKL, thomas.zankl@boku.ac.at

Einfluss von Managementmaßnahmen und Landschaftszusammensetzung auf Raubmilben in europäischen Weinbaugebieten

Influence of management practices and landscape composition on predatory mites in European wine-growing regions

Stefan Möth[1*], Adrien Rusch[2], Christoph Hoffmann[3], Herrera Rafael Alcalá[4], Daniela Popescu[5] Andreas Walzer[1], Silvia Winter[1]

Einleitung

Nachhaltige weinbauliche Maßnahmen wie ein reduzierter Pestizideinsatz (PENNINGTON et al. 2017), eine begrünte Fahrgasse (BURGIO et al. 2016) sowie eine diverse umliegende Landschaft (RUSCH et al. 2017) sind wichtige Faktoren zur Förderung der Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen im Weinbau. In Bezug auf die natürliche Schädlingskontrolle sind hierbei Raubmilben aus der Familie der Phytoseiidae wichtige natürliche Gegenspieler von herbivoren Milben (Spinn- und Gallmilben (Tetranychidae und Eriophyidae)) an der Weinrebe (DUSO et al. 2012). Für eine erfolgreiche biologische Kontrolle dieser Schadmilben ist eine stabile Raubmilbenpopulation in den Weingärten notwendig. Dies wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel den Bewirtschaftungstyp (biologisch oder konventionell) (REIFF et al. 2021) oder eine Begrünung in der Fahrgasse, die Pollen als zusätzliche Nahrungsquelle liefert (DUSO et al. 2012). Des Weiteren können naturnahe Landschaftselemente in der Nähe von Weingärten als Reservoir und Einwanderungsquelle für Raubmilben dienen (TIXIER et al. 1998).

Material und Methoden

In insgesamt 156 Weingärten, verteilt auf die europäischen Weinbauregionen Bordeaux (Frankreich), Leithaberg (Österreich), Pfalz (Deutschland), PDO Montilla-Moriles (Spanien) und Târnave (Rumänien), wurde dementsprechend der Effekt des Bewirtschaftungstyps (biologisch/integriert/konventionell), des Begrünungsmanagements der Fahrgasse (artenreiche/artenarme Begrünungsmischung/spontane Vegetation/offener Boden) und der umliegenden Landschaftsstruktur (Anteil an naturnahen Landschaftselementen/Weingärten) auf die Raubmilbenpopulationen untersucht.
Im Zusammenhang mit dem Weinbaugebiet wurden dafür zwischen 2019–2021 jeweils 25 Weinblätter pro Weingarten an vier Terminen, zu den BBCH-Stadien (LORENZ et al., 1994): (i) 60–65, (ii) 75–77, (iii) 81 und (iv) 85–89 entnommen. Milben in den Blattproben wurden nach der Waschmethode extrahiert (BOLLER 1984, HILL und SCHLAMP 1984), anschließend gezählt und auf Artniveau identifiziert.
Die Landschaftselemente wurden innerhalb eines 500 m Umkreises für jeden Weingarten kartiert. Duch die Information über die eingesetzten Pflanzenschutzmittel wurde ein flächenbezogener Pestizid-Toxizitätsindex (aAPTLc) für jeden Weingarten berechnet (MÖTH et al. 2021).
Für die statistische Auswertungen wurden mit R (R CORE TEAM 2021) Lineare Modelle (LM) und Lineare gemischte Modelle (LMM) berechnet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Weinbaugebiete Bordeaux, Leithaberg, Pfalz und Târnave wiesen eine stabile Raubmilbenpopulation im Bereich von 3,09–1,07 Phytoseiid Milben pro 100 cm² Blattfläche auf. Lediglich PDO Montilla-Moriles hatte eine sehr geringe Dichte an Raubmilben mit 0.05 Phytoseiid Milben pro 100 cm² Blattfläche. Die Populationsdichte an herbivoren Milben lag in den fünf Weinbauregionen unter der wirtschaftlichen Schadensschwelle, Spinnmilben wurden am seltensten gefunden. Die geringe Diversität der Raubmilben wurden in den Weingärten zumeist von einer oder zwei Arten dominiert: *Typhlodromus pyri* Scheuten in Bordeaux, Leithaberg und Pfalz; *T. pyri* und *Amblyseius andersoni* (Chant) in Târnave (siehe MÖTH et al. 2023).
Die Auswertung der statistischen Modellierung zeigte, dass Raubmilbenpopulationen vor allem durch den Bewirtschaftungstyp beeinflusst wurden. Raubmilben profitierten vom integriertem/konventionellem Management im Vergleich zu biologischem Management in Bordeaux und Leithaberg. Dies liegt

darin begründet, dass in integrierten und konventionellen Weingärten ein geringerer Einsatz an Fungiziden erfolgte, wobei ein verringerter Einsatz von Schwefel sich speziell positiv auf die Raubmilbenpopulationen auswirkte (PENNINGTON et al. 2017, REIFF et al. 2021).
Die spontan begrünte Fahrgasse zeigte die höchste Dichte an Raubmilben in Leithaberg, Pfalz und Târnave im Vergleich zu artenarmer oder artenreicher Begrünungsmischungen, sowie offenem Boden. Eine begrünte Fahrgasse wirkt sich generell positiv auf Raubmilben im Weingarten aus (SÁENZ-ROMO et al. 2019), da sie Pollen als zusätzliche Nahrungsquelle für Raubmilben liefern kann (DUSO et al. 2012). Folglich dürfte eine spontane Begrünung im Zusammenhang mit den darin vorkommenden Pflanzenarten mehr Pollen für Raubmilben bereitstellen im Vergleich zu eingesäten Begrünungsmischungen (MÖTH et al. 2021).
Die statistische Modellierung zeigte des Weiteren, dass sich ein erhöhter Anteil an Weingärten in der umliegenden Landschaft positiv auf die Raubmilbendichte in Bordeaux, Leithaberg und Târnave auswirkt. Im Gegensatz dazu zeigte ein erhöhter Anteil an naturnahen Landschaftselementen einen negativen Effekt. Dies könnte darin begründet sein, dass die Ausbreitung von Raubmilben zwischen den Weingärten erfolgen kann, vor allem bei einer ausreichend stabilen Population (TIXIER et al. 1998). Dementsprechend ist der Anteil an Weingärten in einer Weinbaulandschaft ein wichtiger Faktor für die Populationsdichte von Raubmilben.

Zusammenfassung

Weinbauliche Maßnahmen und die Landschaftsstruktur in den Weinbaugebieten sind entscheidende Faktoren für eine erfolgreiche biologische Schädlingskontrolle im Weingarten. Raubmilben der Familie Phytoseiidae sind die wichtigsten Räuber herbivorer Milben wie Spinnmilben (Tetranychidae) oder Gallmilben (Eriophyidae) in Weingärten. Die Untersuchungen in 156 Weingärten verteilt auf Bordeaux (Frankreich), Leithaberg (Österreich), Pfalz (Deutschland), PDO Montilla-Moriles (Spanien) und Târnave (Rumänien) zeigten einen Effekt auf Raubmilbenpopulationen durch den Bewirtschaftungstyp, das Begrünungsmanagement und die Landschaftsstruktur. Hierbei wirkte sich integriertes/konventionelles Management durch einen verringerten Einsatz von Fungiziden positiv auf Raubmilben im Vergleich zu biologischem Management in Bordeaux und Leithaberg aus. Begrünte Fahrgassen förderten Raubmilben durch den zusätzlichen Pollen als Nahrungsquelle. Spontane Begrünung der Weingartenfahrgasse in Leithaberg und Pfalz hatten hierbei die höchsten Raubmilbendichten im Vergleich zu eingesäten Begrünungsmischungen. Des Weiteren führte ein erhöhter Anteil an Weingärten in der Landschaft zu höheren Raubmilbenpopulation in Bordeaux, Leithaberg und Târnave. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die biologische Schädlingskontrolle von herbivoren Milben an Weinreben durch einen reduzierten Einsatz von Fungiziden und einer spontan begrünten Fahrgasse profitiert. Der Anteil an Weingärten in der umliegenden Landschaftsstruktur stellt ebenfalls einen weiteren wichtigen Faktor für Raubmilbenpopulationen dar.

Abstract

Viticultural management practices and landscape composition in wine-growing regions are main factors for a successful biological control in vineyards. Predatory mites from the family Phytoseiidae are the most important predators for phytophagous mites such as spider mites (Tetranychidae) and gall mites (Eriophyidae) in vineyards. This study showed in 156 vineyards distributed over Bordeaux (France), Leithaberg (Austria), Palatinate (Germany), PDO Montilla-Morilles (Spain) and Târnave (Romania) how predatory mite populations were affected through the farming type, vegetation management and landscape composition. Integrated/conventional farming showed a beneficial effect for predatory mites due to a reduced fungicide use compared to organic farming in Bordeaux and Leithaberg. Vegetation in the vineyard inter-row is in general beneficial for predatory mites because of the provision of pollen as additional food resource. Spontaneous vegetation cover in Leithaberg and Palatinate showed the highest predatory mite populations compared to seeded cover crops. Furthermore, a higher proportion of vineyards in the landscape increased the predatory mite populations in vineyards in Bordeaux, Leithaberg and Târnave. Summarized, the biological control of phytophagous mites on vines is promoted through a reduced use of fungicides and spontaneous vegetation cover in the vineyard inter-row. Moreover, the proportion of vineyards in the surrounding landscape seems to be another essential factor for predatory mite populations.

Danksagung

Unser Dank ergeht an alle WinzerInnen die uns ihre Weingärten zur Verfügung stellten sowie an alle Teammitglieder für ihre Unterstützung während dieser Studie.
Diese Studie wurde finanziert durch das Forschungsprojekt SECBIVIT, finanziert durch 2017-2018 Belmont Forum und BiodivERsA, unter BiodivScen ERA-Net COFUND Programm mit den Förderungsorganisationen: Agencia Estatal de Investigación, Spanien; FWF, Österreich (I-4025-B32); BMBF, Deutschland; VDI/VDE-IT, Deutschland; ANR, Frankreich; NWO, Niederlande; National Science Foundation (#1850943); UEFISCDI, Rumänien.

Literatur

BLEIHOLDER H, KLOSE R, MEIER U, WEBER E, 1994: Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinivera* L.ssp *vinifera*) - Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala. Vitic. Enol. Sci. 49, 66–70

BURGIO G, MARCHESINI E, REGGIANI N, MONTEPAONE G, SCHIATTI P, SOMMAGGIO D, 2016: Habitat management of organic vineyard in Northern Italy: the role of cover plants management on arthropod functional biodiversity. Bull. Entomol. Res. 106, 759–768.

BOLLER E, 1984: Eine einfache Ausschwemm-Methode zur schnellen Erfassung von Raubmilben, Thrips und anderen Kleinarthropoden im Weinbau. Schweiz. Zeitschrift Für Obst- Und Weinbau, 120, 16–17.

DUSO C, POZZEBON A, KREITER S, TIXIER M S, CANDOLFI M, 2012: Management of phytophagous mites in European vineyards. In: Bostanian N J, Vincent C, Isaacs R (eds), Arthropod Management in Vineyards: Pests, Approaches, and Future Directions, 1st ed. Springer, Netherlands, 191–217.

HILL K, SCHLAMP H A, 1984: Einsatz der Waschmethode zur Ermittlung des Raubmilbenbesatzes auf Rebblättern. Die Wein- Wissenschaft, 39(4), 255–262.LORENZ D H, EICHHORN K W,.

MÖTH S, WALZER A, REDL M, PETROVIĆ, B, HOFFMANN C, WINTER S, 2021: Unexpected Effects of Local Management and Landscape Composition on Predatory Mites and Their Food Resources in Vineyards. Insects, 12(2), 180.

MÖTH S, RICHART-CERVERA S, COMSA M, HERRERA R A, HOFFMANN C, KOLB S, POPESCU D, REIFF J M, RUSCH A, TOLLE P, WALZER A, WINTER S (2023): Local management and landscape composition affect predatory mites in European wine-growing regions. Agriculture, Ecosystems & Environment, 344, 108292.

PENNINGTON T, KRAUS C, ALAKINA E, ENTLING M H, HOFFMANN C, 2017: Minimal pruning and reduced plant protection promote predatory mites in Grapevine. Insects, 8(3), 86.

R CORE TEAM, 2021: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.r-project.org/.

REIFF J M, EHRINGER M, HOFFMANN C, ENTLING M H, 2021: Fungicide reduction favors the control of phytophagous mites under both organic and conventional viticulture. Agric. Ecosyst. Environ. 305, 107172.

RUSCH A, DELBAC L, THIÉRY D, 2017: Grape moth density in Bordeaux vineyards depends on local habitat management despite effects of landscape heterogeneity on their biological control. J. Appl. Ecol. 54, 1794–1803.

SÁENZ-ROMO M G, MARTÍNEZ-GARCÍA H, VEAS-BERNAL A, CARVAJAL-MONTOYA L D, MARTÍNEZ-VILLAR E, IBÁÑEZ-PASCUAL S, MARCO-MANCEBÓN V S, PÉREZ-MORENO I, 2019: Effect of ground-cover management on predatory mites (Acari: Phytoseiidae) in a Mediterranean vineyard. Vitis - Journal of Grapevine Research, 58, 25–32.

TIXIER M S, KREITER S, AUGER P, WEBER M, 1998: Colonization of Languedoc vineyards by phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae): Influence of wind and crop environment. Experimental and Applied Acarology, 22(9), 523–542.

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, Österreich

[2] INRAE, ISVV, Bordeaux Sciences Agro, UMR SAVE, F-33883 Villenave d'Ornon, Frankreich

[3] Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz im Obst und Weinbau, Geilweilerhof, D-76833 Siebeldingen

[4] Department für Umweltschutz, Estaci´on Experimental del Zaidín (EEZ-CSIC), C/ Profesor Albareda 1, 18008 Granada, Spanien

[5] Universität für Agrarwissenschaften und Veterinärmedizin, Cluj-Napoca, Calea Manastur, 3-5, 400372 Cluj-Napoca, Rumänien

[*] Ansprechpartner: DI Stefan MÖTH, stefan.moeth@boku.ac.at

Auswirkungen von Hitzewellen auf das Populationswachstum von Raub- und Spinnmilben

The impact of heat waves on the population growth of predatory and spider mites

Thomas Tscholl*, Andreas Walzer

Einleitung

Das Populationswachstum von Schädlingen, aber auch das ihrer natürlichen Gegenspieler, kann von vielen Faktoren beeinflusst werden. Hitzewellen, die als Folge des Klimawandels häufiger und intensiver werden (MEEHL und TEBALDI 2004) sind ein solcher Faktor. Während solcher Hitzewellen können die oberen thermalen Limits von Individuen überschritten werden und dadurch viele Eigenschaften wie deren Entwicklung, Reproduktion, Überlebensraten, Verhalten, etc. beeinflusst werden. In Labor-Experimenten mit einzelnen Arten wurden zwar die Auswirkungen hoher Temperaturen auf verschiedene Eigenschaften untersucht, aber wie sich Hitzewellen auf die Interaktionen zwischen Schädlingen und Nützlingen und deren Populationsdynamik auswirken können, ist noch weitestgehend unklar. In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen von Hitzewellen auf das Populationswachstum eines Schädlings, der Spinnmilbe *Tetranychus urticae*, und seines prominenten Gegenspielers, der Raubmilbe *Phytoseiulus persimilis*, untersucht. In Labor-Versuchen auf Individual-Ebene erwies sich der Räuber in Bezug auf Entwicklung und Fertilität hitze-sensibler als seine Beute (TSCHOLL et al. 2022, 2023a, b). Dies bestätigt die Annahmen der „trophic sensitivity" Hypothese: Arten auf einer höheren trophischen Stufe (z. B.: Räuber) sind empfindlicher gegenüber Umweltstress als Arten auf einer niedrigeren trophischen Stufe (CHENG et al. 2016). Es galt daher abzuklären, ob die höhere Sensitivität der Raubmilbe gegenüber Hitzewellen auch auf Populationsebene erkennbar ist und somit die biologische Spinnmilbenkontrolle gefährdet.

Material und Methoden

Die Spinn- und Raubmilben wurden auf Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris)* in einer begehbaren Klimakammer unterschiedlich intensiven Hitzewellen ausgesetzt (extreme Hitzewellen mit T_{max} = 38°C und milde Hitzewellen mit T_{max} = 32°C). Dabei wurden Pflanzenparameter (Blattfläche, Bohnengewicht) und Populationsparameter beider Milbenarten (Anzahl aller Entwicklungsstadien), sowie der verursachte Blattschaden über 14 Tage ausgewertet. Um diese Parameter zu untersuchen, wurden drei Gruppen je Hitzewelle gebildet: (1) Buschbohne ohne Schädling, (2) mit Schädling sowie (3) mit Schädling und Nützling. Zusätzlich wurden Blätter im oberen und unteren Bereich der Pflanzen alle 48 Stunden ausgewertet, um auch mögliche Verteilungsunterschiede der Milben auf der Pflanze zu erkennen.

Ergebnisse und Diskussion

Vorläufige Ergebnisse zeigten, dass unabhängig von den Milbenpopulationen extreme Hitzewellen zu einer Verringerung der Blattfläche und des Gewichts der Bohnen führten. Da die Pflanzen ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgt wurden, ist Hitzestress wahrscheinlich für die Reduktion der Biomasse verantwortlich (VARGAS et al. 2021). Die Anwesenheit von Spinnmilben verstärkte diesen negativen Effekt, während der Einsatz der Raubmilben keinen Einfluss auf diese Pflanzenparameter hatte. Trotz des geringeren Nahrungsangebotes führten extreme Hitzewellen auch zu einem stärkeren Populationswachstum von Spinnmilben (Abbildung 1A), die auch Blätter im oberen Pflanzenbereich bevorzugten (20,44 Milben/cm² versus 12,03). Die durchschnittlichen Populationsdichten der Raubmilben waren zwar bei extremen Hitzewellen geringer, diese Unterschiede waren aber nicht signifikant (Abbildung 1B). Die Raubmilben konnten nur unter milden Hitzewellen die Spinnmilben reduzieren (Abbildung 1A), was wahrscheinlich auf drei sich gegenseitig nicht ausschließende Ursachen zurückzuführen

ist. Erstens ändert sich das Räuber-Beute Größenverhältnis zugunsten der Beute unter extremen Hitzewellen (TSCHOLL et al. 2022), was das Erbeuten der Spinnmilben erschweren kann. Zweitens ist unter extremen Hitzewellen die Fertilität der Folge-Generation (F1) bei den Spinnmilben höher als bei milden Hitzewellen, während die Fertilität der F1-Generation bei den Raubmilben sich nicht änderte (TSCHOLL et al. 2023a). Drittens scheinen die Raubmilben hitze-exponierte Nahrungsplätze zu vermeiden (TSCHOLL et al. 2023a, b). In einem Pflanzenbestand sind dies Blätter im oberen Bereich, wo sich aber auch die meisten Spinnmilben aufhalten. Ein Ausweichen auf den unteren, kühleren Pflanzenbereich würde zwar den Hitzestress reduzieren, aber auch weniger Nahrung für die Raubmilben bedeuten. Theoretisch könnten die Raubmilben aber bei kühleren Temperaturen (Abend, Nacht) wieder in die oberen Pflanzenbereiche einwandern, was dann auch eine ausreichende Spinnmilben-Kontrolle bei Hitzewellen gewährleisten könnte. Hingegen könnte ein permanenter Aufenthalt der Raubmilben im unteren Pflanzenbereich zu einer ineffizienten Spinnmilben-Kontrolle führen, da die Spinnmilben im oberen Bereich keinen Räuberdruck ausgesetzt sind. Aufgrund unserer Ergebnisse ist aber eher vom zweiten Szenario auszugehen, was auch die Annahmen der „trophic sensitivity" Hypothese bestätigt (CHENG et al. 2016).

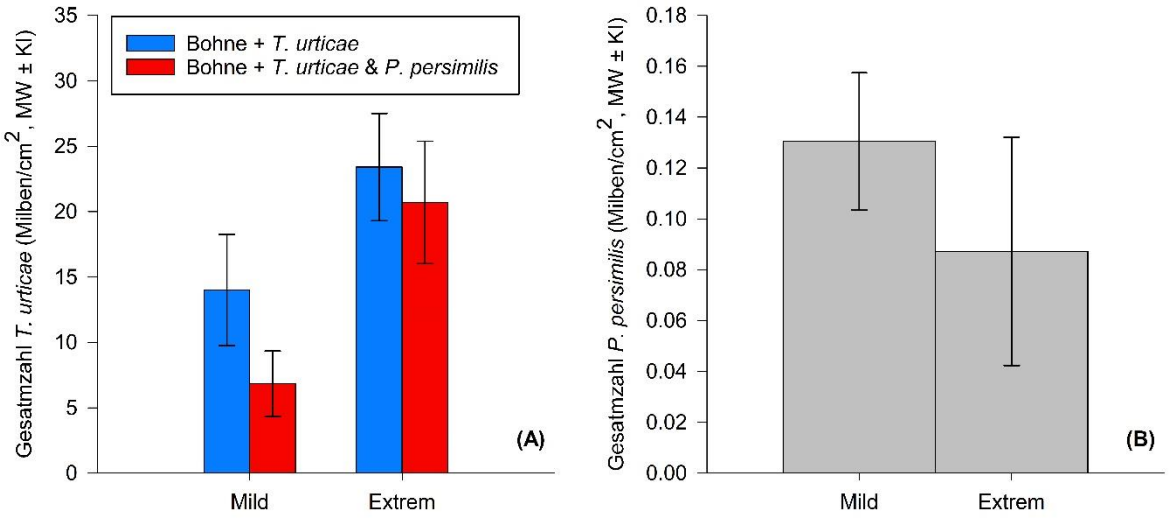


Abbildung 1: **Auswirkungen von System und Hitzewellen auf die Gesamtanzahl von Spinn- und Raubmilben [Mittelwerte (MW) ± Konfidenz-Intervall (KI)].**

Somit zeigten die ersten Ergebnisse dieses Klimakammer-Versuches, dass extreme Hitzewellen zu Nachteilen für den Nützling und somit auch für die biologische Kontrolle von Spinnmilben führen könnten. Es sind aber weiterführende Versuche in Glashäusern und Freiland notwendig, um diese Ergebnisse unter praxisnahen Bedingungen zu verifizieren.

Zusammenfassung

Hitzewellen werden im Zuge des Klimawandels häufiger und intensiver. Ihre hohen Temperaturen können sich dabei auf Kulturpflanzen selbst, auf ihre Schädlinge und auf Nützlinge auswirken. Wenn eine dieser Ebenen stärker beeinflusst ist als andere, kann dies Auswirkungen auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte haben. Hier haben wir die Auswirkungen von extremen (T_{max} = 38°C) und milden Hitzewellen (T_{max} = 32°C) auf ein System bestehend aus Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris)*, Spinnmilben (*Tetranychus urticae*) und Raubmilben (*Phytoseiulus persimilis*) untersucht. Dabei wurden Populationsparameter der Milben sowie Pflanzenparameter erhoben. Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass extreme Hitzewellen zu einer Verringerung der Blattfläche und des Bohnengewichts führten. Weiters führten extreme Hitzewellen zu einem erhöhten Populationswachstum von Spinnmilben und damit auch zu erhöhtem Blattschaden und verringertem Bohnengewicht. Zeitgleich kam es während extremer Hitzewel-

len zu keinem erhöhtem Populationswachstum von Raubmilben und somit keiner Reduktion von Spinnmilben und deren Blattschaden im System. Insgesamt zeigten sich also einige Nachteile für den Nützling und somit auch für den Bekämpfungserfolg von Spinnmilben in diesem System währen extremer Hitzewellen.

Abstract

Heat waves are becoming more frequent and more intense as a result of climate change. Their high temperatures can affect crops themselves, their pests and beneficials. If one of these levels is more affected than others, it can have an impact on crop yield and quality. Here, we studied the effects of extreme (T_{max} = 38°C) and mild heat waves (T_{max} = 32°C) on a system consisting of bush beans (*Phaseolus vulgaris)*, spider mites (*Tetranychus urticae*), and predatory mites (*Phytoseiulus persimilis*). Population parameters of the mites as well as plant parameters were evaluated. Initial results showed that extreme heat waves led to a reduction in total leaf area and bean weight. Furthermore, extreme heat waves led to increased population growth of spider mites and thus increased leaf damage and reduced bean weight. At the same time, there was no increased population growth of predatory mites during extreme heat waves and thus no reduction of spider mites and their leaf damage in the system. Overall, there were some disadvantages for the beneficial mite and thus also for the control success of spider mites in this system during extreme heat waves.

Literatur

CHENG B S, KOMOROSKE L M, GROSHOLZ E D 2016: Trophic sensitivity of invasive predator and native prey interactions: integrating environmental context and climate change. Funct Ecol, 31**,** 642-652.

MEEHL G A, TEBALDI C 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. Science 305, 5686, 994-997.

TSCHOLL T, NACHMAN G, SPANGL B, WALZER A 2022: Heat waves affect prey and predators differently via developmental plasticity: who may benefit most from global warming? Pest Manag Sci 78, 4, 1099-1108.

TSCHOLL T, NACHMAN G, SPANGL B, SCALMANI I, WALZER A 2023a: Standing the heat: Parental modifications improve offspring reproductive investment in prey, but not its predator. Eingereicht bei Ecology and Evolution.

TSCHOLL T, NACHMAN G, SPANGL B, SERVE HC, WALZER A 2023b: Reproducing during heat waves: influence of juvenile and adult environment on fecundity of a pest mite and its predator. Biology, 12, 4, 554.

VARGAS Y, MAYOR-DURAN V M, BUENDIA H F, RUIZ-GUZMAN H, RAATZ B 2021: Physiological and genetic characterization of heat stress effects in a common bean RIL population. PLoS ONE 16: e0249859.

Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des FWF-Projektes „Auswirkungen von Hitzewellen auf eine Räuber-Beute Beziehung“ (P32474) durchgeführt.

Adresse der Autoren

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien,

*Ansprechpartner: DI Thomas TSCHOLL, thomas.tscholl@boku.ac.at

Von Pilzen und Drahtwürmern – vorläufige Ergebnisse aus dem Projekt Drahtwurm-Control

Of fungi and wireworms – preliminary results of the project "Drahtwurm-Control"

Stephan Manhalter*, Anna Moyses, Julia Kauschitz,
Matthias Wernicke, Katharina Wechselberger

Einleitung

Drahtwürmer bezeichnet umgangssprachlich die Larven von Schnellkäfern (Elateridae). Sie sind als Schädlinge in der Landwirtschaft bekannt und richten besonders beim Anbau von Kartoffeln und Mais beträchtliche Schäden an. Während sie bei Kartoffeln die zu erntenden Knollen beschädigen, sind beispielsweise bei Mais, Ölkürbis und Zuckerrüben die Keimlinge vom Fraß betroffen. Es gibt mehrere Gattungen, die Schäden verursachen, aber *Agriotes* ist die wirtschaftlich wichtigste in Österreich.
Im Hinblick auf die zu erwartende weitere Reduktion der verfügbaren Wirkstoffe zur Bekämpfung der Drahtwürmer, wurde das Projekt Drahtwurm-Control geplant, um verschiedene Bekämpfungsmaßnahmen zu testen, bzw. zu verbessern. Eine biologische Bekämpfungsmethode ist der Einsatz von *Metarhizium brunneum*, einem entomopathogenen Pilz, der die Schnellkäfer-Larven im Bestand reduzieren soll.

Material und Methoden

Topfversuch 1: Für diesen Versuch wurden drei Präparate (SoilTonic G, SoilTonic E, DIA 109I) in einfacher und zehnfacher Konzentration mit einer Positivkontrolle (Force Evo) in einfacher Konzentration und einer unbehandelten Negativkontrolle verglichen (Tabelle 1). Je Variante wurden sieben Töpfe mit Deckel mit 300 g behandelter Erde befüllt und mit je drei Drahtwürmern (vier Töpfe *A. obscurus*, drei Töpfe *A. ustulatus*) bestückt. Als Futter für die Drahtwürmer dienten zwei halbierte Karottenstücke. Die Deckel wurden anschließend mit Parafilm verschlossen. Der Versuch lief vom 30. Juli bis 23. August 2021. Die Drahtwürmer wurden bei der Auswertung in lebendig und tot unterteilt, bzw. als fehlend erfasst.
Topfversuch 2: Um die Methode besser einschätzen zu können, wurde in diesem Versuch Force Evo in einfacher, zehnfacher und zwanzigfacher Konzentration verwendet. Die Aufwandmenge wurde in einer Variante jeweils punktuell zu ein paar Maiskeimlingen gestreut und in der anderen Variante wieder im gesamten Substrat verteilt (Tabelle 2). Auch bei diesem Versuch wurden je Variante sieben Töpfe mit 300 g behandelter Erde befüllt und mit je drei Drahtwürmern (je fünf Töpfe *A. obscurus*, zwei Töpfe *A. ustulatus*) bestückt. Der Versuch lief vom 7. September bis 4. Oktober 2021. Die Auswertung erfolgte wie beim ersten Versuch.
Topfversuch 3: Basierend auf den vorhergehenden Versuchen wurde die homogene Applikation in 300 g Substrat weiterverfolgt. Für diesen Versuch wurden insgesamt drei Präparate (SoilTonic G, Granhumix Gold, DIA 109I) in einfacher und zehnfacher Konzentration getestet. Die Positivkontrolle wurde diesmal auch in einfacher und zehnfacher Konzentration appliziert. Neben einer unbehandelten Kontrolle wurde zudem eine einfache Konzentration von Spintor GR getestet (Tabelle 3). Die Anzahl der Töpfe je Variante wurde auf zwölf erhöht, die Anzahl der Drahtwürmer (*A. obscurus*) je Topf blieb bei drei. Der Versuch wurde vom 31. März 2022 bis 5. Mai 2022 durchgeführt. Bei der Auswertung wurde die Methode von VERNON et al. (2008) herangezogen, wonach man die Vitalität von Drahtwürmern nach ihrer Bewegungsfähigkeit einschätzt. Zu diesem Zwecke wurden sie nach Entnahme aus den Töpfen in eine Filterpapierarena in eine Petrischale gelegt und ihre Position bzw. Bewegungsfähigkeit nach zwei Minuten bewertet. Die Bewertungsskala umfasst fünf Stadien von voller Vitalität (Bewegung aus dem Zentralkreis der Arena) bis visuell „tot".
Säulenversuch 1: Um eine eventuelle repellente Wirkungen von Präparaten zu testen, wurden Säulenversuche durchgeführt. Dazu wurden Säulen aus PVC-Rohrstücken mit insgesamt fünf Segmenten zu-

sammengebaut und in Glaspetrischalen gestellt. Die hier getesteten Präparate waren DIA 109I und „aerocult“ (MO+). Neben einer unbehandelten Negativkontrolle wurde wieder Force Evo als Positivkontrolle verwendet (Tabelle 4).
In den unteren drei Segmenten der Säulen war unbehandeltes Substrat und die oberen zwei Segmente wurden zu ca. 1,5 Segmenten Höhe mit behandeltem Substrat befüllt. Die Gesamtmenge an Substrat je Säule betrug ca. 1 kg, wovon ca. 200 g behandelt wurden. Je Ansatz wurden neun Säulen zusammengebaut und fünf Drahtwürmer (*A. obscurus*) in der Mitte des Dritten Segments eingesetzt. Zuletzt wurden vorgezogene Kleekeimlinge auf die Substratoberfläche gesetzt und der obere Rand der Säule mit Vaseline eingeschmiert, um ein Entkommen der Drahtwürmer zu verhindern. Das Experiment wurde vom 6. bis 13. September 2022 durchgeführt. Die Auswertung erfolgte Segment für Segment, um den Aufenthaltsort der Drahtwürmer zu dokumentieren. Beim Trennen von Segmenten halbierte Drahtwürmer zählten als halbe Drahtwürmer für beide Segmente.

Tabelle 1: **Topfversuch 1, Präparatmenge für die verschiedenen Ansätze, pro Topf**

Variante	**Aufwandmenge laut Hersteller**	**Aufwandmenge pro 300 g Erde**
Force Evo	16 kg / ha	48 mg
Soil Tonic G	200 g / 10 m^2	0,6 mg
SoilTonic G ×10		6 mg
SoilTonic E	5 l / ha	0,015 ml
SoilTonic E ×10		0,15 ml
DIA 109l	20 l / ha	0,06 ml
DIA 109l ×10		0,6 ml
Unbehandelt	0	0

Tabelle 2: **Topfversuch 2, Präparatmenge für die verschiedenen Ansätze, pro Topf**

Variante	**Aufwandmenge laut Hersteller**	**Aufwandmenge pro 300 g Erde**
Force Evo Punkt	16 kg / ha	48 mg
Force Evo Fläche		48 mg
Force Evo ×10 Punkt		480 mg
Force Evo ×10 Fläche		480 mg
Force Evo ×20 Punkt		960 mg
Force Evo ×20 Fläche		960 mg
Unbehandelt	0	0

Tabelle 3: **Topfversuch 3, Präparatmenge für die verschiedenen Ansätze, pro Topf**

Variante	**Aufwandmenge laut Hersteller**	**Aufwandmenge pro 300 g Erde**
Force Evo	16 kg / ha	48 mg
Force Evo ×10		480 mg
Soil Tonic G	200 g / 10 m^2	0,6 mg
SoilTonic G ×10		6 mg
Granhumix Gold	15 kg / ha	45 mg
Granhumix Gold ×10		450 mg
DIA 109l	20 l / ha	0,06 ml
DIA 109l ×10		0,6 ml
Spintor GR	12 kg / ha	36 mg

Unbehandelt	0	0

Tabelle 4: **Säulenversuch 1, Präparatmenge für die behandelten Segmente der verschiedenen Ansätze, je Säule**

Variante	**Aufwandmenge laut Hersteller**	**Aufwandmenge pro 300 g Erde**
Force Evo	16 kg / ha	48 mg
DIA 109l	20 l / ha	60 µl
Aerocult (MO+)	3 l / ha	9 µl
Unbehandelt	0	0

Wachstumsversuch *M. brunneum*: Um den Einfluss von Chitin bzw. Chitosan auf *M. brunneum* zu untersuchen, wurden PDA-Nährmedien mit unterschiedlichen Chitin- bzw. Chitosan-Konzentrationen (0,1%, 0,5%, 1%, 2%, 3% und 5%) und ein PDA-Nährmedium als Kontrolle hergestellt. Jeweils 10 Petrischalen wurden mit 5 µl einer Sporensuspension mittig beimpft und der Tropfen auf der Schalenunterseite markiert. Die Schalen wurden bei 25°C im Dunkeln inkubiert und das wachsende Myzel nach 2, 3, 7, 8, 9, 10, 14 und 21 Tagen vermessen.

Ergebnisse und Diskussion

Topfversuch 1: Beim ersten Experiment konnte nur eine geringe Anzahl an Drahtwürmern als tot dokumentiert werden. Bei DIA 109I in zehnfacher Konzentration wurden drei der 21 Drahtwürmer tot gefunden, sechs wurden gar nicht mehr gefunden, was einer Überlebensrate von knapp unter 60% entsprechen würde. Aufgrund der fehlenden Wirkung bei der Positivkontrolle (zwei fehlend, keine tot), wurde der Topfversuch 2 geplant, um die Methodik zu verbessern.
Topfversuch 2: Es gab einen eindeutigen Trend, dass die homogene Vermischung von Granulat im Substrat die bessere Wirkung erzielt. Bereits bei der einfachen Konzentration gab es signifikant weniger lebende Drahtwürmer, als bei der Kontrolle ($p < 0,05$). Des Weiteren waren in beide Varianten mit 20-facher Konzentration signifikant weniger lebende Drahtwürmer zu finden als in der Kontrolle ($p < 0,05$).
Topfversuch 3: Topfversuch 3 stellt eine adaptierte Wiederholung des ersten Versuches dar. Bei beiden Positivkontrollen (einfach und zehnfach Force Evo) war die Anzahl der nicht wieder auffindbaren Drahtwürmer recht hoch (13 bzw. 10 Stk von 36). In fast allen Varianten wurden Puppen festgestellt, außer bei Force Evo und Spintor GR. Bezüglich der erhobenen Vitalität unterscheidet sich keines der getesteten Präparate signifikant von der Kontrolle. Nur die zehnfache Konzentration von Force Evo zeigt einen höchst signifikanten Einfluss auf die Vitalität im Vergleich zu den restlichen Präparaten und zur Kontrolle (jeweils $p < 0,001$, Abbildung 1).
Säulenversuch 1: Beim Säulenversuch wurden insgesamt sechs tote Drahtwürmer gefunden, fünf davon bei der Force Evo Variante, einer bei DIA 109I. Sechs Drahtwürmer wurde nicht wiedergefunden. Davon je zwei in Force Evo und DIA 109I, sowie je einer in der „aerocult"-Variante und der unbehandelten Kontrolle. Beim Vergleich der durchschnittlichen Anzahl an Drahtwürmern je Segment
waren im dritten Segment der „aerocult"-Variante signifikant mehr Drahtwürmer als im gleichen Segment in der Kontrolle ($p < 0,05$, Abbildung 2). Der Unterschied in der Drahtwurmanzahl zwischen behandelten und unbehandelten Segmenten ist allerdings nur innerhalb der Varianten „aerocult" und DIA 109I signifikant, nicht zwischen den Varianten und der Kontrolle. Ein Effekt in den jeweiligen Varianten kann dadurch nicht ausschließlich bzw. eindeutig auf das Präparat zurückgeführt werden.
Wachstumsversuch *M. brunneum*: Der Zusatz von Chitin bzw. Chitosan hat keinen negativen Einfluss auf das Myzelwachstum. Nach 14 Tagen ist das Myzel der Varianten 0,5%, 1% und 2% Chitosan bzw. der Variante 5% Chitin signifikant größer als bei der Kontrolle. Nach 21 Tagen verschiebt sich das Ergebnis etwas und das Myzel der Varianten 1%, 2%, 3% und 5% Chitosan ist signifikant größer als bei der Kontrolle.

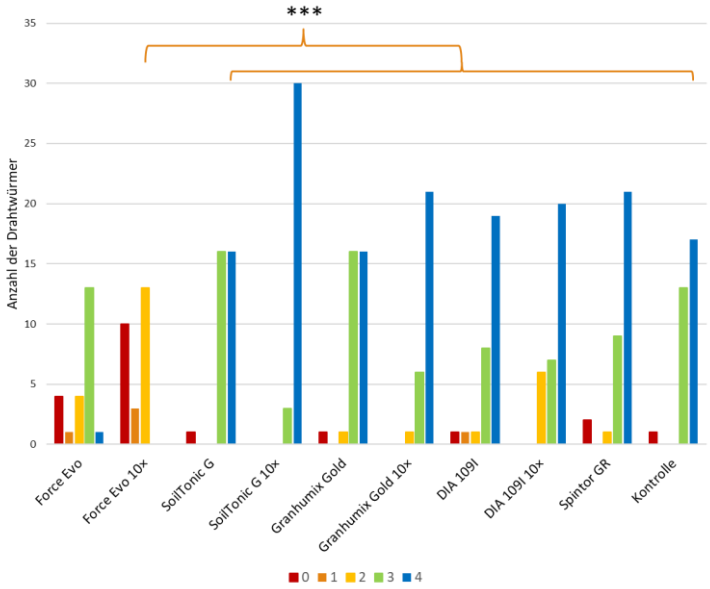


Abbildung 1: **Topfversuch 3, Diagramm zur erhobenen Vitalität der Drahtwürmer je Variante, 0: tot, 4: voll vital; n=36**

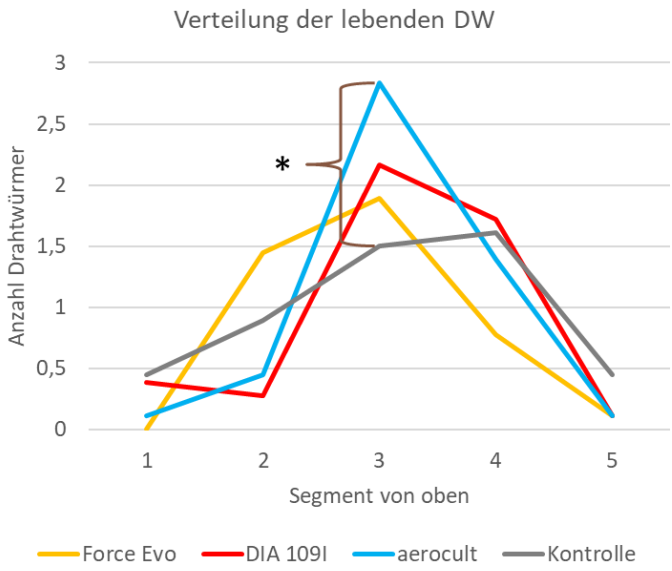


Abbildung 2: **Säulenversuch 1, Durchschnittliche Verteilung der lebenden Drahtwürmer in den Säulen, Segment 1 und 2 jeweils behandelt und obenauf, Segmente 3-5 unbehandelt. Kontrolle n=44, aerocult n=44, DIA 109I n=42, Force Evo n=38**

Zusammenfassung

In drei Topfversuchen und einem Säulenversuch wurden die Einflüsse verschiedener Präparate auf Drahtwürmer (*Agriotes obscurus*, *A. ustulatus*) untersucht und deren Überlebensrate bzw. Vitalität erhoben. Es wurden, zum Teil in mehreren Versuchen, SoilTonic G, SoilTonic E, DIA 109I, „aerocult“, Granhumix Gold und Spintor GR getestet und mit der unbehandelten Negativkontrolle bzw. Force Evo als Positivkontrolle verglichen.
Die Topfversuche zeigen, dass von den untersuchten Präparaten bei direkter Ausbringung ins Substrat nur Force Evo eine erhöhte Mortalität aufweist und dass dafür eine hohe Dosis bzw. lange Exposition notwendig sind. Die Untersuchung subletaler Effekte der Präparate auf die Drahtwürmer ermöglichte

eine bessere Einschätzung. Effekte, die sich durch Interaktion der Mittel mit Pflanzen ergeben können, konnten im Projekt bisher noch nicht untersucht werden.
Das Ergebnis des Säulenversuchs zeigt, dass keines der Präparate ausreichend repellente Wirkung aufweist, um mit der aktuell verwendeten Methode erfasst zu werden. Eine Verbesserung der qualitativen und/oder quantitativen Auswertung könnte bei der zukünftigen Untersuchung von Repellenzeffekten hilfreich sein.
Des Weiteren wurden Zusätze für die Zucht von *Metarhizium brunneum* untersucht. Die Beimengung von Chitosan bzw. Chitin zu einem PDA-Medium führte zu einem stärkeren Wachstum über längere Zeit. Besonders bei Chitosan war dieser Effekt signifikant. Dieser positive Effekt könnte zukünftig genutzt werden, um neue Trägermaterialien für die Zucht oder Ausbringung zu produzieren. Der Einfluss von Chitosan und Chitin auf Sporulation und Virulenz wird zur Zeit untersucht.

Abstract

The impact of different compounds on wireworms (*Agriotes obscurus, A. ustulatus*) was investigated in three pot and one stack experiment to gauge their survival rate and vitality. These compounds were partially used in multiple experiments: SoilTonic G, SoilTonic E, DIA 109I, "aerocult", Granhumix Gold and Spintor GR. They were compared to the untreated negative control and Force Evo as positive control. The pot experiments showed that of the compounds directly applied to the substrate only Force Evo showed increased mortality. Either a high dose, or exposure time are necessary to achieve this. The investigation of sub-lethal effects of the compounds on the wireworms enables a better evaluation. Effects facilitated through the interaction of the compounds with plants could not be investigated in this project yet.
The results of the pipe-stack experiment show that no compound has a strong enough repellent effect to be detected by our current method. An improvement of the qualitative and/or quantitative analysis could improve the detection of repellent effects in the future.
Furthermore, two additives were tested for growing *Metarhizium brunneum*. The addition of chitosan and chitin to PDA-media led to an increased growth rate of the mycelia over a longer timeframe. The effect was especially significant with chitosan. In the future, this positive effect could be harnessed to produce new carrier materials for both growing and application. The influence of chitosan and chitin on sporulation and virulence are currently being investigated.

Danksagung

Ich bedanke mich bei meinen Kolleg:innen Anna Moyses, Julia Kauschitz, Matthias Wernicke und bei der Projektleiterin Katharina Wechselberger für die großartige Zusammenarbeit und tatkräftige Unterstützung.
Vielen Dank auch an die Fördergeber, die dieses Projekt erst ermöglicht haben:
Finanziert wird das Projekt vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. DaFNE – Projektfördernummer 101587

Literatur

VERNON, R. S., VAN HERK, W., TOLMAN, J., ORTIZ SAAVVEDRA, H., CLODIUS, M. und GAGE, B. (2008): Transitional Sublethal and Lethal Effects of Insecticides After Dermal Exposures to Five Economic Species of Wireworms (Coleoptera: Elateridae). Journal of Economic Entomology, 101 (2): 365-374.

Adressen der Autoren

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Abteilung Nachhaltiger Ackerbau, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

* Ansprechpartner: Stephan MANHALTER, MSc., stephan.manhalter@ages.at

Die Bekämpfung der invasiven Marillenblattlaus (*Myzus mumecola*)

Control of the invasive apricot aphid (*Myzus mumecol*a)

Urban Spitaler*

Einleitung

Seit 2020 konnte in Südtirol ein ungewöhnlich starkes Auftreten von Blattläusen an Marillenbäumen (Aprikosenbäumen) beobachtet werden. Betroffen waren vor allem Hausgärten und Streuobstbäume, aber zum Teil auch Ertragsanlagen. Die Ursache war die Einschleppung der invasiven Marillenblattlaus (*Myzus mumecola*), die sich derzeit auch in anderen Ländern in Europa ausbreitet. Im Jahr 2016 wurde *M. mumceola* zum ersten Mal in der Region Emilia-Romagna in Italien nachgewiesen (PANINI et al. 2017). Seitdem hat sich *M. mumecola* auch in Ungarn (BORBÉLY et al. 2021), Serbien (PETROVIĆ-OBRADOVIĆ 2021), Deutschland (EPPO 2022) und vermutlich auch in anderen Teilen Europas angesiedelt. Ursprünglich stammte die Art aus Asien. In ihren Herkunftsländern befällt *M. mumecola* die Japanische Aprikose (*Prunus mume*). In Europa wurde sie bisher nur auf der Marille (*Prunus armeniaca*) nachgewiesen (PANINI et al. 2017).

Material und Methoden

Beschreibung und Biologie: Am Versuchszentrum Laimburg in Südtriol, Italien, wurde die Entwicklung und Biologie von *M. mumecola* in den Jahren 2021 und 2022 überwacht und die verschiedenen Entwicklungsstadien beobachtet und beschrieben.
Insektizid-Screening: Im Laborversuch wurden verschiedene Pflanzenschutzmittel getestet. Dabei wurden Blätter für 1 min in die Spritzbrühe (Konzentration laut Etikett) getaucht. Verwendete Pflanzenschutzmittel: Epik SL; Decis EVO, Pirimor 50, Mavrik 20 EW, Biopiren Plus. Nach dem Abtrocknen wurden 1,4 cm Blattscheiben aus den Blättern ausgestanzt und in 24 Multiwellplatten auf Agar gelegt. Die Röhrchen wurden mit Frischhaltefolie geschlossen. Kleine Löcher ermöglichten die Luftzirkulation. Auf jede Blattscheibe wurde jeweils eine adulte Blattlaus gesetzt (Abb. 1). Insgesamt wurden 24 Blattläuse pro Mittel getestet. Die Versuchstiere stammten aus einer Streuobstanlage am Standort Laimburg. Nach drei Tagen bei 20 °C und 65 % rF wurde der Versuch ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Biologie: *M. mumecola* hat einen holozyklischen und heterözischen Lebenszyklus. Im Spätherbst werden die schwarzen Wintereier an den Marillenbäumen, bevorzugt auf dem einjährigen Holz in der Nähe von Knospen abgelegt. Im Frühjahr, ab Februar, schlüpft die Fundatrix aus den Eiern und saugt zunächst an den Knospen. Die dunkelbraune Fundatrix ist rundlich und besitzt ein gewölbtes Abdomen. Die ersten Nachkommen wandern auf die grünen Knospenspitzen, während die Fundatrix am Knospenansatz verbleibt. Der Rücken der adulten ungeflügelten Nachkommen ist abgeflacht und am Körperrand nach oben gewölbt. Die Körperlänge beträgt 2-3 mm. Die Nachkommen sind blassgrün gefärbt und haben einen dunklen Streifen in der Körpermitte sowie sechs dunklere Streifen am Körperrand. Durch die Saugtätigkeit rollen sich die Blätter ein und bieten der Blattlauskolonie Schutz vor Fressfeinden und Umwelteinflüssen (Abb. 1). In den eingerollten Blättern befinden sich große Kolonien, und von dort werden neue Blätter und Triebe besiedelt. Von März bis Juni, je nach Höhenlage, kann ein Anstieg an Fressfeinden (Marienkäfern, Marienkäferlarven, Florfliegenlarven, Schwebefliegenlarven, Parasitoiden) beobachtet werden. Diese Räuber führen zu einer natürlichen Reduktion der Blattläuse. Haben fast alle Nymphen Flügelansätze, steht die Abwanderung kurz bevor. Die geflügelten Tiere sind grünschwarz gefärbt und können auf der Marille nicht überleben. Bereits ab April beginnt die Abwanderung zum Sommerwirt. Anderes Steinobst wird nicht befallen. In Laborversuchen konnten ungeflügelte Blattläuse, die auf Kirsch- oder Pfirsichblätter gesetzt wurden, nicht überleben.

Abbildung 1: **Bei einem Befall mit M. mumecola rollen sich die Blätter ein (links). Im Blattscheibenverscuh saugen die Blattläuse an der Blattunterseite (rechts).**

Schadbild: Der Schaden entsteht durch die Saugtätigkeit an den Blättern und frischen Trieben. Befallene Blätter zeigen Deformationen, welche bis zum Herbst sichtbar sind. Bei starkem Befall zeigen die Triebe ein vermindertes Wachstum. Besonders junge Bäume können durch einen Befall stark geschädigt werden. Bei sehr hoher Befallsdichte saugen die Blattläuse auch an den Trieben. Da die Blattläuse bereits vor der Fruchtreife abwandern, werden die reifen Früchte durch den Honigtau nicht verschmutzt.

Bekämpfung:

Die Bekämpfung der *M. mumecola* kann durch Winterbehandlungen und Behandlungen beim Austrieb, gegen die überwinternden Eier, erfolgen. Ansonsten empfiehlt sich die Bekämpfung direkt nach der Blüte. Da *M. mumecola* noch nicht flächendeckend beobachtet wurde, sollte eine gezielte Behandlung nur in stark befallenen Anlagen erfolgen. Ab Juni nimmt die Anzahl an Blattläusen durch Abwanderung und natürliche Gegenspieler ab. Daher ist eine Bekämpfung nicht mehr angebracht. Alle getesteten Pflanzenschutzmittel erwiesen sich als wirksam (Abb. 2). Weitere Untersuchungen sollten den tatsächlichen Wirkungsgrad im Freiland prüfen.

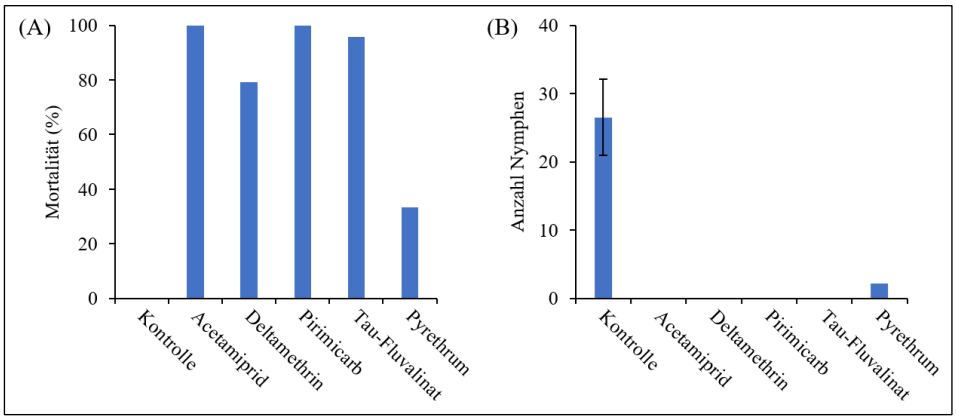


Abbildung 2: **Ergebnisse des Laborversuchs nach dreitägiger Exposition mit der Felddosis verschiedener Insektizide (n = 24). (A) Mortalität von adulten ungeflügelten *M. mumecola*. (B) Anzahl Nachkommen pro Blattlaus (±SD).**

Zusammenfassung

Die invasive Art *Myzus mumecola* hat einen holozyklischen und heterözischen Lebenszyklus: Die Art kommt auf der Marille/Aprikose vor. Die Sommerwirtspflanze konnte nicht identifiziert werden. *M. mumecola* kann von Oktober bis Juni an Marillenbäume gefunden werden. Besonders im Streuobstanbau und extensivem Anbau werden die Bäume durch den Blattlausbefall stark geschädigt. Die getesteten Pflanzenschutzmittel zeigen eine gute Wirkung, die aber im Freiland detailliert geprüft werden muss.

Abstract

The invasive species *Myzus mumecola* has a holocyclic and heteroecious life cycle and is present on apricot. The summer host plant could not be identified. *M. mumecola* can be found on the apricot trees from October to June. Especially scattered trees and extensive cultivated orchards are severely damaged by this aphid. The tested pesticides showed a good effect, but this has to be tested in detail in the field.

Literatur

BORBÉLY C, GYÖRGY Z, SZATHMÁRY M, MARKÓ V (2021): Apricot aphid, *Myzus mumecola* (Matsumura), a new and important pest of apricot in Hungary. J Plant Dis Prot 128:781–787.
EPPO (2022): First report *Myzus mumecola* in Germany, Hungary, and Serbia. EPPO Reporting Service no. 03 – 2022/057.
PANINI M, MASSIMINO COCUZZA G, DRADI D, CHIESA O, MAZZONI E (2017): First report of *Myzus mumecola* (Matsumura, 1917) in Europe. EPPO Bull 47:107–110.
PETROVIĆ-OBRADOVIĆ (2021): Asian apricot aphid, Myzus mumecola (Matsumura, 1917) (Hemiptera: Aphididae), found in Serbia. Acta Entomologica Serbica:19–26.

Adresse des Autors

Versuchszentum Laimburg, Institut für Pflanzengesundheit, Laimburg 6, I-39051 Pfatten

* Ansprechpartner: Dr. Urban SPITALER, urban.spitaler@laimburg.it

Die Grüne Reiswanze - Monitoring und Warndienst 2023

Nezara viridula - Monitoring and Early Warning System 2023

Anna Moyses*

Zusammenfassung

In den vergangen Jahren haben sich in Österreich die Meldungen zum Auftreten der Grünen Reiswanze *Nezara viridula* gehäuft. Diese exotische Wanzenart verfügt über ein sehr breites Wirtspflanzenspektrum. Neben Gemüse (u.a. Tomaten und Melanzani) bevorzugt sie Leguminosen, wie die Sojabohne, aber auch an zahlreichen anderen Nutzpflanzen aus allen Kulturbereiche kann sie Schäden verursachen. Ein Befall durch die Grüne Reiswanze kann sowohl qualitative als auch quantitative Ertragseinbußen zur Folge haben, weshalb das Wissen über ihre Verbreitung und ihr Auftreten essentiell ist, um größere Schäden abwenden zu können. Aus diesem Grund wurde 2023 ein österreichweites Monitoring gestartet. Auf der Warndienst-Hompage der Landwirtschaftskammer (www.warndienst.lko.at) können über die Online-Plattform die gesamte Saison Reiswanzen-Funde eingemeldet werden. Dabei soll insbesondere die Befallssituation in Sojabohne und anderen Leguminosen näher beleuchtet werden. Zusätzlich informieren aktuelle Warnmeldungen Landwirt:innen im Laufe der Saison über die Phänologie der Grünen Reiswanze.

Abstract

In recent years, reports of the occurrence of the southern green stink bug *Nezara viridula* have increased in Austria. This exotic bug species feeds on a wide variety of plant species. Besides vegetables (e.g. tomatoes and melanzani), it prefers legumes such as soybeans, but it can also damage numerous other arable and horticultural crops. Infestation by the southern green stink bug can result in both qualitative and quantitative yield losses. The knowledge about the distribution and seasonal occurrence is very important in order to be able to prevent greater damage. For this reason, a monitoring programme has been established throughout Austria in the beginning of 2023. The online platform on www.warndienst.lko.at can be used to report bug findings throughout the season. In particular, the infestation situation in soybeans and other legumes will be investigated more closely. In addition, current warning messages inform farmers about the phenology of the southern green stink bug.

Adressen der Autoren

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

* Ansprechpartner: DI Anna MOYSES, anna.moyses@ages.at

Gekommen, um zu bleiben: Entwicklungspotenzial der invasiven Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* in Österreich

Came to stay - Development potential of the invasive oak lace bug Corythucha arcuata in Austria

Selina Stattler*, Christa Schafellner

Einleitung

Die aus Nordamerika stammende Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* (Heteroptera, Tingidae), breitet sich seit ihrer Einschleppung nach Italien im Jahr 2000 rasant in Süd-, Südost- und Zentraleuropa aus. Die rasche Verbreitung der Netzwanze erfolgt einerseits durch aktiven Flug, unterstützt durch Windströmungen, und andererseits durch passiven Transport mit Verkehrsmitteln, vor allem entlang stark befahrener Autostraßen und Bahnstrecken (HOCH et al. 2022).
Im Jahr 2019 wurde das Insekt zum ersten Mal in Österreich entdeckt (SALLMANNSHOFER et al. 2021), mittlerweile hat es sich in den Eichenwäldern der Steiermark, im Burgenland sowie in Niederösterreich und Wien ausgebreitet.
Die Tiere sind polyphag, bevorzugen aber alle heimischen Eichenarten (*Quercus* spp.). Nymphen und adulte Wanzen saugen an der Blattunterseite die Mesophyllzellen aus, wodurch es zur Verblassung der Blätter und zum frühzeitigen Verlust der Assimilationsorgane kommt (HOCH et al. 2022). Die adulten Wanzen überwintern in Rindenritzen am Stamm oder anderen geschützten Bereichen, wie in der Bodenstreu oder im Moos (HOCH 2021). Das wärmeliebende Insekt ist multivoltin, in Abhängigkeit von der Witterung entwickeln sich mehrere Generationen pro Jahr.
In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung und die Populationsdynamik von *C. arcuata* untersucht, um die Anzahl an Generationen pro Jahr und das potenzielle Populationswachstum für einzelne Befallsregionen in Österreich zu modellieren.

Material und Methoden

Insekten: Ende Juni 2022 wurden Eichenblätter mit Nymphen von *C. arcuata* in Parkanlagen (48.190638, 16.328701) bzw. von Straßenbäumen (48.181344, 16.299694; 48.173606, 16.282637) in Wien gesammelt, wo die Eichennetzwanze bereits im Jahr 2021 nachgewiesen worden war (HOCH et al. 2022). Die Nymphen wurden auf die Unterseite von Eichenblättern (*Quercus robur, Quercus petraea, Quercus cerris*) in Petrischalen mit befeuchtetem Filterpapier gesetzt und unter Freilandbedingungen (natürliche Temperatur- und Lichtverhältnisse) bis zum Adultstadium gezüchtet. Frisch gehäutete Adulttiere wurden abgesammelt und nach Geschlechtern getrennt. Das Abdomen der Weibchen hat eine rundliche Form, das Abdomen der Männchen ist am Ende knopfartig zusammengeschnürt. Für die Paarung wurde jeweils ein Weibchen mit zwei Männchen für drei Tage auf ein Eichenblatt gesetzt. Der Beginn und die Dauer der Eiablage, sowie die Anzahl der abgelegten Eier und die Lebensdauer der Weibchen wurden protokolliert.
Entwicklungsversuche im Labor: Frisch aus dem Ei geschlüpfte Nymphen wurden in Gruppen von zehn Individuen mit einem feinen Pinsel auf die Unterseite eines Eichenblattes gesetzt und in Petrischalen mit feuchtem Filterpapier im Klimaschrank (Memmert ICP500/ICP110) bei konstanten Temperaturen (15, 18, 23, 28, 33 und 36°C) unter Langtagbedingungen (16 Stunden Licht, 8 Stunden Dunkelheit) gezüchtet. Jeden zweiten Tag wurde das Filterpapier angefeuchtet und bei Bedarf das Eichenblatt gewechselt. Die Nymphen wurden unter dem Binokular auf Vitalität bzw. Mortalität kontrolliert. Das Häutungsdatum der Adulttiere wurde notiert, um die Dauer der Nymphenentwicklung berechnen zu können.
Datenauswertung: Die Daten wurden mit Excel (Version 2021) sowie dem Statistikprogramm R (Paket „devRate“ REBAUDO et al. 2018) ausgewertet. Berechnet wurden die Präovipositionsdauer (Paarung bis Eiablage), die Embryonalentwicklung (Eiablage bis Nymphenschlupf) und die Nymphenentwicklung (Schlupf aus dem Ei bis Adulthäutung). Anschließend wurden die Entwicklungsrate (Reziprok der Entwicklungsdauer), der untere Entwicklungsnullpunkt (ENP) nach dem Modell von LACTIN et al. (1995) und die Thermalkonstanten (Gradtage, GT) der Präovipositionsperiode, der Embryonal- und der Nymphenentwicklung ermittelt. Mithilfe des ENP, der GT und Temperaturdaten (Tagesmittelwerte) aus

drei Befallsregionen in Ostösterreich (Mattersburg, Fürstenfeld, Poysdorf) wurde die potenzielle Anzahl an Generationen für die Jahre 2019 (warm), 2021 (kühl) und 2022 (warm) modelliert. Um den Effekt der Klimaänderung deutlich zu machen, wurde auch eine hypothetische Generationsentwicklung für das Jahr 1970 erstellt.

Ergebnisse und Diskussion

Eiablage und Lebensspanne der adulten Weibchen: Es wurden 27 Weibchen erfolgreich verpaart. Aufgrund von Schimmelbildung auf den Blättern während der Eiablage wurden die Eigelege von drei Weibchen aus der Auswertung ausgeschlossen.
Durchschnittlich 11 Tage nach der Begattung begannen die Weibchen Eier in Gruppen auf der Blattunterseite abzulegen. Die Eiablageperiode dauerte etwa 4 bis 5 Wochen an. In diesem Zeitraum produzierten die Weibchen zwischen 100 bis 150 Eier. Die Eiablage fand nicht jeden Tag statt, nach einer Phase, in der viele Eier gelegt wurden, folgte eine Pause von 1 bis 2 Tagen (Regeneration?), in der die Weibchen keine oder nur vereinzelt Eier ablegten. Die Lebensdauer der Weibchen betrug etwa 7 bis 8 Wochen (Tab. 1).

Tabelle 3: Dauer der Präoviposition und Oviposition, Anzahl Eier/Weibchen, Eier/Weibchen/Tag und Lebensdauer der Weibchen. Die Werte sind als Mittelwerte und Standardabweichung (MW±SD) sowie Minimum und Maximum (Min-Max) angegeben.

	MW ± SD	**Min - Max**
Präoviposition [Tage]	11 ± 4	5 - 23
Oviposition [Tage]	34 ± 15	8 - 59
Eier/Weibchen	112 ± 56	12 - 230
Eier/Weibchen/Tag	3 ± 1	1 - 7
Lebensdauer Weibchen [Tage]	53 ± 13	29 - 76

Entwicklung der Nymphen: Die Tiere durchliefen vom Schlupf aus dem Ei bis zur Adulthäutung fünf Nymphenstadien. Die Dauer der Entwicklung verkürzte sich mit steigender Temperatur (Tab. 2). Individuen bei 15±0,5°C benötigten knapp 60 Tage für ihre Entwicklung, bei 18±0,5°C dauerte die Entwicklung durchschnittlich 32 Tage. Die Mortalität verringerte sich von 81 % (15°C) auf 21 % (18°C). Bei 23±0,5°C benötigten die Nymphen nur mehr 17 Tage, bei 28±0,5°C 11 Tage und bei 33±0,5°C lediglich 9 Tage bis zur Imaginalhäutung. Die Mortalität war bei 23°C mit 4 % am niedrigsten, danach stieg sie bei höheren Temperaturen wieder etwas an, blieb aber unter 20 %. Bei 36±0,5°C betrug die Mortalität 100 % (Tab. 2). Bei dieser Temperatur konnten zwar Häutungsreste im Klimaschrank gefunden werden, aber nach maximal sechs Tagen waren alle Nymphen tot, es war keine vollständige Entwicklung der Tiere möglich.

Tabelle 4: Entwicklungsdauer (Tage, Mittelwert ± Standardabweichung) und Mortalität [%] der Nymphen bei konstanter Temperatur

Temperatur [°C]	**Entwicklungsdauer [Tage] (MW ± SD)**	**Mortalität [%]**	**Anzahl Tiere n**
15	58 ± 5	81	10
18	32 ± 3	21	77
23	17 ± 1	4	96
28	11 ± 2	10	90
33	9 ± 1	16	37
36	keine vollständige Entwicklung	100	40

Entwicklungsnullpunkt und Generationsentwicklung: Der errechnete untere Entwicklungsnullpunkt beträgt 12,4°C, die Temperatur für die schnellstmögliche Entwicklung der Nymphen 32,8°C (Abb. 1). Diese Werte sind im Vergleich zu heimischen Insektenarten relativ hoch, was den Schluss zulässt, dass

die Ausbreitung von *C. arcuata* durch die Klimaerwärmung begünstigt wird. Die errechnete letale Temperatur liegt bei 36,4°C, ein Wert, der exakt der Temperatur im wärmsten Klimaschrank entsprach. Im Freiland, wo natürlicherweise Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht auftreten und die Tiere nur einige Stunden pro Tag so hohen Temperaturen ausgesetzt sind, könnten sie solche Temperaturextreme möglicherweise überleben.

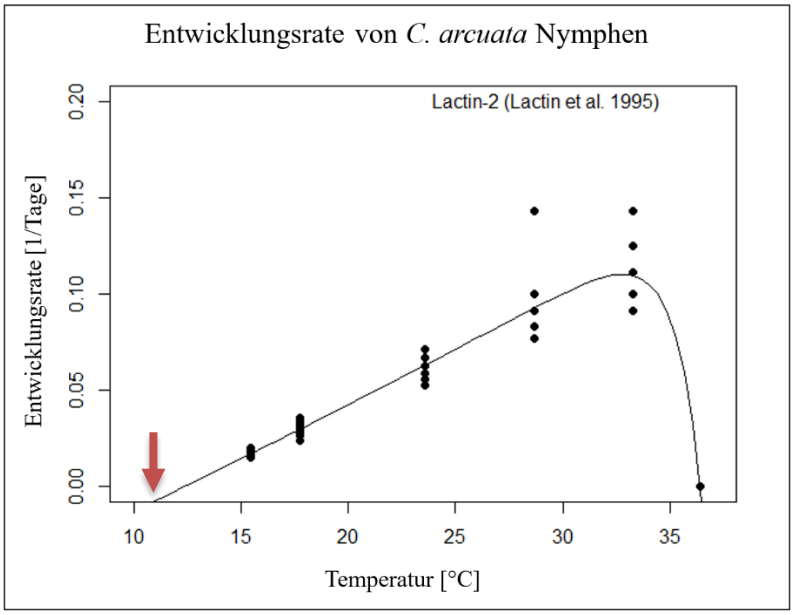


Abbildung 18: Entwicklungsrate [1/Tage] von C. arcuata Nymphen bei unterschiedlichen Temperaturen [°C], Modellierung nach LACTIN et al. 1995

Die Versuchstiere benötigten durchschnittlich 363 Gradtage für die Entwicklung vom Ei bis zur Adulthäutung. Wird die Präovipositionsdauer in die Berechnungen miteinbezogen, dann beträgt die Wärmesumme 471 Gradtage. In wärmeren Jahren, wie 2019 oder 2022, konnten sich im Osten Österreichs zwei volle Generationen der Eichennetzwanze entwickeln, wobei die Eiablage einer dritten Generation möglich gewesen wäre. In etwas kühleren Jahren, wie 2021, konnten sich ebenfalls zwei Generationen entwickeln, aber es wäre zu keiner weiteren Eiablage gekommen. Im Vergleich dazu wäre 1970 nur eine einzige Generation inklusive der Eiablage einer zweiten Generation möglich gewesen. Eine Überwinterung der Tiere ist bisher nur von adulten Wanzen beschrieben; ob auch juvenile Stadien oder Eier erfolgreich überwintern können, müsste erst untersucht werden.

Zusammenfassung

Die aus Nordamerika stammende Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* wurde 2019 erstmals in Österreich entdeckt; seither findet man sie an Bäumen entlang stark befahrener Verkehrsrouten und in Eichenwäldern Ostösterreichs (Steiermark, Burgenland, Niederösterreich, Wien). Nymphen und adulte Wanzen saugen an der Blattunterseite aller heimischen Eichenarten (*Quercus* spp.), wodurch es zur Verblassung der Blätter und damit zu einer starken Beeinträchtigung der Photosynthese kommt. Das Insekt ist multivoltin, in Abhängigkeit von der Witterung können sich mehrere Generationen pro Jahr entwickeln. Um den Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung und Populationsdynamik zu untersuchen, wurden im Juni 2022 Nymphen von *C. arcuata* aus dem Freiland gesammelt und bis zur Adulthäutung gezüchtet. Frisch gehäutete Adulttiere wurden verpaart. Die Weibchen begannen circa 11 Tage nach der Paarung mit der Eiablage. Während ihrer Lebenszeit von durchschnittlich 7 bis 8 Wochen legten sie zwischen 100 und 150 Eier. Die frisch geschlüpften Nymphen wurden in Klimaschränken bei konstanten Temperaturen (15, 18, 23, 28, 33, 36°C) gezüchtet. Die Nymphenentwicklung dauerte bei 15°C etwa 8 Wochen, bei 18°C etwa 4 Wochen, bei 23°C 2 bis 2,5 Wochen, bei 28°C 1,5 bis 2 Wochen und bei 33°C etwa 9 Tage. Bei 15°C lag die Mortalität bei 81 %, bei 36°C bei 100 %, in den anderen Temperaturstufen unter 20 %. Der errechnete untere Entwicklungsnullpunkt beträgt 12,4°C, die optimale Temperatur 32,8°C. Die Entwicklung vom Ei bis zur Adulthäutung benötigt 363 Gradtage, die

Entwicklung einer Generation (inklusive Präovipositionsperiode) benötigt 471 Gradtage. In Ostösterreich sind zwei volle Generationen pro Jahr möglich; abhängig von der Witterung in Einzeljahren kann auch die Eiablage einer dritten Generation erfolgen.

Abstract

The North American oak lace bug *Corythucha arcuata* was first discovered in Austria in 2019. Since then the insect has been found on trees along busy traffic routes and in oak forests in eastern Austria (Styria, Burgenland, Lower Austria, Vienna). Nymphs and adults suck on the underside of leaves of all native oak species (*Quercus* spp.), causing leaves to pale and photosynthetic activity to decline dramatically. *C. arcuata* is a multivoltine species, depending on the weather, several generations per year may occur. To investigate the effects of temperature on the development and population dynamics of *C. arcuata*, nymphs were collected from the field in June 2022 and reared until adulthood. Adult bugs were mated and females started to lay eggs approximately 11 days after mating. During their lifetime of 7 to 8 weeks, they produced 100 to 150 eggs. The newly hatched nymphs were reared in climate chambers at constant temperatures (15, 18, 23, 28, 33, 36°C). Nymph development lasted about 8 weeks at 15°C, 4 weeks at 18°C, 2 to 2.5 weeks at 23°C, 1.5 to 2 weeks at 28°C, and only 9 days at 33°C. Mortality was 81 % at 15°C, 100 % at 36°C, and less than 20 % at all other temperatures. The calculated lower development threshold was 12.4°C, the optimum temperature for development was 32.8°C. Development from egg to adulthood required 363 degree-days, development including the preoviposition period required 471 degree-days. In eastern Austria, the insect can produce two generations per year; depending on the weather conditions, egg deposition of a third generation may also occur.

Literatur

HOCH G (2021): *Corythucha arcuata* (Heteroptera, Tingidae): Beurteilung der Schadwirkung in Europa und Entwicklung von Strategien zu Überwachung, Kontrolle und Management. BFW, Institut für Waldschutz. 35 S.

HOCH G, SALLMANNSHOFER M, CONNELL J, HINTERSTOISSER W, SCHAFELLNER C (2022): Rasche Ausbreitung der invasiven Eichennetzwanze (*Corythucha arcuata*) in Österreich. Forstschutz Aktuell 68.

LACTIN D, HOLLIDAY N, JOHNSON D, CRAIGEN R (1995): Improved Rate Model of Temperature-Development by Arthropods. Environmental Entomology, Vol. 24, S. 68-75.

REBAUDO F, STRUELENS Q, DANGLES O (2018): Modelling temperature-dependant development rate and phenology in arthropod: the DEVRATE package for R. Methods in Ecology and Evolution, 9 (4).

SALLMANNSHOFER M, ETTE S, HINTERSTOISSER W, CECH T, HOCH G (2021): Erstnachweis der Eichennetzwanze, *Corythucha arcuata*, in Österreich. Forstschutz Aktuell 66.

Adressen der Autoren

Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

* Ansprechpartnerin: Selina STATTLER, BSc., selina.stattler@boku.ac.at

Fernerkundung der Vegetationsdynamik als indirekte Bewertung von Bodenverdichtung

Remote sensing of vegetation dynamics as an indirect assessment of soil compaction

Matthias Konzett*, Elmar Schmaltz, Thomas Weninger

Einleitung

Die Bodenverdichtung ist eine große Bedrohung für die weltweite Landwirtschaft, da sie die Pflanzenproduktion beeinträchtigen und negative Auswirkungen auf die Umwelt haben kann. Dies kann zu erhöhten Produktionskosten, zusätzlichem Arbeitsaufwand und reduzierten Zeitfenstern für den Zugang zum Feld führen. Die Etablierung nicht-invasiver Methoden zur Erkennung signifikanter Bodenverdichtungen würde eine unvergleichlich höhere Effizienz bei der Erhebung von Daten über den aktuellen Zustand der Bodenverdichtung in landwirtschaftlichen Gebieten ermöglichen. Unterschiede zwischen dem Pflanzenwachstum auf verdichtetem und nicht verdichtetem Boden können sich in den Eigenschaften des Ernteguts (z. B. Ertrag, Qualität des Ernteguts, Biomasse) oder in der der zeitlichen Entwicklung der Triebe (z. B. Wachstumsfortschritt, Anzahl der Aufgänge, unterschiedliche Termine des Erreichens phänologisch relevanter Phasen) darstellen. Mithilfe von Multispektral-Kameras können Vegetationsindizes berechnet werden, die potenziell die erforderlichen Informationen zeigen können (Osco et al., 2019; Yeom et al., 2019). Im Vergleich zum mechanischen Ansatz, der von der Mehrzahl der Studien zur Bestimmung Bodenverdichtung verfolgt wird (vgl. Keller et al., 2022), legt diese Studie den Fokus auf die fernerkundliche Erfassung der Auswirkungen auf Pflanzen durch oberflächige Bodenverdichtung.

Material und Methoden

Jahre, Pflanzenarten: In die bisherige Auswertung sind zwei Felder – in Herzogbirbaum & Groß-Enzersdorf – aus dem Jahr 2022 eingeflossen. In Herzogbirbaum wurde Winterweizen und in Groß-Enzersdorf Mais angebaut.
Standorte: Beide Standorte liegen in den östlichen trockenen Regionen Österreichs. In Herzogbirbaum sind im Jahr 2022 rund 600 mm und in Groß-Enzersdorf knapp 400 mm Niederschlag gefallen. Der Boden des Feldes in Herzogbirbaum wurde als eine schluffig-Lehmige Parabraunerde und der Boden in Groß-Enzerdorf als Tschernosem mit einer Textur aus stark tonigem Schluff klassifiziert.
Versuchsanlage: In Herzogbirbaum wurden jahrelang (> 10 Jahre) benutzte Fahrspuren, welche im letzten Jahr verlegt und neu eingesät werden konnten, als verdichtete Bereiche im Boden verwendet. In Groß-Enzersdorf wurden die verdichteten Bereiche vor der Maisaussaat durch das Befahren des Feldes mit einem vollgefüllten Güllefass (~ 20 t) erzeugt.
Befliegungen: In Herzogbirbaum wurden über die Vegetationsperiode 2022 3 Flüge und in Groß-Enzersdorf 7 Flüge durchgeführt. Aus den Bildern wurden Orthomosaiks erstellt (Abbildung 1 a/c) aus denen 17 verschiedenen Vegetationsindizes (z.B. NDVI [Normalized Difference Vegetation Index], GSAVI [Green Soil Adjusted Vegetation Index], …) berechnet wurden (Abbildung 1 b/d).
Auswirkungen der Verdichtung: Pro Feld wurden jeweils 5 etwa 1x1 m² große Bereiche ausgewählt, welche repräsentativ für eine Verdichtung oder nicht vorhandene Verdichtung waren. Diese wurden unter anderem für die Bestimmung der Werte der verschiedenen Vegetationsindizes verwendet (Abbildung 1 e). Mittels Feldmessungen von Lagerungsdichte, Eindringwiderstand und gesättigter hydraulischer Leitfähigkeit wurde die Annahme der vorliegenden Verdichtung überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Herzogbirbaum: Der Winterweizen in Herzogbirbaum war im verdichteten Bereich vitaler und wuchs schneller, im Vergleich zu jenen Pflanzen, die außerhalb des verdichteten Bereichs wuchsen (Tabelle 1). Die Pflanzen auf verdichtetem Boden wuchsen im Zeitraum von 2 Monaten im Median um 0.62 m, und jene im unverdichteten Bereich um 0.57 m. Die mittlere absolute Abweichung vom Median beträgt

jedoch 0.08 m für die Pflanzen auf verdichtetem Boden und 0.07 m für jene auf unverdichtetem. Ein signifikanter Unterschied lässt sich deshalb nicht ermitteln. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in den anderen untersuchten Vegetationsindizes – die Pflanzen auf dem verdichteten Boden scheinen vitaler zu sein (GSAVI, NDVI, NDRE), mehr Chlorophyll gespeichert zu haben (CG, CIrededge) und verspüren weniger Stress (NDRE), jedoch sind die Unterschiede aber zu gering, um einen statistisch signifikanten Unterschied zu erreichen.

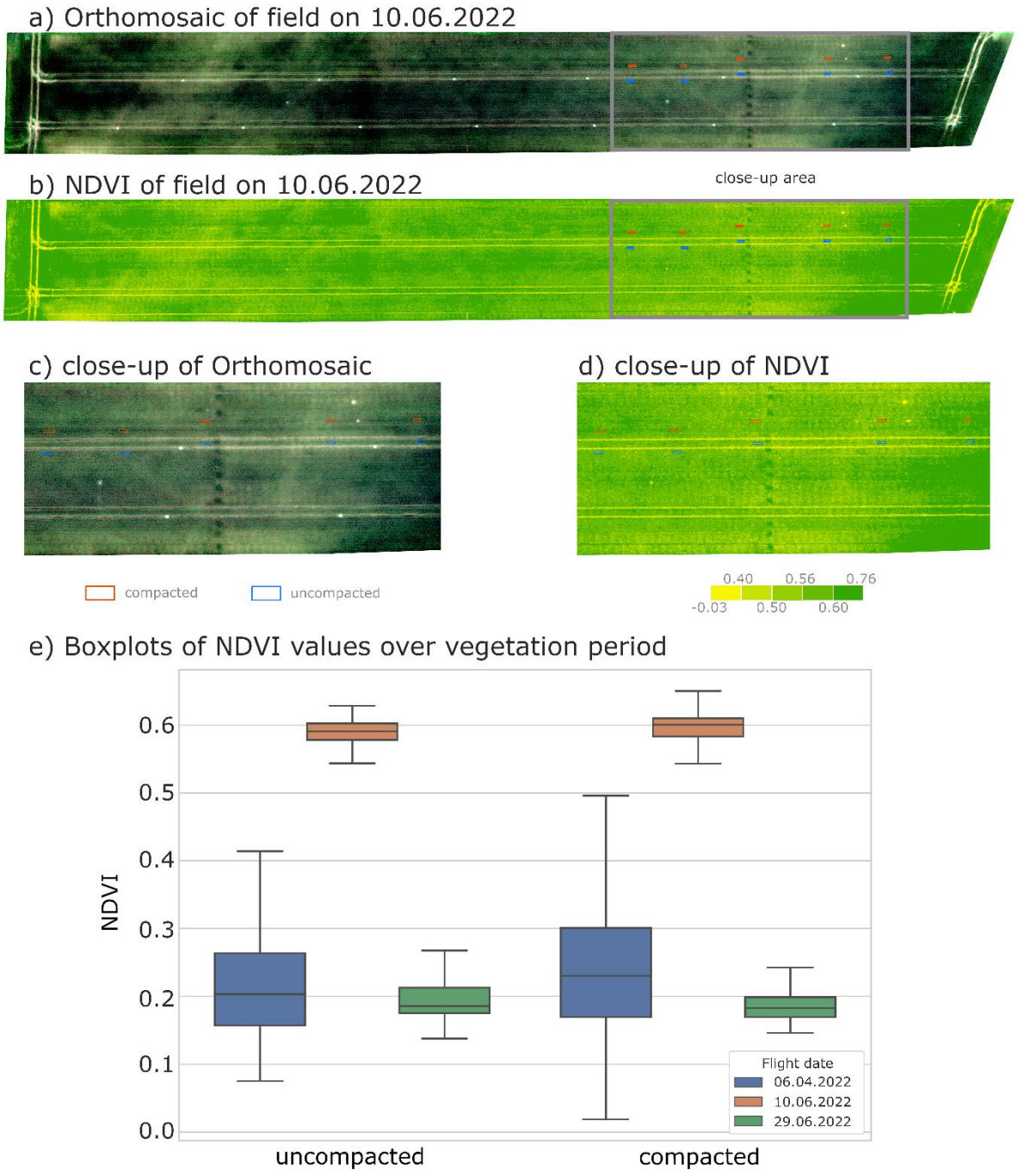


Abbildung 1: **Erste Ergebnisse des Projekts vom Standort Herzogbirbaum. a) Zeigt das Orthomosaik erstellt durch die Bilder des Fluges vom 10.06.2023; b) den daraus berechneten NDVI; c) & d) jeweils eine Vergrößerung des Orthomosaiks und des NDVI; und e) Boxplots die die NDVI-Werte innerhalb der verdichteten und unverdichteten Bereiche des jeweiligen Fluges darstellen.**

Groß-Enzersdorf: Der Mais in Groß-Enzersdorf hat auf die Bodenverdichtung so reagiert, wie es eigentlich zu erwarten gewesen wäre – die Pflanzen auf dem verdichteten Boden wuchsen langsamer und

waren weniger vital als jene auf den unverdichteten Bereichen (Tabelle 1). Während die Pflanzen zwischen Ende April und Ende Juni auf dem verdichteten Boden um 1.33 ± 0.17 m gewachsen sind, sind jene auf den unverdichteten Bereichen um 1.39 ± 0.21 m gewachsen. Alleine der CG deutet auf einen geringeren Chlorophyllgehalt in den Pflanzen die auf unverdichteten Böden gewachsen sind; alle anderen Indizes – auch der CIrededge, mit welchem ebenfalls den Chlorophyllgehalt bestimmt werden kann – deuten auf eine verbesserte Pflanzenentwicklung bei Pflanzen ohne Bodenverdichtung. Auch hier sind die Unterschiede aber zu klein bzw. die mittlere absolute Abweichung vom Median zu groß, um einen signifikanten Unterschied festzustellen.
Zukünftiges: Da beide Felder mit verschiedenen Kulturen angebaut werden, in unterschiedlichen Regionen in Österreich liegen und deshalb jeweils unterschiedliche klimatologische Bedingungen – wie etwa Niederschläge, Sonnenstunden, Temperatur, … - und Bodeneigenschaften haben, war es wichtig, ein Feld in unsere Untersuchungsstandorte mitaufzunehmen, wo mehrere Kulturen angebaut sind und eindeutig feststellbare verdichtete Bereiche erkennbar sind. Im Jahr 2023 werden wir deshalb ein weiteres Feld in Wieselburg/Petzenkirchen ins Versuchsdesign aufnehmen, wo in Form eines großflächigen Parzellenversuchs Mais, Weizen, Gerste und Raps angebaut werden.

Tabelle 1: **Auswahl an Vegetationsindizen für die beiden Standorte Herzogbirbaum (10.06.2022) & Groß-Enzersdorf (28.06.2022). Die Werte sind Median-Werte ± Median Absolute Deviation. HDiff = Höhendifferenz zum Erstflug; CG = Chlorophyll Green (Chlorophyll); CIrededge = Chlorophyll Index RedEdge (Chlorophyll); GSAVI = Green Soil Adjusted Vegetation Index (Vegetation); NDVI = Normalized Difference Vegetation Index (Biomasse); NDRE = Normalized Diffrence RedEdge Index (Vitalität/Stress)**

			Vegetationsindex				
Standort	**Verdichtung**	**HDiff (m)**	**CG**	**CIrededge**	**GSAVI**	**NDVI**	**NDRE**
Herzogbirbaum	verdichtet	0.62 ± 0.08	0.43 ± 0.01	3.64 ± 0.33	0.60 ± 0.01	0.60 ± 0.02	0.57 ± 0.03
	unverdichtet	0.57 ± 0.07	0.43 ± 0.01	3.47 ± 0.27	0.59 ± 0.01	0.59 ± 0.02	0.55 ± 0.03
Groß - Enzersdorf	verdichtet	1.33 ± 0.17	0.49 ± 0.08	3.36 ± 0.92	0.51 ± 0.11	0.64 ± 0.11	0.54 ± 0.10
	unverdichtet	1.39± 0.21	0.48 ± 0.08	3.48 ± 0.83	0.53 ± 0.10	0.70 ± 0.08	0.55 ± 0.09

Zusammenfassung

In dieser Studie werden die Möglichkeiten für Bewertungen von Pflanzenvitalität durch Fernerkundung in mehreren pedoklimatischen Zonen Europas – es kommen in der Zukunft noch Standorte in den Niederlanden und Belgien hinzu – unter Verwendung eines harmonisierten Versuchsplans bewertet. Mit Hilfe von unbemannten Luftfahrzeugen (UAV), die mit Multispektralkameras ausgestattet sind, werden pflanzenphysiologische Indikatoren während der gesamten Vegetationsperiode regelmäßig erhoben. Beispiele für solche Indikatoren sind Pflanzenhöhe, Vegetationsentwicklung, -bedeckung und -dichte, NDVI und weitere aus der Reflexionssignatur der Pflanzen abgeleitete Indizes. Es werden Felder beobachtet, die teilweise eine definierte und abgegrenzte Verdichtung erfahren haben (Vorgewende oder Radspuren aus der Bewirtschaftung mit schweren Maschinen) und es werden bodenphysikalische Standardmethoden angewandt, um den Verdichtungszustand der Böden zu charakterisieren (z.B. Schütt-/Packungsdichte, Eindringwiderstand). Bei den aufgeführten Indikatoren werden Unterschiede zwischen Pflanzen in verdichteten Bereichen und nicht verdichteten Bereichen in unmittelbarer Nähe unter gleichen anderen Anbaubedingungen festgestellt. Die Ergebnisse aus dem ersten Jahr der Beobachtungen zeigen Unterschiede zwischen dem Pflanzenwachstum in verdichteten und nicht verdichteten Bereichen.

Abstract

This study assesses the potential for assessments of plant vitality through remote sensing in several pedoclimatic zones in Europe – fields in Netherlands and Belgium will be added – using a harmonized experimental design. Plant physiological indicators are regularly collected throughout the growing season using unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with multispectral cameras. Such indicators include plant height, vegetation development, cover and density, NDVI, and other indices derived from the plants' reflectance signature. Fields that have partially experienced defined and delineated compaction (headlands or wheel tracks from cultivation with heavy machinery) are observed, and standard soil physical methods are applied to characterize the compaction status of the soils (e.g., bulk/pack density, penetration resistance). For the indicators listed, differences are found between plants in compacted and non-compacted areas in close proximity under the same growing conditions. The results from the first year of observations show differences between plant growth in compacted and non-compacted areas.

Literatur

KELLER, T., LAMANDÉ, M., NADERI-BOLDAJI, M., PAIVA DE LIMA, R. (2022): Soil Compaction Due to Agricultural Field Traffic: An Overview of Current Knowledge and Techniques for Compaction Quantification and Mapping. In: Saljinikov, E., Mueller, L., Lavrishchev, A., Eulenstein, F. (Eds.): Advances in Understanding Soil Degradation. Springer Nature, Cham, Switzerland.

OSCO, L.P., MARQUES RAMOS, A.P., ROBERTO PEREIRA, D., AKEMI SAITO MORIYA, É., NOBUHIRO IMAI, N., TAKASHI MATSUBARA, E., ESTRABIS, N., DE SOUZA, M., MARCATO JUNIOR, J., GONÇALVES, W.N., LI, J., LIESENBERG, V., EDUARDO CRESTE, J. (2019): Predicting Canopy Nitrogen Content in Citrus-Trees Using Random Forest Algorithm Associated to Spectral Vegetation Indices from UAV-Imagery. Remote Sensing 11, 2925.

YEOM, J., JUNG, J., CHANG, A., ASHAPURE, A., MAEDA, M., MAEDA, A., LANDIVAR, J. (2019): Comparison of Vegetation Indices Derived from UAV Data for Differentiation of Tillage Effects in Agriculture. Remote Sensing 11, 1548.

Adresse der Autoren

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen, Pollnbergstraße 1

* Ansprechpartner: Matthias KONZETT, matthias.konzett@baw.at

Auswirkungen von Radlast, Bodenbearbeitung und Zwischenfrucht auf Spurtiefe, bodenphysikalische Strukturparameter und Körnermaisertrag im Pannonischen Klimaraum im Jahr 2022

Effect of wheel load, soil tillage and cover crop on track depth, soil structural quality parameters and maize yield in Pannonian basin in 2022

Gerhard Moitzi[1], Emmanuel Arthur[2], Maliheh Fouladidorhani[2], Mathieu Lamandé[2], Helmut Wagentristl[1]

Introduction

Field traffic is responsible for soil compaction with severe impacts on the soil functioning and negative consequences on crop production. Agricultural soils have a wide diversity of ecological services (e.g., root growth, water movement, aeration) that are directly influenced by the physical properties of soils (LAMANDÉ ET AL. 2018). Farm vehicles should not impose stresses that exceed soil strength. Heavy agricultural vehicles passing on low load-bearing and soft soil (loosened, wet) can generate tire tracks in the field with the potential risk of subsoil compaction. Studies by KELLER ET AL. (2019) stated that future agricultural operations must consider the inherent mechanical limits of soil due to the increasing average weight of farm machinery exceeding loads bearable by the ground. Tracks caused by field traffic are visible indicators of soil deformation/compaction in the field. Previous studies showed tire tracks are deeper in fields with cover crops with traffic in spring due to the loosening effect of cover crop roots (MOITZI ET AL. (2021).

In the context of the SoilCompaC Project (EJP SOIL), a three-factorial field experiment at the Experimental Farm Groß-Enzersdorf was established to investigate the effects of field traffic, soil tillage (ploughing, cultivating, no-tillage) for cover crop and cover crop mixture (deep rooted, shallow rooted) on agronomic and soil physical parameters.

Materials and Methods

The field experiment was carried out on the Experimental Farm Groß-Enzersdorf on a Calcaric Chernozem. The soil (0–30 cm) is a silty loam with 19.9% clay, 44.1% silt, and 36.1% sand and soil organic carbon of 16.3 g kg^{-1}. The year 2022 was very dry with a mean annual precipitation of 392 mm and temperature of 11.9 °C. Long-term climate data (1960-2022) was 553 mm and 10.3 °C for precipitation and temperature, respectively. In the three-factorial design (Table 1), cover crop mixture and load were nested in tillage of the cover crop. The plot size for a tillage treatment was 30 m x 27 m and for cover crop within tillage of the cover crop 30 m x 9 m. The total field trial size was 7290 m^2, with three replicates for each factor.

Table 1: **Testing factors**

Cover crop	No Cover crop (No CC)	Deep rooted cover crop mixture[1)] (CCd)	Shallow rooted cover crop mixture[2)] (CCs)
Tillage – Cover crop	Mouldboard plough (25 cm) – (MP)	Wing sweep cultivator (25 cm) – (CT)	No tillage – (No-Till)
Load	High (TM[3)]: 19540 kg, WL_{max}[4)]: 30 kN)	Medium (TM: 14825 kg WL_{max}: 22 kN)	Low (TM: 10030 kg WL_{max}: 22 kN)

[1)] fodder radish–*Raphanus sativus L. oleifromis Pers*., safflower thistle–*Carthamus tinctorius*), ramtil–*Guizotia abyssinica; 33 kg* ha^{-1}; [2)] pea–*Pisum sativum*), flaxseed–*Linum usitatissimus L*., phacelia–*Phacelia tanacetifolia*; 45 kg ha^{-1}, [3)] total mass, [4)] maximum wheel load

After the harvest of winter wheat, soil tillage (ploughing, cultivating, harrowing) was carried out at the end of July 2021. Cover crop seeding was done on 11th August 2021 with a seed drill. Wheeling with a tractor-slurry tanker combination (10 m^3, pendulum tandem axle) was done on 21st April 2022 in three load levels: total filled slurry tanker (high load), half-filled slurry tanker (medium load) and empty slurry tanker (low load). Tire inflation pressure was fixed for the tractor wheels with 300 kPa and for the slurry tanker wheels with 400 kPa. The average soil moisture content was 24.4%. After passing the plots with the slurry tanker-tractor combination, the track depth as a vertical distance between the middle tire print and the horizontal rigid slat was measured with a ruler. Maize (cv. P9610, FAO 370) was seeded (without tillage before!) directly on 2nd May 2022 in tracks (generated by the tractor slurry tanker combination) and on the area with no tracks using a precision seeder in a row distance of 75 cm. Maize harvest was done on 21st September 2022 in each plot by cutting the maize plants of 2 m rows manually. In autumn (18th October 2022) the soil structural quality indicators (SubVESS, bulk density, penetration resistance, saturated hydraulic conductivity [K_{sat}]) were measured in the plot for the high load treatment (NT and CCs), and air flow-related parameters (gas diffusion, and air permeability [k_a]) were measured in the laboratory on undisturbed soil cores in the subsoil layer (30-40 cm).

Results and discussion

The mean track depth (n=432) generated by the filled slurry tanker-tractor combination was 5.69 cm and was statistically different from the half-filled slurry tanker-tractor combination (total mass: 14.8 Mg) with 4.79 cm and the empty slurry tanker-tanker combination (total mass: 10.03 Mg) with 4.07 cm. This soil deformation in the tire track is also linked with higher soil penetration resistance (Data not presented). The long-term period of undisturbed soil (period tillage or the pre-crop winter wheat in autumn 2020 and end harvest of maize autumn 2022) for NT compacted the soil with better bearing capacity and significantly lower track depth than in the treatment MP and CT (Table 2).

Table 2. **Tire track depth (cm) affected by tillage of cover crop (MP=Mouldboard Plough, CT=Cultivator, NT=No Till), cover crop mixture (No CC = No cover crop, CCd = deep rooted cover crop, CCs = shallow rooted cover crops) and wheel load**

Load	**MP**				**CT**				**NT**			
	No CC	**CCd**	**CCs**	**Mean**	**No CC**	**CCd**	**CCs**	**Mean**	**No CC**	**CCd**	**CCsh**	**Mean**
High	6.80	6.76	6.95	6.84^{c}	6.24	6.17	6.62	6.34^{c}	3.78	3.88	4.04	3.90^{c}
Medium	5.53	5.27	5.40	5.41^{b}	5.75	5.17	5.75	5.56^{b}	3.28	3.43	3.49	3.40^{b}
Light	4.93	4.70	4.83	4.82^{a}	4.30	4.27	4.62	4.40^{a}	3.18	2.72	3.02	2.98^{a}
Mean	**5.77**	**5.58**	**5.73**	**5.69^{C}**	**5.43**	**5.20**	**5.66**	**5.43^{B}**	**3.41**	**3.35**	**3.52**	**3.43^{A}**

Statistically significant differences ($p < 0.05$) are shown for the tillage effect with capital letters and for the wheel-load effect with small letters.

The soil structure, quantified by the SubVESS method, for the high load compaction treatment (SSQ = 2.07) was significantly poorer than for the un-wheeled treatment (SSQ = 1.40). Additionally, the soil relative gas diffusivity decreased from 0.013 for the non-traffic treatment to 0.007 for the high load treatment (Data not presented). The high load compaction treatment also significantly decreased K_{sat} and k_a compared to the un-wheeled area (Fig. 1).

Crop yield data in Table 3 should be considered with caution, because of water stress during the maize growing period. Cover crop factor did not affect crop yield, whereas the tillage for cover crop affected the yield (NT>CT>MP). Overall the load effect on crop yield was significant. On the un-wheeled area, the mean grain of maize yield was 4985 kg ha^{-1} and this was reduced by 37% (=1829 kg ha^{-1}) to 3156 kg ha^{-1} in the high load treatment.

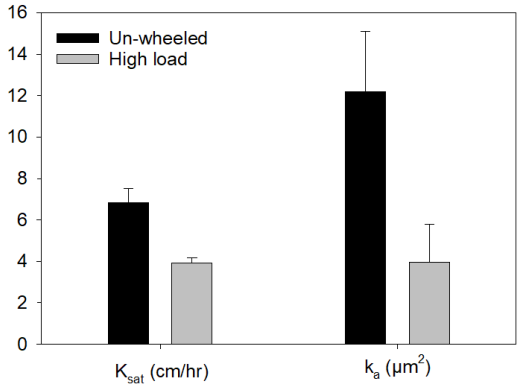


Figure 1: **Field-measured saturated hydraulic conductivity (K_{sat}) and laboratory-measured air permeability(k_a) at -100 hPa soil water potential for the un-wheeled and high load compaction treatment.**

Table 3: **Grain of maize yield [1] (kg ha^{-1}) affected by tillage of cover crop (MP=Mouldboard Plough, CT=Cultivator, NT=No Till), cover crop mixture (No CC = No cover crop, CCd = deep rooted cover crop, CCs=shallow rooted cover crops) and wheel load**

Load	**MP**				**CT**				**NT**			
	No CC	**CCd**	**CCs**	**Mean**	**No CC**	**CCd**	**CCs**	**Mean**	**No CC**	**CCd**	**CCs**	**Mean**
Un-wheeled	3111	3135	2631	2959^{b}	4278	5140	3642	4353^{b}	7709	6512	8708	7643^{b}
High load	2465	2874	2474	2782^{a}	2374	2464	2993	2610^{a}	2844	4214	5172	4076^{a}
Mean	**2788**	**3005**	**2552**		**3326**	**3802**	**3318**		**5277**	**5363**	**6940**	
	2782^{A}				**3482^{B}**				**5860^{C}**			

[1] Dry maize yield; Statistically significant differences ($p<0.05$) are shown for the tillage effect with capital letters and for the wheel-load effect with small letters.

Abstract:

In the context of the SoilCompaC project (EJP SOIL), a three factorial field experiment at the Experimental Farm Groß-Enzersdorf was established to investigate the effects of field traffic, soil tillage for cover crop (ploughing, cultivating, no- tillage) and cover crop mixture (deep rooted, shallow rooted) on agronomic and soil physical parameters. Traffic with a filled slurry tanker-tractor combination (10 m^3, pendulum tandem axle, max. wheel load slurry tanker: 30 kN; total mass tractor + slurry tanker: 19540 kg) was done in spring with an average moisture content of 24.4%. The mean track depth was highest at 5.69 cm in the total-filled slurry tanker followed by the half-filled slurry tanker (4.79 cm) and empty slurry tanker (4.07 cm.) Field-measured saturated hydraulic conductivity in the subsoil (30-40 cm) decreased by 42%. Laboratory-based results measured at -100 hPa revealed that compaction decreased soil gas transport by convection (air permeability) and diffusion (gas diffusivity) by 70% and 51%, respectively. Overall the mean grain of maize yield was reduced by 37% through soil compaction generated by the filled slurry tanker-tractor combination.

Funding: EJP SOIL has received funding from the European Union´s Horizon 2020 research and innovation programme: Grant agreement No 862695.

References:

LAMANDÉ, M.; GREVE, M.H.; SCHJØNNING, P. (2018): Risk assessment of soil compaction in Europe – Rubber tracks or wheels on machinery. CATENA 167, 353–362.

KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D. (2019): Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. Soil & Tillage Res. 194, 104293.

MOITZI, G., SATTLER, E., WAGENTRISTL, H. (2021): Effect of Cover Crop, Slurry Application with Different Loads and Tire Inflation Pressures on Tire Track Depth, Soil Penetration Resistance and Maize Yield. Agriculture 2021, 11, 641.

Adressen der Autoren

[1] Experimental Farm Groß-Enzersdorf, Department of Crop Sciences, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Schloßhofer Straße 31, A-2301 Groß-Enzersdorf, Austria

[2] Department of Agroecology, Aarhus University, Blichers Allé 20, PB 50, DK-8830 Tjele, Denmark

[*] Ansprechpartner: Dr. Gerhard MOITZI, gerhard.moitzi@boku.ac.at

Labormethoden zur hydrologischen Charakterisierung von Struktursubstraten

Laboratory methods for the hydrological characterization of structural soil substrates

Sebastian Rath[1,2*], Anna Zeiser[1,2], Thomas Weninger[1], Peter Strauss[1]

Einleitung

Böden spielen eine wichtige Rolle in ihrer Funktion als Wurzelraum, als Filter und Puffer gegenüber Schadstoffen, sowie zur Regulierung des Wasserhaushalts. Gesunde und natürliche Böden sind in der Lage, diese Funktionen zu erfüllen. In urbanen Räumen sind die vorherrschenden Böden oftmals durch anthropogene Eingriffe verändert und in ihrer Funktionalität stark eingeschränkt. Beispiele für solche Technosole sind versiegelte, verdichtete oder durch anthropogene Materialien (Baureststoffe, Geomembranen etc.) veränderte Böden (FAO 2015; SAUERWEIN 2004).

Als Klimawandelanpassungsmaßnahme in Städten gerät vermehrt grüne und blaue Infrastruktur in den Fokus. Vor allem große und alte Stadtbäume, als ein Bestandteil grüner Infrastruktur sind in der Lage wichtige Ökosystemleistungen, wie Kühlung durch Transpiration und Beschattung zu erbringen (MOSER-REISCHL et al. 2017). Zur blauen Infrastruktur zählen Systeme, die sich dem naturnahen Regenwassermanagement zuordnen lassen und zur Überflutungsvorsorge durch Retention im Starkregenfall, zur Grundwasseranreicherung und zur Erhöhung der Verdunstungsraten beitragen. Aufgrund des Mangels an natürlichen Böden in Städten, bilden spezielle Bauweisen und Substrate die Basis für die Etablierung und den langfristigen Erhalt der Funktionsfähigkeit grüner und blauer Infrastruktur (FLL 2010). Diese Substrate müssen oftmals eine Vielzahl von Aufgaben erfüllen und werden unter Abstimmung gegenläufiger Parameter entwickelt. Für Stadtbäume werden sogenannte Struktursubstrate mit hohem Anteil an grobem Material eingesetzt. Diese Art von überbaubaren Baumsubstraten wurde bereits in den 1990er Jahren in den USA als „CU-Structural Soil®“ entwickelt und angewandt (BASSUK et al. 2015). In Stockholm wird seit 2009 ein ähnliches Struktursubstrat als „Stockholmer System“ eingesetzt (EMBRÉN et al. 2009). Daran angelehnt wurde in Österreich 2018 das „Schwammstadtsubstrat für Stadtbäume“ entwickelt und erstmalig eingebaut (GRIMM et al. 2021b).

Das Schwammstadtsubstrat für Stadtbäume, als grün-blaues Infrastrukturelement soll einerseits die Wuchsbedingungen für Stadtbäume, durch eine Wurzelraumerweiterung unter versiegelten Flächen verbessern und andererseits soll Regenwasserabfluss von befestigten Flächen in das Substrat eingeleitet werden können. Die zwei Hauptkomponenten des Schwammstadtsubstrats sind der Grobschlag und ein Feinsubstrat. Die Steine (Korngröße zwischen 90 und 150 mm) des Grobschlags übernehmen den Lastabtrag und bilden ein stabiles Porengefüge. In diese Poren wird ein Feinsubstrat mit Hilfe von Wasser und Druck „eingeschlämmt“, welches Nährstoffe zur Verfügung stellt sowie eine bestimmte Wasserhaltekapazität aufweist (GRIMM et al 2021a; ZEISER et al. 2021).

Obwohl das Schwammstadtsubstrat österreichweit bereits rund 50-mal zur Anwendung kam (ZIMMERMANN 2022), ist über die bodenphysikalischen und bodenhydrologischen Eigenschaften noch wenig bekannt. Weiters existieren bis dato noch keine Labormethoden, welche sich zur Untersuchung solch grobkörniger Substrate eignen.

Am Bundesamt für Wasserwirtschaft werden zur hydrologischen Charakterisierung von Struktursubstraten, insbesondere des Schwammstadtsubstrats, seit einigen Jahren Monitorings an Freilandstandorten sowie in Lysimeteranlagen durchgeführt. Zusätzlich sollen Untersuchungen im Labor zu einem breiteren Verständnis über die hydrologische Funktionalität des Substrats beitragen. Angelehnt an bestehende Labormethoden, vorrangig zur Untersuchung landwirtschaftlicher Böden, wurde eine Methodik entwickelt, die als reproduzierbare, praktikable und repräsentative Standardvariante zur Untersuchung von Struktursubstraten fungieren soll.

Material und Methoden

Untersuchte Substrate: Im Zuge der Laborversuche wurden mehrere Varianten des Schwammstadtsubstrats für unterschiedliche Fragestellungen untersucht. Aufgrund der begrenzten Dimension und der einfacheren Handhabung wurde ein Grobschlag mit der Korngröße 32/63 mm verwendet. Als Feinsubstrate

kamen sandbasierte Mischungen mit den Zuschlagsstoffen Pflanzenkohle, Kompost (Güteklasse A+) und einem schluffigen Schwemmmaterial aus Flusssediment zum Einsatz. Unterschieden werden kann in Feinsubstratmischungen mit (Mischung A) und ohne Schwemmmaterial (Mischung B), wenngleich die einzelnen Komponenten (Sand, Pflanzenkohle, Kompost, Schwemmmaterial) aufgrund unterschiedlicher Bezugsquellen nicht ident sind.
Feinsubstratmischung A:
Sand (0/4 mm, Rundkorn, gewaschen) : Schwemmmaterial (Mur/Donau) : Pflanzenkohle : Kompost (Güteklasse A+) – 8 : 1 : 1 : 1 (n = 3) bzw. 8 : 2 : 0,5 : 0,5 (n = 2)
Feinsubstratmischung B:
Sand (0/4 mm, Rundkorn, gewaschen) : Pflanzenkohle : Kompost – 8 : 1 : 1 (n = 5)

Labormethodik: Die entwickelte Labormethodik zur Untersuchung von Struktursubstraten, insbesondere von Schwammstadtsubstraten besteht aus drei Phasen mit drei unterschiedlichen Versuchsaufbauten. Eine Kombination aus Multi-Step-Outflow-Verfahren und einer Verdunstungsmethodik wurde gewählt, um in möglichst kurzer Zeit einen großen Teil der Wasserspannungskurve abzubilden.
Probenvorbereitung: Zu Beginn wird ein PVC-Zylinder (Höhe: 25 cm, Innendurchmesser: 23,6 cm) auf eine Kunststoffplatte mit Abfluss gesetzt und daran befestigt. Der Abfluss mündet in einen Auslassschlauch, welcher mit einer Klemme verschlossen werden kann. Zwischen Kunststoffplatte und Zylinder befindet sich eine Lochplatte (Lochdurchmesser: 5 mm, Lochabstand: 3 mm) sowie ein Gaze-Gewebe (Maschenweite: 1 mm), um die Ausschwemmung von Substratbestandteilen zu minimieren. Der Grobschlag wird möglichst kompakt in den Zylinder eingeschlichtet, um eine Verdichtung zu simulieren. Danach wird eine definierte Menge Feinsubstrat unter der Zugabe von Wasser in die entstandenen Hohlräume eingeschlämmt. Der gesamte Versuchsaufbau wird nach dem Probeneinbau auf Wägezellen (PL-100, METER Group AG), welche mit einem Data-Logger (Data Taker 85) verbunden sind, platziert.
Phase 1: Sättigung & freie Dränierung (Abb. 1 a): Die erste Phase dient der Bestimmung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, dem Gesamtporenvolumen und der Wasserkapazität nach zweistündiger freier Dränierung der Probe. Zu Beginn wird der Zylinder von unten über den Auslassschlauch gesättigt, bis ein Überstau von 4 cm über dem Substrat erreicht wird. Bestimmt wird die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit indem mehrmals die Zeit gemessen wird, in der eine Wasserspiegelabnahme von 1 cm beobachtet wird. Hierfür wird die Klemme am Auslassschlauch geöffnet. Durch einen neuerlichen Sättigungsvorgang wird das Gesamtporenvolumen des Substrats bestimmt. Die Wasserkapazität wird gemessen, indem das gesättigte Substrat für zwei Stunden frei über den Ablauf dränieren kann. Der volumetrische Wasseranteil wird jeweils über das Gewicht bestimmt.
Phase 2: Multi-Step-Outflow (Abb: 1 b): Um den volumetrischen Wasseranteil bei Matrixpotenzialen zwischen -60 und -100 hPa zu bestimmen, wird in Phase 2 die Plastikplatte durch eine keramische Platte ersetzt. An die Keramikplatte wird schrittweise ein definierter Unterdruck angelegt, wodurch Wasser bis zu einem Gleichgewichtszustand aus dem Substrat entfernt wird. Zwischen Keramikplatte und Substrat wird eine Schicht feiner, wassergesättigter Sand (0,1-0,3 mm) eingebracht, welcher die Platte vor Beschädigungen durch den Grobschlag bewahren sowie den Kontakt zwischen Feinsubstrat und Platte verbessern soll. Zwei Tensiometer (T5, METER Group AG) mit 5 und 10 cm Länge werden vertikal von oben im Feinsubstrat platziert. Plastiksäcke im Bereich der Keramikplatte sowie direkt über dem Substrat dienen als Verdunstungsschutz.
Phase 3: Verdunstung (Abb. 1 c): Vorversuche haben gezeigt, dass bei einem an die Keramikplatte angelegten Unterdruck größer als 100 hPa, der Wasserentzug sehr langsam vonstattengeht bzw. die Wassersäule innerhalb des Substrats abreißt. Aus diesem Grund wird zur Bestimmung des Wasseranteils bei stärker negativen Matrixpotenzialen eine Verdunstungsmethodik angewandt. Hierfür wird der Plastiksack über dem Substrat geöffnet und ein Ventilator darüber installiert. Um den volumetrischen Wasseranteil schrittweise bei verschiedenen Matrixpotenzialen zu bestimmen, wird der Plastiksack verschlossen, bis sich ein Equilibrium eingestellt hat.

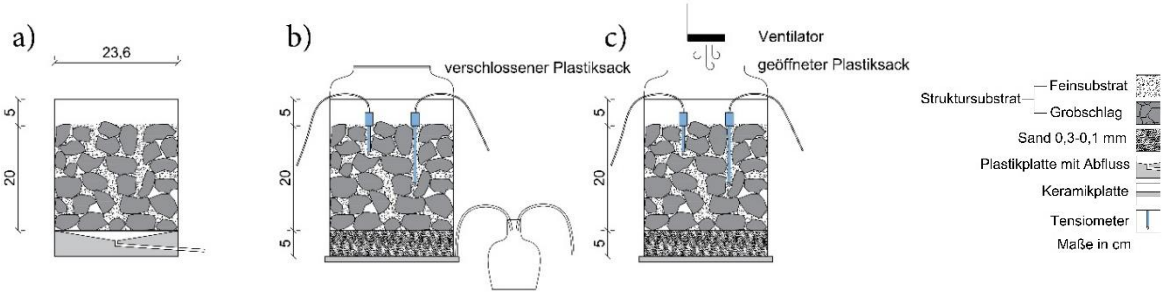


Abbildung 19: **Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Untersuchung von Strukturssubstraten. Phase 1 (a) zur Sättigung und freien Dränierung, Phase 2 (b) für schrittweise angelegten Unterdruck und Phase 3 (c) zur Verdunstung.**

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Struktursubstrate bzw. Schwammstadtsubstrate wiesen im Vergleich mit landwirtschaftlichen Böden eine hohe Trockenrohdichte, eine hohe gesättigte hydraulische Leitfähigkeit sowie eine hohe Luftkapazität auf (Tab. 2). Zugleich waren die Wasserhaltekapazität bzw. der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser vergleichsweise gering, was aufgrund des hohen Anteils an groben Steinen sowie dem Fehlen der Tonfraktion zu erwarten war. Die rasche Abnahme des volumetrischen Wasseranteils nach zweistündiger freier Dränierung weist auf einen hohen Grobporenanteil hin (Abb. 2).
Bis auf die Trockenrohdichte konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Feinsubstratmischungen (A, B) festgestellt werden (Tab. 2). Ein Grund hierfür könnte die hohe Variabilität bezüglich Materialien und Mischungsverhältnissen innerhalb der Proben der jeweiligen Feinsubstratmischung sein.

Tabelle 1: **Bodenphysikalische und bodenhydrologische Eigenschaften der untersuchten Schwammstadtsubstrate mit 25 Vol.-% eingeschlämmter Feinsubstratmischung A und B. Abkürzungen: TRD = Trockenrohdichte, K_S = gesättigte hydraulische Leitfähigkeit, GPV = Gesamtporenvolumen, WK_{2h} = Wasserkapazität nach zweistündiger freier Dränierung, LK_{2h} = Luftkapazität nach zweistündiger freier Dränierung, $WK_{1,8}$ = Wasserkapazität bei pF = 1,8, VarK = Variationskoeffizient (VarK= Standardabweichung/ Mittelwert). Ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Feinsubstratmischungen vorliegt, wurde mittels zweiseitigem Student´s t-Test mit einem Signifikanzniveau von α = 0.05 berechnet.**

Feinsubstratmischung		TRD g cm^{-3}	K_s m d^{-1}	GPV cm^3 cm^{-3}	WK_{2h} cm^3 cm^{-3}	LK_{2h} cm^3 cm^{-3}	$WK_{1.8}$ cm^3 cm^{-3}
	A	1,98	20,8	21,7	9,8	12,0	
	A	1,98	29,3	21,0	10,2	10,8	
	A	1,98	33,8	23,1	10,3	12,8	
	A	1,94	24,7	25,3	11,6	13,6	5,9
	A	1,99	22,8	26,1	14,3	11,8	4,7
	B	2,02	23,1	24,0	11,5	12,6	
	B	2,04	23,8	23,2	11,6	11,7	
	B	2,01	42,2	25,1	9,9	15,2	6,4
	B	2,01	39,8	25,9	9,7	16,2	
	B	2,02	48,7	26,3	9,4	16,9	7,5
Mittelwert	A	1,97	26,3	23,5	11,2	12,2	5,3
	B	2,02	35,5	24,9	10,4	14,5	6,9
Standard-abweichung	A	0,019	5,23	2,21	1,84	1,07	
	B	0,011	11,51	1,29	1,03	2,29	
VarK	A	0,010	0,20	0,09	0,16	0,09	
	B	0,005	0,32	0,05	0,10	0,16	
Signifikanter Unterschied	Ja/Nein	J	N	N	N	N	

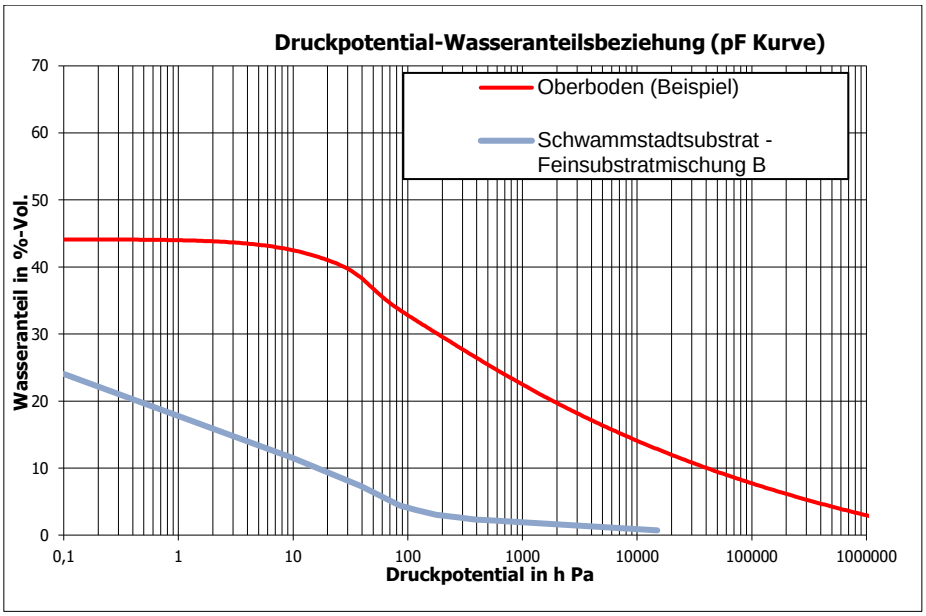


Abbildung 20: **pF-Kurve zur Verdeutlichung des Unterschieds zwischen einer Probe des Schwammstadtsubstrats (blau) mit 25 Vol.-% der Feinsubstratmischung B und einer Bodenprobe eines Oberbodens (rot).**

Die entwickelte Labormethodik bildet eine erste Grundlage zur hydrologischen Charakterisierung von Struktursubstraten. Vor allem im Vergleich mit landwirtschaftlichen Böden zeigen sich deutliche Unterschiede. Weitere Laborversuche sind nötig, um die Methodik auf ihre Reproduzierbarkeit und Repräsentativität zu überprüfen und um die Aussagekraft der Ergebnisse zu erhöhen.

Zusammenfassung

Aufgrund des Mangels an natürlichen Böden in urbanen Räumen werden spezielle Bauweisen und Substrate eingesetzt, um die Grundlage für eine funktionsfähige grüne und blaue Infrastruktur zu schaffen. Mit Hilfe sogenannter Struktursubstrate werden hydrologisch optimierte Stadtbaumstandorte geschaffen, die der grün-blauen Infrastruktur von Städten zugeordnet werden können. Als Beispiel hierfür gilt das in Österreich seit 2018 eingesetzte Schwammstadtsubstrat für Stadtbäume. Das Substrat soll einerseits die Wuchsbedingungen für Stadtbäume durch eine Wurzelraumerweiterung unter versiegelten Flächen verbessern sowie andererseits im Starkregenfall die Kanalisation entlasten, indem Oberflächenabfluss in das Substrat eingeleitet werden kann. Obwohl bereits vielfach eingesetzt in Österreich ist über die hydrologische Funktionalität des Schwammstadtsubstrats wenig bekannt. Der Mangel an geeigneten Labormethoden zur Untersuchung von Struktursubstraten, bildete die Grundlage für die Entwicklung einer solchen am Bundesamt für Wasserwirtschaft. Die entwickelte Methodik besteht aus einem modifizierbaren, dreiphasigen Versuchsaufbau. Die ersten Ergebnisse zeigten, dass das untersuchte Substrat aufgrund des hohen Anteils an groben Steinen im Vergleich mit landwirtschaftlichen Böden eine hohe Trockenrohdichte, hohe gesättigte hydraulische Leitfähigkeit und hohe Luftkapazität aufwies. Die Fähigkeit Wasser pflanzenverfügbar zu speichern, erwies sich als vergleichsweise gering. Erste Vergleiche unterschiedlicher Substratmischungen (mit und ohne schluffigem Schwemmmaterial) zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Abstract

Due to the lack of natural soils in urban areas, special construction methods and substrates are used to create the basis for a functional green and blue infrastructure. With the help of so-called structural soil substrates, hydrologically optimised urban tree sites are installed, which can be assigned to the green-blue infrastructure of cities. An example of this is the sponge-city-substrate for urban trees, which has been used in Austria since 2018. The substrate is intended to improve the growing conditions for urban trees by expanding the rooting space under sealed surfaces and to relieve the sewage system in the event of heavy rainfall by leading surface runoff directly into the substrate. Although already widely used in

Austria, little is known about the hydrological functionality of the sponge-city-substrate. The lack of suitable laboratory methods for analysing structural soil substrates formed the basis for the development of one at the Federal Agency of Water Management. The laboratory method developed, consists of a modifiable, three-phase experimental set-up. Initial results showed that, due to the high proportion of coarse stones, the investigated substrate had a high bulk density, high saturated hydraulic conductivity and high air capacity compared to agricultural soils. The ability to store plant-available water proved to be comparatively low. Initial comparisons of different substrate mixtures (with and without silty river sediment) showed no significant differences.

Literatur

BASSUK N, DENIG B R, HAFFNER T, GRABOSKY J, TROWBRIDGE P (2015): CU-Structural Soil - A Comprehensive Guide. Ed. Denig, B. R. Urban Horticulture Institute, Cornell University. Verfügbar unter: http://www.hort.cornell.edu/uhi/outreach/pdfs/CU-Structural%20Soil%20-%20A%20Comprehensive%20Guide.pdf. Zugriff am 19.3.2022.

EMBRÉN B, ALVEM B-M, STÅHL Ö, ORVESTEN A (2009): Pflanzgruben in der Stadt Stockholm. Ein Handbuch. Stockholms stad Trafikkontoret. Verfügbar unter: https://www.urbanevegetation.de/downloads/Pflanzgruben_Stockholm_deutsch.pdf. Zugriff am 19.3.2022.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2015): World reference base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. (2014). ([3. ed.].). Rome: FAO.

FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V.) (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen. Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate. Bonn.

GRIMM K, MURER E, SCHMIDT S (2021a): Das Schwammstadtprinzip für Stadtbäume in Österreich. Entstehung, Funktionsweise, Herausforderungen, Umsetzungen. Schwammstadt - Versickerung 2.0? (S. 51–55). Tagungsbeitrag Aqua Urbanica 2021, Innsbruck: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

GRIMM K, MURER E, SCHMIDT S (2021b): Das Schwammstadtprinzip für Stadtbäume in Österreich. Genese, Stand der Dinge, ausgewählte Beispiele, Herausforderungen. Schwammstadt - Versickerung 2.0? (S. 121–123). Tagungsbeitrag Aqua Urbanica 2021, Innsbruck: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

MOSER-REISCHL A, RÖTZER T, PAULEIT S (2017): Stadtbäume: Wachstum, Funktionen und Leistungen – Risiken und Forschungsperspektiven. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 188 (5–6): 94–111. doi:10.23765/afjz0002006.

SAUERWEIN M (2004): Urbane Bodenlandschaften - Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem, Online-Ressource, Text + Image (kB). Universitäts- und Landesbibliothek Sachsen-Anhalt. doi:10.25673/3787.

ZEISER A, MURER E, SCHMIDT S, KUMPAN M, STRAUSS P, WENINGER T (2021): Schwammstadt für Stadtbäume. Funktionsorientierte Substratentwicklung am Beispiel des multifunktionalen Wurzelraums. Schwammstadt - Versickerung 2.0? (S. 92–96). Tagungsbeitrag Aqua Urbanica 2021, Innsbruck: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

ZIMMERMANN D (2022, Dezember 21): Persönliche Mitteilung, E-Mail.

Adressen der Autoren

[1] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen

[2] Verein Land schafft Wasser, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen

[*] Ansprechpartner: DI Sebastian RATH, sebastian.rath@baw.at

Bodenstruktur und Humusstabilität – Analytische Potenziale von Ultraschall-Fraktionierung und simultaner Thermoanalyse

Soil structure and humus stability - Analytical potentials of ultrasonic fractionation and simultaneous thermal analysis

Sebastian Wieser[1*], Katharina Keiblinger[2], Rebecca Hood-Nowotny[2], Herwig Mayer[3], Axel Mentler[2], Christoph Rosinger[1], Karin Wriessnig[4], Gernot Bodner[1]

Einleitung

Landwirtschaftlich genutzte Böden kommen hinsichtlich ihres potenziellen Beitrags zur Kohlenstoffsequestrierung immer mehr in den Fokus. Die EU-Kommission legte mit dem EU Green Deal, im Besonderen durch die Mission Soil Health, den Grundstein für eine zukunftsorientierte Bodenbewirtschaftung (EUROPEAN COMMISSION, 2021) unter besonderer Berücksichtigung der Bodengesundheit. Eine explizite Zielsetzung dieser Mission ist die Etablierung von Leuchtturmbetrieben (Pionierbetriebe) in den landwirtschaftlichen Gebieten. In Folge sollen sich Landwirte im Umkreis an diesen Pionieren orientieren und von ihnen profitieren können. Für die Evaluierung der Fortschritte hinsichtlich Bodengesundheit und Kohlenstoffsequestrierung braucht es konsistente Labormethoden, die eine Standortunabhängigkeit gewährleisten sowie Managementpraktiken widerspiegeln können. In dieser wissenschaftlichen Arbeit werden daher die möglichen Potentiale der Ultraschallfraktionierung und der Simultanen Thermoanalyse (STA) hinsichtlich ihres Potentials zur Bestimmung von stabilem Kohlenstoff untersucht. Des Weiteren soll geklärt werden, ob die Methoden in der Lage sind, zwischen unterschiedlichen Kohlenstoff-Stabilitäten zu unterscheiden.

Material und Methoden

Standort: An 10 Standorten in NÖ und Stmk, mit zwei bzw. drei Managementsystemen (Standardbetrieb mit konventionellen Bodenmanagementpraktiken, Pionierbetrieb mit schonender Bodenbearbeitung, natürliche Referenzfläche) wurden Bodenproben (Tiefe 0-10 cm) von landwirtschaftlich genutzten Flächen entnommen.

Labormethode: Der gesiebte Feinboden (< 2 mm) wurde für die STA gemahlen und bei 60 °C equilibriert. Für die Messung wurden 50 mg des Bodens in einen Platin-Tiegel eingewogen. In kontrollierter Atmosphäre (Stickstoff ~ 30 ml/min und Luft ~ 20 ml/min) wurde die Probe mit einer kontinuierlichen Heizrate von 10 °K/min bis 1000 °C erhitzt. Simultan wurden mit dem Gerät, Netzsch STA 409 PC Luxx, die Gewichtsveränderung (Thermogravimetrie TG) und der Wärmefluss (Differenzialkalorimetrie DSC) gemessen.

Als weitere Methode wurde die Ultraschallfraktionierung eingesetzt. Mit einer hochpräzisen, für Materialtests entwickelten Ultraschallanlage wurde 10 g Feinboden zu 200 ml deionisiertem Wasser hinzugegeben. Unter ständigem Rühren wurde die Beschallung (Sonde aus Titanlegierung mit ø 30 mm und einer Eintauchtiefe von 10 mm) bei einer Frequenz von 19,2 kHz und einer Vibrationsamplitude von 1,2 µm (SAE TUN et al. 2022) durchgeführt. Es wurden alle Bodenproben jeweils mit den Energiestufen 0, 3 und 60 Joule beschallt. Die unterschiedlichen Energiestufen ergeben sich durch die Zeitdauer der Beschallung. Dazu wurde vorab eine Kalibration mittels Temperaturbestimmung nach MENTLER et al. (2004) und MAYER et al. (2002) im Zeitintervall 0–240 sec durchgeführt. Nach der Beschallung wurde die Bodendispersion mithilfe des Nasssiebverfahrens in die Fraktionen > 250 µm, 250-50 µm und < 50 µm aufgetrennt. Die Fraktion < 50 µm wurde durch Ultrazentrifugation gewonnen. Die Fraktionen wurden anschließend bei 45 °C getrocknet und vermahlen. Die Bestimmung des Kohlenstoff- und Stickstoffgehaltes (C&N) wurde mit einer Einwaage von 3 mg in Zinnkartuschen ausgeführt und die Messung erfolgte mittels EA-IRMS (Elemental Analyser-Isotope Ratio Mass Spectrometry). Für Standorte mit Carbonat im Feinboden wurde vor der Messung ein Fumigationsschritt durchgeführt. Dazu wurden die vermahlenen Proben in Silberkartuschen eingewogen und – offen in einem Exsikkator platziert – 12 M HCl für 6 Stunden hinzugestellt (HARRIS et al. 2001). Anschließend erfolgte die Messung des organischen Kohlenstoffs (Corg).

Ergebnisse und Diskussion

Durch die Auswertung der STA konnten Unterschiede zwischen den Managementpraktiken beobachtet werden. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, ist der Massenverlust beim Pionierboden stärker ausgeprägt, was auf einen größeren Anteil an organischer Substanz hindeutet. Um den Bereich der organischen Substanz zu erkennen, wird in der Literatur eine Betrachtung bei ca. 350 °C empfohlen. Durch das DSC-Signal kann zwischen endo- (verbraucht Energie, Kurvenverlauf zeigt nach unten) und exothermer Reaktion (erzeugt Energie, Kurvenverlauf zeigt nach oben) unterschieden werden. So zeigt sich der größte Peak im DSC-Signal bei beiden Managementvarianten bei ca. 335 °C. Weiters können in der DSC-Kurve sogenannte Schultern erkannt werden. Diese deuten im Temperaturbereich von 410 bis 430 °C auf stabile bzw. zwischen 490 bis 520 °C auf refraktäre organische Substanz hin. CHAUHAN et al. (2020) treffen folgende Eingrenzungen: bis 100 °C deutet die Massenänderung auf den Wasserverlust hin, von 200 bis 400 °C auf den thermischen Abbau von organischer Substanz. In Temperaturbereichen von 400 bis 580 °C wird die Massenänderung in Zusammenhang mit dem Abbau rekalzitranter (schwer abbaubarer) organischer Bestandteile gebracht. Von 580 bis 640 °C tritt die sogenannte Dehydroxylierung auf. Zusätzlich erlaubt die Methode die Determinierung von Carbonat, dargestellt im Diagramm bei ca. 750 °C. In LOPEZ-CAPEL et al. (2005) wurde bereits auf die hohe Sensitivität der STA verwiesen, denn dort konnte sowohl im DSC- und TG-Signal zwischen unbehandelten und gedüngten Böden unterschieden werden.

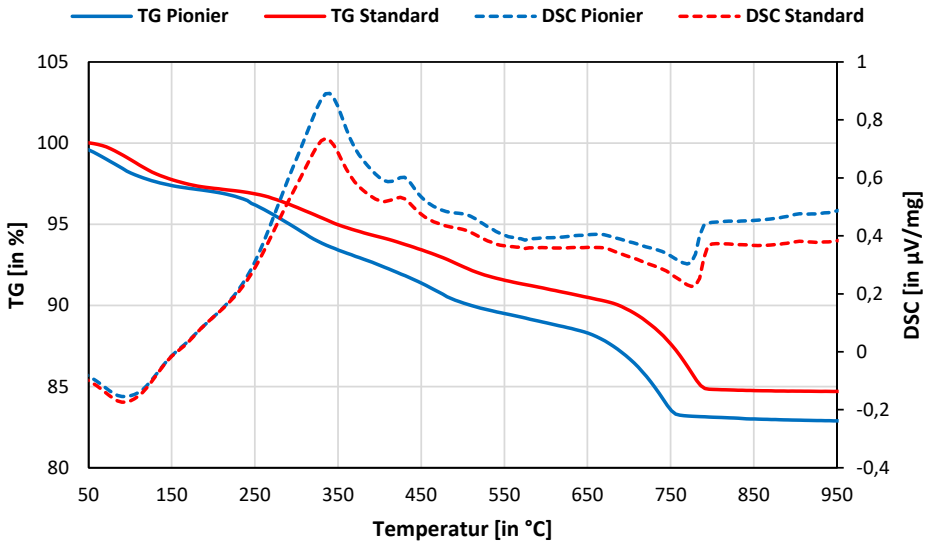


Abbildung 1: **Massenverlust (TG, durchgehende Linien) und DSC-Signaländerung (DSC, gestrichelte Linien) des Feinbodens am Standort Absdorf bei den Managementpraktiken Pionier und Standard**

Aufbauend auf den durch die STA ermittelten Massenverlust (in 10 °C Schritten) und die C- und N-Elementaranalysen von 23 Bodenproben konnten Korrelationsanalysen durchgeführt werden (Abbildung 2). Die errechneten Korrelationskoeffizienten zeigen im Temperaturbereich von 300 bis 309 °C den stärksten Zusammenhang zwischen Massenänderung und organischem Kohlenstoff. Jedoch ist festzuhalten, dass in einem durchaus größeren Temperaturbereich starke Korrelationen zwischen dem Masseverlust und Corg sowie N erwartet werden können. Diese starken Zusammenhänge werden in Abbildung 2 durch den Kurvenverlauf zwischen 300 und 400 °C sichtbar. Diese Erkenntnisse erlauben somit eine Abschätzung des organischen Kohlenstoffs mittels der Massenänderung in unterschiedlichen Temperaturbereichen. KUČERÍK et al. (2020) konnten im Temperaturbereich von 350 °C die stärkste Korrelation zum organischen Kohlenstoff beobachten und bei 290 °C zum Stickstoff.

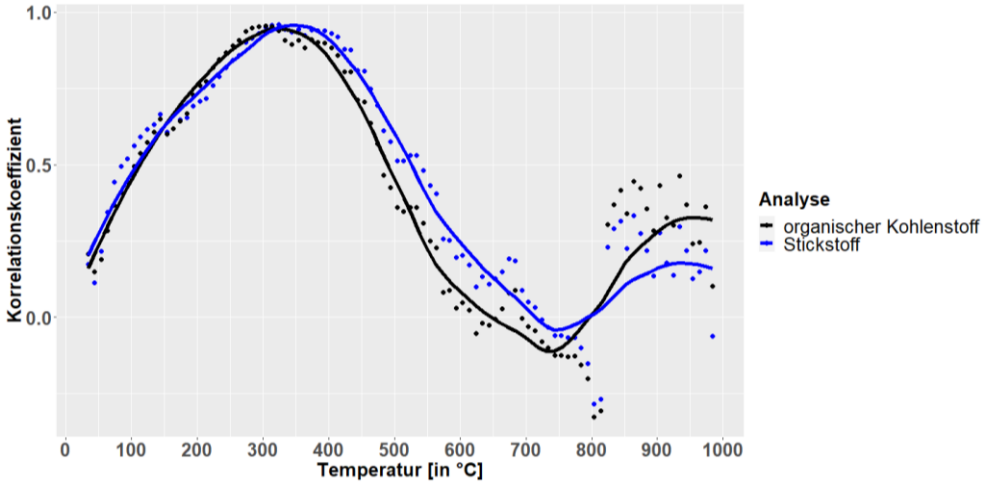


Abbildung 2: **Korrelationskoeffizienten zwischen der absoluten Massenänderung (in 10 °C Schritten) bei der STA und ausgewählten Bodenanalysen.**

Darüber hinaus gibt es Auswertungsformen, welche die Massenänderung in weiteren Temperaturbereichen bspw. von 180 bis 450 °C mit dem organischen Kohlenstoff korrelieren (KRISTL et al. 2016). In dieser Studie konnte auch eine signifikante Korrelation (R^2=0,96) zwischen der Massenänderung von 500 bis 800 °C und dem anorganischen Kohlenstoff berechnet werden. Auszugsweise wird in Abbildung 3 die lineare Regression zwischen der Massenänderung (STA) im Temperaturbereich von 300 bis 309 °C und dem organischen Kohlenstoff dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass die STA eine gute Abschätzung (R^2 = 0,91) des organischen Kohlenstoffs erlaubt und darüber hinaus auch die Sensitivität hinsichtlich des Standorts und des Managements gewährleistet.

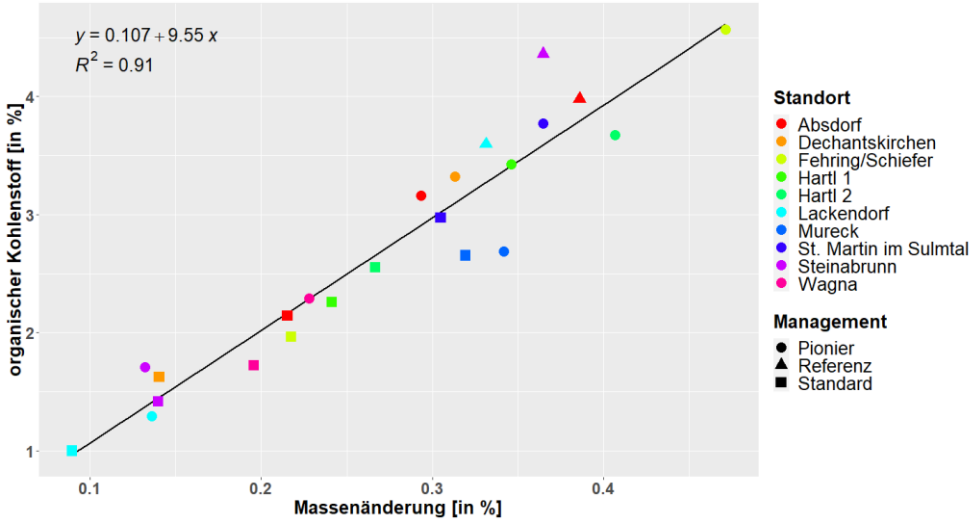


Abbildung 3: **Zusammenhang zwischen der durch STA bestimmten Massenänderung im Temperaturbereich von 300 bis 310 °C und organischem Kohlenstoff im Feinboden.**

Durch die Fraktionierung konnten Einblicke in die Massenverteilung der Fraktionen > 250 µm, 250-50 µm und < 50 µm gewonnen werden. Durch die Anwendung der drei verschiedenen Energiestufen konnten Managementunterschiede in den Fraktionen nachgewiesen werden. Der Unterschied konnte zwischen der jeweils gleichen Fraktion und der Managementvariante Pionier zu Standard nur bei der 0 Joule Variante (Fraktion: > 250 µm und 250-50 µm) mit entsprechenden Signifikanzen (Wilcoxon-Rangsummentest, p=0,084 bzw. p=0,037) festgestellt werden. Diese Ergebnisse würden für eine Ultraschalldispergierung im Niedrigenergiebereich sprechen. Um detailliertere Erkenntnisse für diese Dynamik zu gewinnen, empfiehlt sich nicht nur ein Blick auf die Massenverteilung, sondern es sollte auch die CN-Analyse auf Fraktionsebene forciert werden. Das wäre ein zukunftsfähiger Ansatz, um eine konsistente

Ultraschalldispergierungsmethode etablieren zu können, welche in der Lage ist, relevante Fragen betreffend der Klimastabilität und der Bodenstruktur zu beantworten.

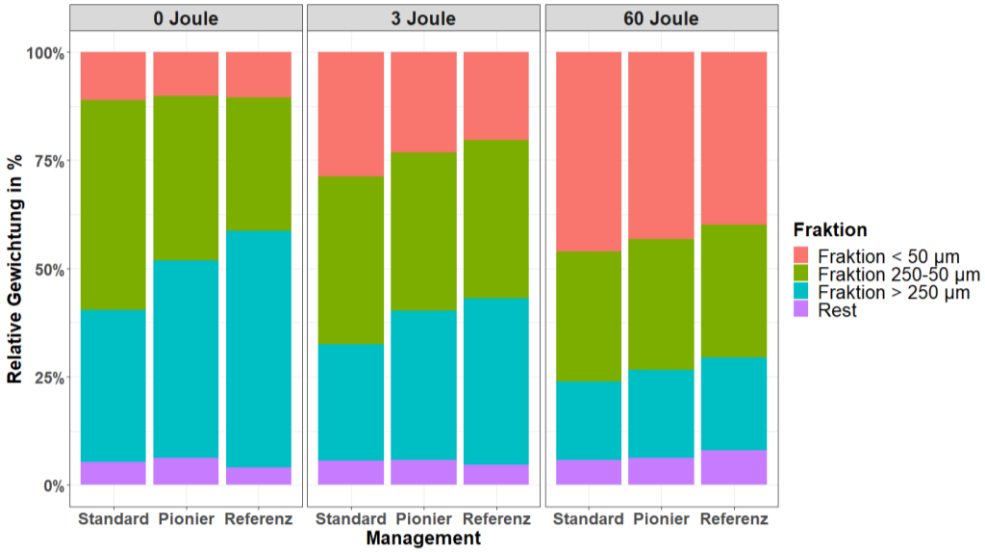


Abbildung 4: **Fraktionsanteile bei unterschiedlichen Managementvarianten und bei verschiedenen Ultraschall-Energiestufen.**

Zusammenfassung

Die simultane Thermoanalyse (STA) und die Ultraschallfraktionierung erlauben detaillierte Einblicke in die Stabilität von Kohlenstoff im Boden und in die Bodenstruktur. Darüber hinaus gewährleisten die Methoden die Sensitivität hinsichtlich verschiedener Standorte (Änderungen in der Bodentextur) und ermöglichen die Differenzierung zwischen verschiedenen Managementpraktiken. Somit kann dieser Untersuchungsansatz einen wertvollen Beitrag zur EU Mission Soil Health leisten. Als Fazit lässt sich festhalten, dass die STA und die Ultraschallfraktionierung ein möglicher Schlüssel für ein innovationsbasiertes Monitoring ist. Struktur und Fruchtbarkeit sind im Boden für LandwirtInnen von Interesse, hier können mit der STA und Ultraschallfraktionierung wichtige Basisinformation geliefert werden.

Abstract

In this study, simultaneous thermal analysis (STA) and ultrasonic fractionation were used to evaluate the effect of different arable management practices (standard vs. pioneer farming management) on the stability of soil organic carbon and its fractions. Management systems were compared at ten different sites in Lower Austria and Styria. We conclude that the methods ensure sensitivity with respect to different sites (changes in soil texture) and allow differentiation between diverse agricultural management practices. Thus, STA and ultrasonic fractionation are a potential key for innovation-based monitoring in applied soil management. Soil structure and fertility are of main interest to farmers, the STA and ultrasonic fractionation can provide important and meaningful information on the stability of soil organic carbon.

Literatur

CHAUHAN R, KUMAR R, DIWAN PK, SHARMA V (2020): Thermogravimetric analysis and chemometric based methods for soil examination: Application to soil forensics. Forensic Chemistry, 17, 100191. https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100191.

EUROPEAN COMMISSION, DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION (2021): research & innovation for healthy soils & forests, Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2777/563218.

HARRIS D, HORWÁTH WR, KESSEL C (2001): Acid fumigation of soils to remove carbonates prior to total organic carbon or CARBON-13 isotopic analysis. Soil Science Society of America Journal, 65(6), 1853–1856. https://doi.org/10.2136/sssaj2001.1853.

KUČERÍK J, SVATOŇ K, MALÝ S, BRTNICKÝ M, DOLEŽALOVÁ-WEISMANNOVÁ H, DEMYAN MS, SIEWERT C, TOKARSKI D (2020): Determination of soil properties using thermogravimetry under laboratory conditions. European Journal of Soil Science, 71(3), 415–419. https://doi.org/10.1111/ejss.12877.
LOPEZ-CAPEL E, BOL R, MANNING DAC (2005): Application of simultaneous thermal analysis mass spectrometry and stable carbon isotope analysis in a carbon sequestration study. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 19(22), 3192–3198. https://doi.org/10.1002/rcm.2145.
MAYER H, MENTLER A, PAPAKYRIACOU M, RAMPAZZO N, MARXER Y, BLUM WEH (2002): Influence of vibration amplitude on the ultrasonic dispersion of soils. International Agrophysics, 16(1), 53–60.
MENTLER A, MAYER H, STRAUSS P, BLUM WEH (2004): Characterisation of soil aggregate stability by ultrasonic dispersion. International Agrophysics, 18(1), 39–45.
SAE-TUN O, KEIBLINGER KM, ROSINGER C, MENTLER A, MAYER H, BODNER G (2022): Characterization of aggregate-stabilized dissolved organic matter release - A novel approach to determine soil health advances of conservation farming systems. Plant and Soil. https://doi.org/10.1007/s11104-022-05713-w.

Adressen der Autoren

[1] Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Konrad Lorenz Straße 24, A-3430 Tulln

[2] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[3] Institut für Physik und Materialwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[4] Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[*] Ansprechpartner: DI Sebastian WIESER, sebastian.wieser@boku.ac.at

Biostimulanzien: Entwicklung einer Untersuchungs-Pipeline zur Überprüfung physiologischer Wirkmechanismen

Biostimulants: Development of a testing pipeline for physiological modes of action

Gernot Bodner[1], Markus Freudhofmaier[2], Dominik Grosskinsky[3], Erwin Pfundtner[4], Markus Gorfer[3]

Einleitung

Biostimulanzien haben das Ziel, natürlichen Mechanismen im Boden und/oder der Pflanze zu stärken. Biostimulanzien umfassen damit eine breite Palette von Produkten, die Stressresistenz, Ertrag und Qualität ackerbaulicher Kulturen verbessern soll (YAKHIN et al., 2017)

Seit 2019 sind Biostimulanzien in der Europäischen Düngemittelverordnung geregelt. Darin ist festgelegt, dass damit Produkt mit folgenden Wirkungen erfasst werden: (1) Steigerung der Effizienz der Nährstoffverwertung der Pflanzen, (2) Verbesserung der Toleranz gegenüber abiotischem Stress, und/oder (3) Verbesserung von Qualitätsmerkmale oder Verfügbarkeit von Nährstoffen im Boden oder der Rhizosphäre. Ziel von Biostimulanzien ist demnach, die Effizienz der Pflanzenernährung zu verbessern und damit auch positive Umweltleistungen (z.B. geringere Nährstoffeinträge) zu erzielen. Den hier angesprochenen Wirkungen unterliegen jedoch äußerst komplexe pflanzenphysiologische Prozesse, deren Messung bisher insbesondere im Freiland eine große Herausforderung darstellte.

In der mit 16. Juli 2022 in Kraft getretenen Verordnung ist vorgesehen, dass sämtliche Produkte der Produktfunktionskategorie Biostimulanzien vor dem Inverkehrbringen einen positiven Nachweis ihrer Wirkung erbringen müssen. Bei einer stetig steigenden Anzahl an in Verkehr gebrachten Biostimulanzien stellt dies eine große Herausforderung dar, die bisher trotz Bemühungen durch die entsprechenden Arbeitsgruppen des Technischen Komitees CEN/TC 455 nur unzureichend gelöst ist.

Im Folgenden wird daher der Ansatz einer Untersuchungspipeline vorgestellt, die durch Nutzung moderner digitaler Methoden ermöglichen soll, gezielt und auf verschiedenen Skalen mit ausreichendem Durchsatz die in der Düngemittelverordnung angesprochenen pflanzenphysiologischen Wirkungen festzustellen.

Material und Methoden

Biostimulanzien-Produkte: Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Produkte (Namen sind anonymisiert), anhand derer verschiedene methodische Ansätze getestet wurden. Die Produkte wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt: (1) Abdeckung aller relevanten Produktgruppen, (2) klare Beschreibung der aktiven Komponenten und (3) Vorliegen publizierter wissenschaftlicher Studien, die die potenzielle Wirkung darlegen.

Untersuchungsskalen: Die Produkte sowie eine unbehandelte Kontrolle wurden auf drei Skalen mit den Kulturen Mais und Weizen getestet (Abb. 1). Im Freiland *(Feldskala)* wurden an drei Standorten (Hollabrunn, Obersiebenbrunn, Pyhra) Exaktversuche in vier Wiederholungen angelegt.

Im Glashaus wurden die Produkte (hier nur ein Algenprodukt) in der Phenotyping-Anlage „Phenoplant" des Vienna Biocenter Core Facility (VBCF) ebenfalls in vier echten Wiederholungen analysiert *(Glashausskala)*, wobei gezielt Wasserstress (ausreichend: 35 Vol. % = Wassergehalt bei 100 hPa *vs.* Trockenstress: 15 Vol. % = Wassergehalt bei 1000 hPa) und Phosphormangel (hohe Versorgung durch

Hinzufügen von Superphosphat zu dem natürlich P-armen Topfsubstrat *vs.* niedrige Versorgung) getestet wurden. Die Versuchsdauer lag bei einem Monat (Entwicklungsstadium ca. BBCH 32) bis zu einer limitierenden Wuchshöhe von etwa 60 cm bei Körnermais.

In einer Wuchskammer *(Laborskala)* werden derzeit Schnelltests (Versuchsdauer 2 Wochen) durchgeführt, bei denen die Produktwirkung in verschiedenen Bodenumwelten untersucht wird. Dazu werden Böden variabler Textur und Humusgehalte verwendet, wobei hier gezielt der Effekt des endemischen Mikrobioms als Konkurrenz für die Etablierung und Wirkung von mikrobielle Biostimulanzien analysiert wird (natürliches Mikrobiom *vs.* Gammastrahlensterilisation).

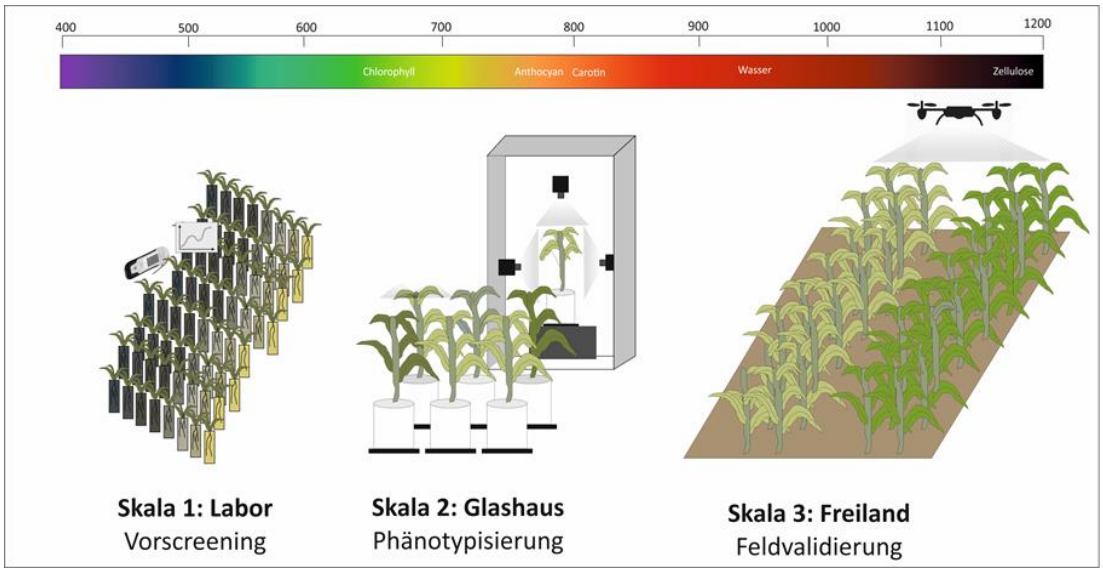


Abbildung 1: **Konzept der Prüfpipeline für die physiologische Wirkung von Biostimulanzien über Imaging-Methodem.**

Tabelle 1: **Biostimulanzien-Produkte unterschiedlicher Produktgruppen und aktiver Komponenten, dieim Rahmen der Methodenentwicklung untersucht wurden.**

Kürzel	Produktgruppe	Aktive Komponenten	Anwendungsart	Wirkung
Alge1	Algenextrakt	*Ascophyllum nodosum*	Blattapplikation	Wurzelwachstum Stressreduktion
Alge2	Algenextrakt	*Ecklonia maxima*	Blattapplikation	Wurzelwachstum, Stressreduktion
Extrakt	Pflanzliche Sekundär-metaoliten	Flavonoide	Saatgutbehandlung	Keimung, Wurzelwachstum, Stressreduktion
Mikro1	Mikroorganismen	*Bacillus amyloliquefaciens*	Saatgutbehandlung	Wachstumsförderung, Stressresistenz
Mikro2	Mikroorganismen	Arbuskuläre Mykorrhizapilze	Saatgutbehandlung	Mykorrhizierung
Mikro3	Mikroorganismen	*Azotobacter vinelandii, Azospirillum lipoferum, Bacillus subtilis, Bacillus megaterium*	Bodenapplikation	Stickstoffbindung, Phosphor- und Kalium-mobilisierung

Messmethoden: Um die in der Düngemittelverordnung angesprochenen physiologischen Reaktionen der Pflanzen hinsichtlich Stressresistenz und Nährstoffaufnahme effizient auf allen Skalen zu beschreiben, werde - neben der Erfassung der Trockenmasse (Labor- und Glashausskala) sowie des Ertrags (Feldskala) - spektrale Signaturen aus der Fernerkundung und dem Phenotyping verwendet. Diese umfassen RGB-Bilder für die Pflanzenentwicklung und morphologische Bonitur, VIS-NIR Spektroskopie für Indices, die Pflanzenvitalität, Stickstoffversorgung, Phosphormangel sowie Wasserstatus zeigen, sowie thermales Imaging für Wasserstress. Zur Validierung werden diese mit direkten Messungen der N- und P-Aufnahme sowie der Kohlenstoffisotop-Diskriminierung als Wasserstress-Indikator verglichen. (*Diese Auswertungen sind derzeit am Laufen.*) Die Messungen nutzen Drohnen für die Feldskala, eine voll automatisierte Phenotyping-Anlage für die Glashausskala und einfache Handmessgeräte für die Laborskala. Im Beitrag werden beispielhalft erste Ergebnisse der Messdaten aus der Glashaus- sowie Feldskala gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Glashausskala: Abbildung 2 zeigt die Trockenmasse sowie den NDVI von Mais und Weizen aus den Versuchen in der Phenotyping-Anlage des VBCF. Beide Kulturen zeigen signifikante Unterschiede aufgrund der Behandlungen sowohl in der Trockenmasse als auch im NDVI. Dabei war jedoch kein allgemein stimulierender Effekt der Biostimulanzien zu erkennen. Bei Weizen lag ein *Bacillus*-Produkt in den beiden Parametern am höchsten, ein Produkt mit verschiedenen Mikroorganismen am niedrigsten. Bei Mais waren die Unterschiede zwischen den Behandlungen geringer ausgeprägt, wobei ebenfalls das Produkt mit verschiedenen Mikroorganismen die geringsten Werte zeigte. Der NDVI, der hier beispielhalft als häufig verwendeter Index für die Blattvitalität angeführt ist, zeigt in beiden Fällen einen signifikanten Zusammenhang mit der gebildeten Trockenmasse (Abb. 3)

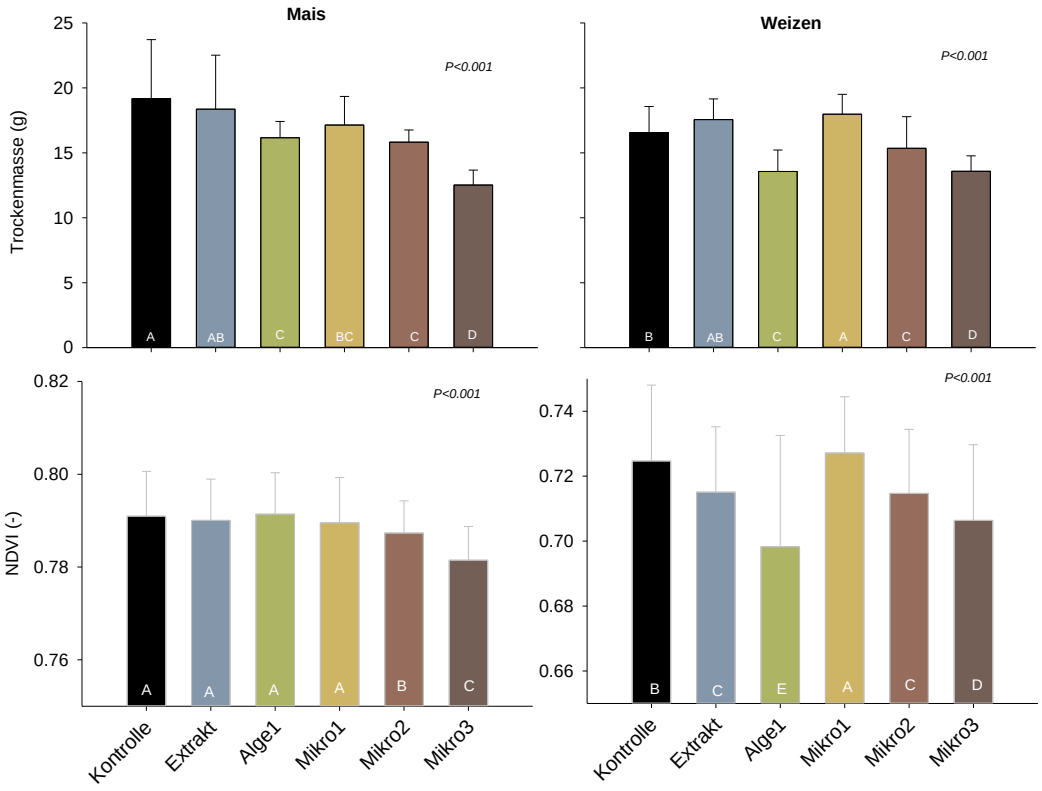


Abbildung 2: **Trockenmasse und NDVI von Weizen und Mais bei Anwendung von Biostimulanzien im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle in der Phenotyping-Anlage Phenoplant des VBCF.**

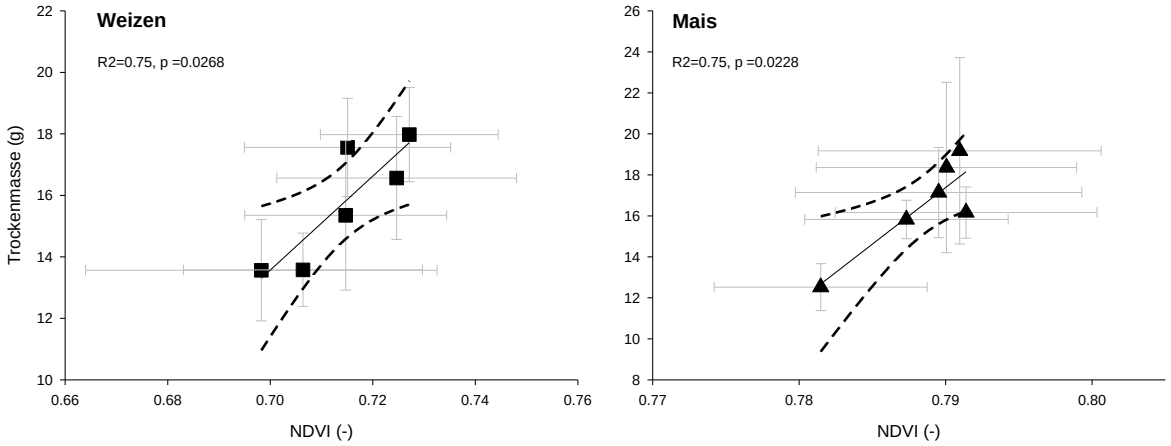


Abbildung 3: **Regression des mittleren NDVI mit der gebildeten Trockenmasse von Weizen und Mais im Glashaus-Phenoytping-Versuch.**

Feldskala: Abbildung 4 zeigt beispielhalft eine Drohnenaufnahme und Ergebnisse aus dem Feldversuch in Pyhra. Im Allgemeinen wurde in den Feldversuchen an keinem Standort ein signifikanter Einfluss der Biostimulanzien auf den Ertrag nachgewiesen. Eine erste Auswertung der spektralen Indices zeigte, dass der GRVI (Verhältnis von NIR 780:1400 nm und Grünbereich 490:570 nm) einen sehr guten Zusammenhang mit den Ertragsergebnissen der einzelnen Varianten zeigte.

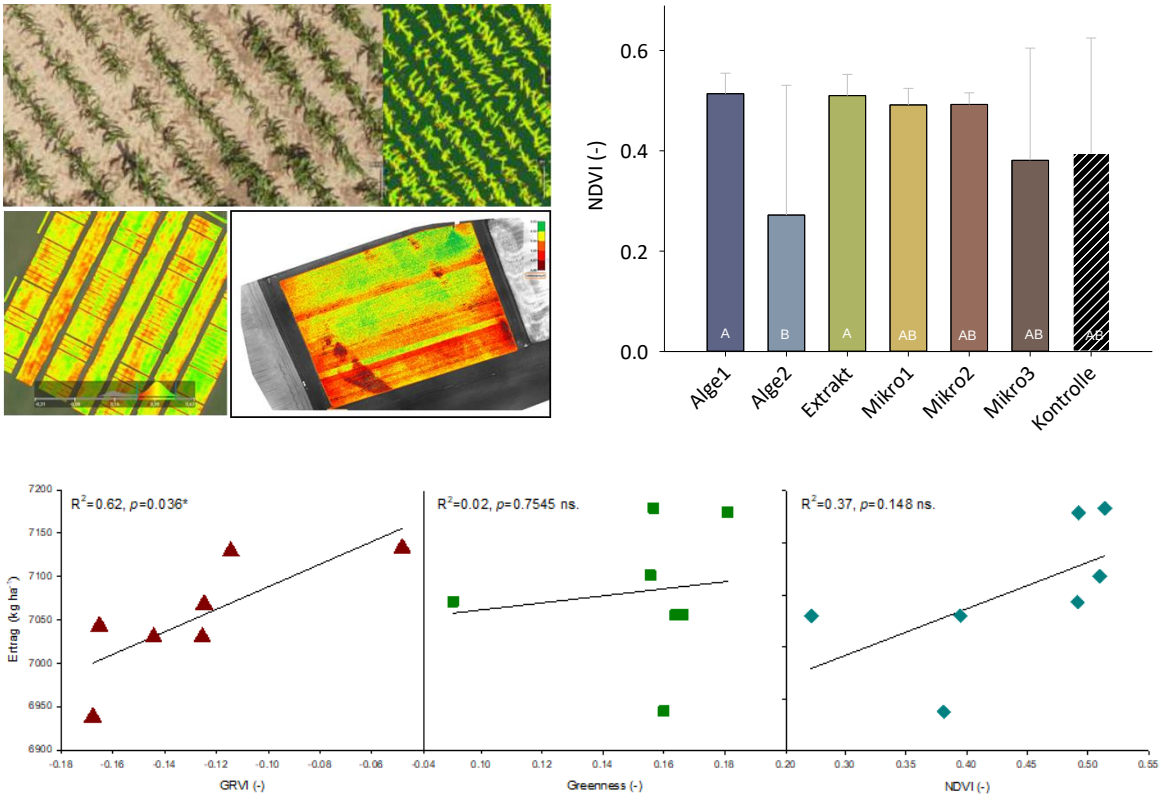


Abbildung 4: **Beispiel von Drohnenaufnahmen am Standort Pyhra (*Blickwinkel. Ingenieurbüro für Digitale Landwirtschaft*; links oben), NDVI der Biostimulanzien-Behandlungen (rechts oben) und Zusammenhang verschiedener spektraler Indices mit dem Kornertrag von Winterweizen (unten).**

Zusammenfassung

Die erste Ergebnisse der Arbeit zeigen (1) dass in den Feldversuchen keine Wirkung der untersuchten Biostimulanzien auf den Ertrag von wichtigen Ackerkulturen nachzuweisen war, (2) in Glashausversuchen einzelne Produkte eine stimulierende Wirkung auf die Trockenmasse zeigten, andere jedoch die Trockenmasse auch signifikant reduzierten, und (3) die vorgeschlagene Nutzung von spektralen Methoden einen effizienten Ansatz bieten, potenziell wachstumsfördernde physiologische Mechanismen zu erfassen. Die weiteren Auswertungen werden Verbindungen der Messindikatoren zwischen den einzelnen Skalen analysieren, um aus den feststellbaren Wirkmechanismen eine Prognose der erwartbaren Wirkung von Biostimulanzien im Ackerbau zu ermöglichen.

Abstract

First results of the work show (1) that in field trials no effect of the studied biostimulants on yield of important arable crops could be found, (2) in greenhouse trials some products showed a stimulating effect on dry matter production, but others also significantly reduced dry matter, and (3) the proposed use of spectral methods offers an efficient approach to capture potentially growth-promoting physiological mechanisms. Further evaluations will analyse connections of the measurement indicators between the individual scales in order to enable a prognosis of expected effect of biostimulants in arable farming based on the testified modes of action.

Literatur

YAKHIN O I, LUBYANOV A A, YAKHIN I A, BROWN P H (2017). Biostimulants in plant science: a global perspective. Frontiers in Plant Science 7, 2049.

Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „Biostim: Entwicklung einer Prüfmethode der pflanzenbaulichen und bodenbiologischen Wirkung von Biostimulanzien“ (Dafne Projektnummer 101690), das vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft gefördert wird.

Adressen der Autoren

[1]Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, 3430 Tulln

[2] RWA Raiffeisen Ware Austria, Raiffeisenstraße 1, 2100 Korneuburg

[3]AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau

[4] Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, 1220 Wien, Spargelfeldstraße 191

[*] Ansprechpartner: Gernot BODNER gernot.bodner@boku.ac.at

Effekte von Struvit und N-modifizierten Zeolithen auf Nährstoff-kreisläufe in sandigen Ackerböden

Effects of struvite and N-modified zeolites on nutrient cycling in sandy arable soil

Giulio Galamini[1], Giacomo Ferretti[2], Christoph Rosinger[3,4], Sabine Huber[3], Valeria Medoro[2], Axel Mentler[4], Eugenio Diaz-Pines[4], Markus Gorfer[5], Barbara Faccini[2], Massimo Coltorti[2], Katharina M Keiblinger[3,*]

Einleitung

Der Einsatz von alternativen Düngern wie zum Beispiel Struvite und N-modifizierte Zeolithe stellen einen interessanten Ansatz der Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten dar.
Struvit und K-Struvit sind innovative Düngemittel, die in der neuen Kategorie CMC 12 (EU 2021/2086; EU 2019/009) enthalten sind und besonders wertvoll sind, um Pflanzen mit essentiellen Nährstoffen wie N, K, Mg und P zu versorgen. Außerdem kann Struvit aus der Abwasserbehandlung möglicherweise weitere essentielle Mikronährstoffe für Pflanzen liefern, wie B, Zn, Mn und Fe.
Allerdings ist die Herstellung von Struvit aus Tiergülle oder Gärresten auf den EU-Märkten noch nicht erlaubt, obwohl sich dies wahrscheinlich ändern wird, da die die Entwicklung effektiver Recyclingstrategien für die landwirtschaftliche Nachhaltigkeit von entscheidender Bedeutung ist und die Nachfrage nach zirkulären Ressourcen steigt. Sowohl Struvit als auch Zeolithe wurden in der Abwasserbehandlung umfassend untersucht. Synthetischer Zeolith (NaY), modifiziert mit Mg- und Fe-Oxiden, wurde kürzlich zur Verbesserung der Struvit-Ausfällung eingesetzt (Lu et al., 2022). Eine langsamere N-Freisetzung von Struvit und N-angereichertem Chabazit-Zeolith im Vergleich zu Gärresten und Harnstoffdünger wurde in einem Säulenexperiment mit Sandboden berichtet (Ferretti et al., (2022). In dieser Studie untersuchten wir die Auswirkungen innovativer Struvit- und N-zeolithischer Tuffe aus der Abwasserbehandlung auf die N-Dynamik im Boden. Das Ziel ist es mit Hilfe dieser alternativen Düngemittel den Verlust von Stickstoff aus dem landwirtschaftlichen System zu reduzieren, und damit Nährstoffverluste und Umweltbelastungen in Form von Nitratauswaschungen oder gasförmigen Verlusten zu minimieren.

Material und Methoden

Ein saurer (pH 5.3), sandiger (9,5% Ton, 34,5% Schluff, 56% Sand) landwirtschaftlicher Boden (0-50 cm) wurde ausgehoben und in Boxen ins Labor transportiert, für einen Laborversuch. Der Boden wurde gesiebt (<2 mm) und anschließend in 50 mL Zentrifugenröhrchen überführt. Weiters wurden zwei verschiedene Zeolithe (Klinoptilolith, und Chabazit, mit anaeroben flüssigem Biogas-Gärrest (aus Milchtierhaltung und Titricale) beladen. Die Eigenschaften der Zeolithe sind in Tabelle 1 gegeben. Aus demselben Gärrest wurde auch Struvit gefällt gewonnen. Es wurden danach 6 verschiedene Behandlungen hergestellt für die weiteren Untersuchungen: 1) Kontrollboden ohne Zusatz, 2) Boden mit Gärrest (D) 3) Boden mit Sturvit (S) 4) Boden mit Struvit und natürlichem Klinoptilolith (S.CL) 5) Boden mit Struvit und natürlichem Chabazit (S.CH) 6) Boden mit 10% N-modifiziertem Klinoptilolith (CZ.CL) und 7) Boden mit 10% N-modifiziertem Chabazit-Zeolith (CZ.CH). Außer der Kontrollvariante erhielten alle Varianten dieselbe Menge an N.
Die kurzfristige Auswirkung dieser Zusätze auf N-Konzentrationen, Umsetzungsraten (Bruttomineralization, und Nitrifikation), der mikrobiellen Biomasse sowie den daran beteiligten Genen und möglichen Verlusten via N-Gase wurde untersucht. Die Bruttomineralisation und Nitrifikation wurde anhand der ^{15}N-Pool-Verdünnungstechnik wie in Braun et al. 2018 ermittelt, und die Messung der Isotopen in NH_4 und NO_3 nach Diffusion auf angesäuerten Filterpapieren (Masse et al., 2016) mittels EA-IRMS im kontinuierlichen Durchflussmodus bestimmt. Die Gasflüsse wurden mittels automatisierter Inkubationssysteme wie in Deltedesco et al. (2019) ermittelt. Für die Quantifizierung der Gene, wurde zuerst Boden DNS extrahiert mit DNeasy PowerLyzer PowerSoil Kit, und anschließend die Gene für mikrobielle Nitrifikation als auch archaeale bzw. bakterielle A*amoA* (A*amoA* bzw. B*amoA*) und Denitrifikation (*nirK*, *nirS*) mittels quantitativer digital droplet Polymerasekettenreaktion (ddPCR) gemessen (Gorfer et al 2022).

Tabelle 1 **Eigenschaften der verwendeten zeolithischen Tuffe Chabazit (CH) und Clinopptioloth (CL), Partikelgrößenverteilung (PSD); quantitative Phasenanalyse (QPA); Kationenaustauschkapazität (KAK); Gesamtzeolithgehalt (TZC); KAK der zeolithischen Tuffe wurde nach Malferrari et al. (2013) bestimmt, bzw. beziehen sich auf Herstellerangaben.**

CH zeolitic tuff					
PSD (µm)	(%)	**QPA**	(%)	**KAK** (mEq/g)	
500-250	0.0	Chabazit	71.3	Ca^{2+}	1.46
250-125	0.0	K-Feldspat	13.8	K^{+}	0.60
125-63	0.132	Phillipsite	4.71	Na^{+}	0.07
63-3.9	57.1	Phlogopite	2.43	Mg^{2+}	0.04
< 3.9	42.7	Quarz	1.22		
		Glass	6.73		
		TZC	76.0	KAK	2.17
CL zeolitic tuff					
PSD (µm)	(%)	**QPA**	(%)	**CEC** (mEq/g)	
500-250	0.093	Klinoptilolith	53.9	Ca^{2+}	0.54
250-125	0.341	tryd.+ crist.	11.8	K^{+}	0.12
125-63	4.31	Muscovite	7.12	Na^{+}	0.06
63-3.9	73.4	Quarz	4.33	Mg^{2+}	0.05
< 3.9	21.9	Plagioclase	3.71		
		Calcite	3.64		
		Glass	15.6		
		TZC	53.9	KAK	0.78

Ergebnisse und Diskussion

In dieser Studie untersuchten wir die Auswirkungen innovativer Struvit- und N- N-modifiziertem Zeolithe auf die N-Dynamik im Boden. Der gelöste Gesamtstickstoff (TDN) liegt zu einem Großteil in Form von NO_3-N vor, und stieg erwartungsgemäß mit der Zugabe an Düngern an (Abb. 1 links). Der gelöste organische N (DON) ist hauptsächlich durch Lösung des organischen Bodenstickstoffs aufgrund der Bodenalkalisierung und möglicherweise auch auf Priming-Effekte.

Der mikrobielle Stickstoff (N_{mic}) stieg in S.CH und CZ.CL im Vergleich zur Kontrolle um ~ 89 % (Abb. 1 rechts); dies deutet darauf hin, dass ein Teil des hinzugefügten N wahrscheinlich in mikrobielle Biomasse N umgewandelt wurde. Der N-angereicherte Zeolith bewirkte die mikrobielle Assimilation von NH_4. Der N_{mic}-Anstieg geht vermutlich mit einer Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft einher aufgrund von: (1) optimalem pH-Wert, (2) verfügbarem C- und N-Substrat, (3) bevorzugter Lebensraum (d. h. aufgrund höherer KAK und Mikroporosität) oder (4) erhöhte Verfügbarkeit von Makro- oder Mikronährstoffen.

Bei einer Dosierung von 10 % verringerte der zeolithische Klinoptiololith jedoch die mikrobielle Biomasse aufgrund der Schwefeltoxizität. Die NH_4-Produktionsraten lagen nahe bei null (Abb. 2 links). Die Nitrifikation wurde wahrscheinlich durch Düngemittel stimuliert, wie aus den allgemeinen steigenden Trends für den Brutto-NO_3–-Verbrauch und die Produktionsraten hervorgeht, die aus Abb. 2 ersichtlich sind. Sowohl der Nährstoffeintrag als auch die Alkalisierung haben wahrscheinlich den NO_3–-Umsatz beschleunigt. Struvite stimulierten oxidative Prozesse und die entsprechenden Genabundanzen (BamoA und nirK, Abb. 3).

Die durch Behandlungen induzierte pH-Verschiebung war der Hauptantriebsfaktor für Veränderungen der N-Dynamik im Boden. Der Einsatz von Struvit und N-Zeolithen kann die Auswirkungen von Auswaschung verringern und die Nährstoffübertragung erleichtern.

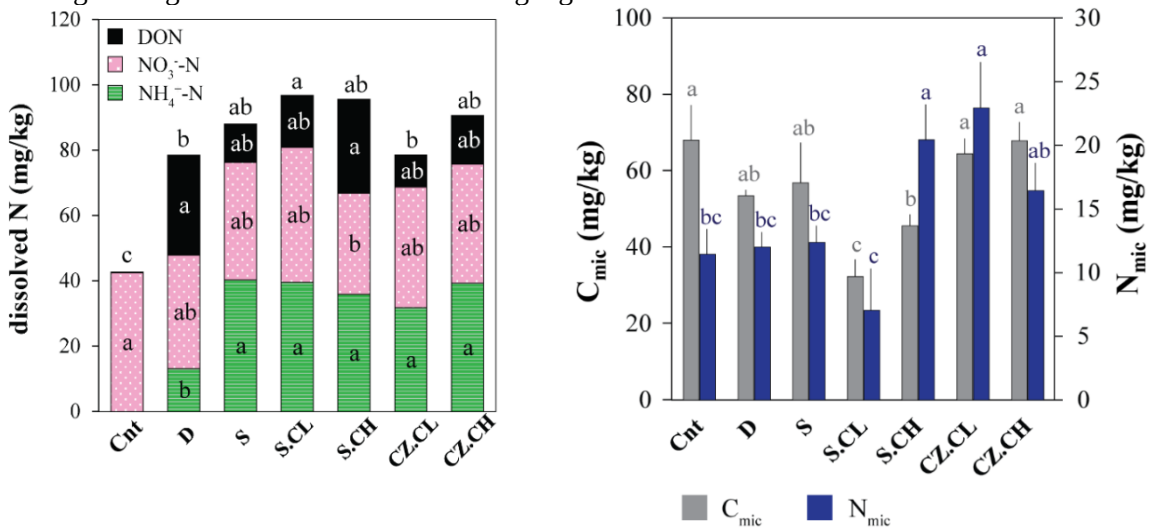


Abbildung 1 **(links) Konzentrationen gelöster N-Spezies in Behandlungen und Kontrollen (NH_4-N, NO_3-N und DON); volle Säulen stellen den gelösten Gesamtstickstoff dar (rechts) Mikrobielle Biomasse C bzw. N. Zwei oder mehr Behandlungen unterscheiden sich signifikant voneinander, wenn kein Buchstabe gemeinsam ist (p < 0,05). Fehlerbalken geben Standardabweichungen an.**

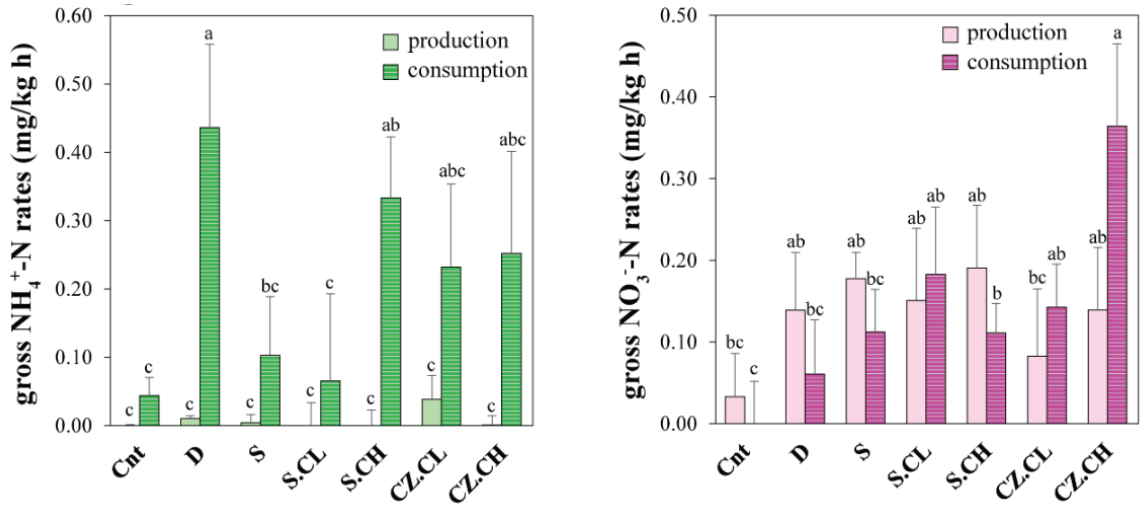


Abbildung 2 **Bruttoproduktions- und -verbrauchsraten für NH_4-N (links) und Bruttoproduktions- und -verbrauchs-NO_3-N-Raten (rechts). Signifikante Unterschiede (p < 0,05), werden durch Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Fehlerbalken geben Standardabweichungen an.**

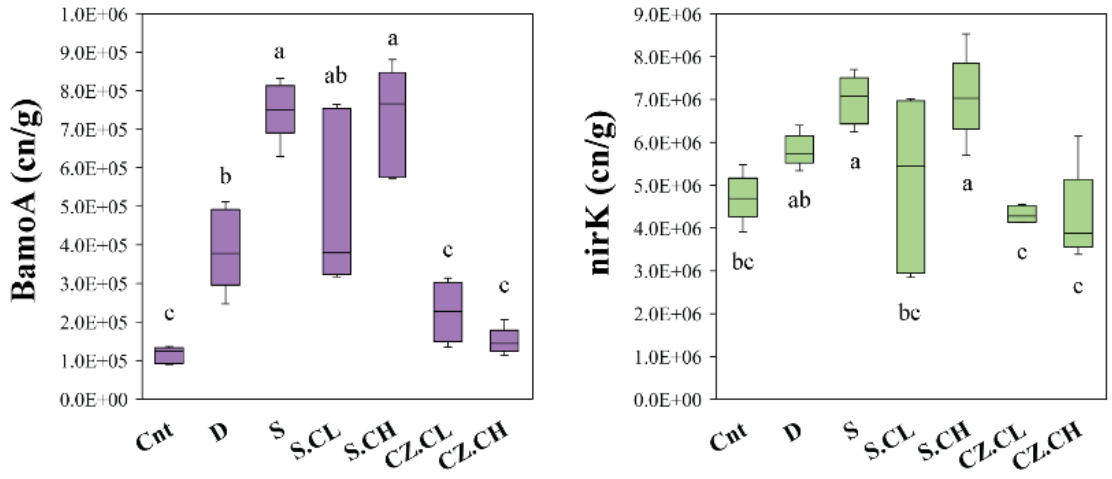


Abbildung 3 **Markergene für Bodennitrifikations- und Denitrifikationsprozesse (cn/g). Gene, die für (links) bakterielle Ammoniakmonooxygenase kodieren (BamoA) (rechts) Nitritreduktase-kodierende Gene: nirK. Signifikante Unterschiede (p < 0,05), werden durch Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Fehlerbalken geben Standardabweichungen an.**

Zusammenfassung

Neuartiger Düngematerialien wie Struvit und N-modifizierte Zeolithe, die aus Abfällen recycelt werden gewinnen zunehmend an Beachtung für landwirtschaftliche Anwendungen. Ihre Auswirkungen auf Nährstoffkreisläufe und die mikrobiellen Bodenprozesse sind allerdings noch weitgehend unbekannt. In einem Laborexperiment, wurden die Effekte von (I+II) zwei natürlichen Zeolithen (Chabazit und Klinoptilolith) als Bodenverbesserer, als auch (III) Struvit und (IV + V) mit Stickstoff beladene Zeolithe, auf den C- und N-Kreislauf und deren (a)biotischen Treiber untersucht. Sowohl Struvit- als auch die N-beladenen Zeolithe wurden durch Abwasserbehandlung von anaeroben Gärresten aus Biogasanlagen gewonnen. Die Behandlungen bewirkten deutliche Veränderungen im Boden pH-Wert. Dies führte zu einer raschen Löslichkeit des Struvit und damit zur Freisetzung von Nährstoffen, die den N-Umsatz über die Bruttonitrifikations- und Denitrifikationsraten ankurbelten. Diese Ergebnisse spiegelten sich auch in den entsprechenden mikrobiellen Markergenen wider. Insgesamt konnten gasförmige Verluste durch die meisten Behandlungen reduziert werden, abgesehen von den NH_3-Emissionen (pH-Effekt). Die beiden natürlichen Zeolithe wiesen teilweise gegensätzliche Wirkung auf, wobei der Chabazit die mikrobielle Biomasse N um bis zu 90 % erhöhte jedoch die Klinoptilolith Anwendung negative Auswirkungen auf die mikrobiellen Prozesse zeigte. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Struvit und Zeolithe potentiell zur Minderung von Nährstoffverlusten aus landwirtschaftlichen Systemen beitragen können.

Abstract

Novel materials such as struvite and N-modified zeolites recycled from waste are gaining increasing attention for agricultural applications. However, their effects on nutrient cycles and microbial soil processes are still largely unknown. In a laboratory experiment, the effects of (I+II) two natural zeolites: Chabazite and clinoptilolite, as a soil improver, as well as (III) struvite and (IV + V) zeolites loaded with nitrogen, were examined for the C and C cycles and their (a)biotic drivers. Both struvite and the N-loaded zeolites were obtained by wastewater treatment of anaerobic digestate from biogas plants. The treatments caused significant changes in soil pH. This resulted in the rapid solubility of the struvite, thereby releasing nutrients that boosted N turnover via gross nitrification and denitrification rates. These results were also reflected in the corresponding microbial marker genes. Overall, gaseous losses could be reduced by most treatments, apart from the NH_3 emissions (pH effect). The two natural zeolites showed partly opposite effects, whereby the chabazite increased the microbial biomass N by up to 90%, but the use of clinoptilolite showed negative effects on the microbial processes. The results indicate that struvite and zeolites can potentially contribute to reducing nutrient losses from agricultural systems.

Literatur

BRAUN J, MOOSHAMMER M, WANEK W, PROMMER J, WALKER TWN, RÜTTING T, RICHTER A (2018): Full ^{15}N tracer accounting to revisit major assumptions of ^{15}N isotope pool dilution approaches for gross nitrogen mineralization. Soil Biology and Biochemistry, 117, 16–26.
DELTEDESCO E., KEIBLINGER KM, NAYNAR M, PIEPHO HP, GORFER M, HERNDL M, BAHN M, PÖTSCH EM, ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S (2019): Trace gas fluxes from managed grassland soil subject to multifactorial climate change manipulation. Applied Soil Ecology, 137, 1–11
EU 2019/1009. (2019): Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 laying down rules on the making available on the market of EU fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and repealing Regulation (EC) No 2003/2003 (Text with EEA relevance). http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj
EU 2021/2086. (2021): Amending Annexes II and IV to Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council for the purpose of adding precipitated phosphate salts and derivates as a component material category in EU fertilising products. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32021R2086
FERRETTI G, GALAMINI G, MEDORO V, FACCINI B, COLTORTI M (2022): Amount and speciation of N leached from a sandy soil fertilized with urea, liquid digestate, struvite and NH4-enriched chabazite zeolite-tuff. Soil Use and Management.
GALAMINI G, FERRETTI G, ROSINGER C, HUBER S, MEDORO V, MENTLER A, DIAZ-PINES E, GORFER M, FACCINI B, KEIBLINGER KM. Recycling nitrogen from liquid digestate via novel reactive struvite and zeolite minerals to mitigate agricultural pollution. Chemosphere. 2023 Mar;317:137881.
GORFER M, BORUSSO L, DELTEDESCO E, GICHUHI EW, MENGE DM, MAKIHARA D, PRAEG N, CESCO S, MIMMO T, MERBOLD L, LEITNER S (2022): The effect of environmental parameters and fertilization practices on yield and soil microbial diversity in a Kenyan paddy rice field. Applied Soil Ecology, 176, 104495
LU Z, ZHANG K, LIU F, GAO X, ZHAI Z, LI J, DU L (2022): Simultaneous recovery of ammonium and phosphate from aqueous solutions using Mg/Fe modified NaY zeolite: Integration between adsorption and struvite precipitation. Separation and Purification Technology, 299, 121713.
MALFERRARI D, LAURORA A, FRANCA BRIGATTI M, COLTORTI M, DI GIUSEPPE D, FACCINI B, PASSAGLIA E, GIOVANNA VEZZALINI M (2013): Open-field experimentation of an innovative and integrated zeolitite cycle: project definition and material characterization. Rendiconti Lincei, 24, 141–150.
MASSE J, PRESCOTT CE, MÜLLER C, GRAYSTON SJ (2016): Gross nitrogen transformation rates differ in reconstructed oil-sand soils from natural boreal-forest soils as revealed using a 15N tracing method. Geoderma, 282, 37–48.

Adressen der Autoren

[1] Department of Physics and Earth Science, University of Ferrara (UNIFE), Via Saragat 1, 44122, Ferrara, Italy.

[2] Department of Chemical, Pharmaceutical and Agricultural Sciences, University of Ferrara (UNIFE), Via Luigi Borsari 46, 44121, Ferrara, Italy.

[3] Department of Forest and Soil Sciences, Institute of Soil Research, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Peter Jordan Strasse 82, 1190 Vienna, Austria.

[4] Department of Crop Sciences, Institute of Agronomy, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU), Konrad Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau, Austria.

[5] Center for Health & Bioresources, Austrian Institute of Technology (AIT), Konrad-Lorenz-Straße 24, Tulln, Austria.

[*] Ansprechpartner: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Katharina Keiblinger, katharina.keiblinger@boku.ac.at

Nährstoffverhältnisse (austauschbare Kationen) auf Grünlandböden in Oberösterreich – Berechnung der Kationenaustauschkapazität bei bekanntem pH-Wert, Humus- und Tongehalt

Nutrient ratios (exchangeable cations) in grassland soils in Upper Austria - calculation of cation exchange capacity at known pH-value, humus and clay content

Patrick Falkensteiner[1], Georg Dersch[2]

Einleitung

Die Funktion des Bodens als Ionenaustauscher ist eine wesentliche Voraussetzung für die Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen. Ton- und Humusteilchen im Boden weisen eine negative Ladung auf. Daher können an deren Oberflächen positiv geladene Ionen – sogenannte Kationen – andocken und dadurch pflanzenverfügbar gebunden werden.

Zum einen werden die Kationen adsorptiv gebunden und somit vor einer Auswaschung geschützt, zum anderen auch in einer Form zur Verfügung gestellt, welche die Pflanzen nutzen können. Diese beiden bedeutenden Faktoren fasst die Kationenaustauschkapazität (KAK) zusammen. Diese ist somit einerseits eine Möglichkeit zur Standortcharakterisierung und andererseits auch ein Instrument zur Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit (Weidemann et al., 2020). Die KAK ist eine Möglichkeit, das komplexe System Boden und seine Eigenschaften zu beurteilen. Des Weiteren wird auch die gesamte Nährstoffdynamik im Boden von der KAK beeinflusst (Thiere et al., 2013). Da in der KAK jene Ionen erfasst werden, welche an den Oberflächen der Ton- und Humuspartikel gebunden sind, wird die KAK wesentlich vom pH-Wert und der Zusammensetzung des Bodens beeinflusst. Vor allem die Gehalte an Humus und Ton sind entscheidend. Humose, tonhaltige Böden haben durch die hohe Sorptionskraft eine wesentlich höhere KAK als beispielsweise humusarme Sandböden (Baumgarten, 2021).
Grundsätzlich wird zwischen der effektiven und potentiellen Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff} und KAK_{pot}) unterschieden. Die KAK_{eff} beschreibt den Ist-Zustand beim aktuellen pH-Wert, wohingegen die KAK_{pot} die maximal erreichbare Nährstoffbelegung bei pH-Wert über sieben.

Material und Methoden

Die Daten stammen aus der Bildungsinitiative Grünland, einem Projekt der Landwirtschaftskammer Oberösterreich aus dem Jahr 2020. In einer Masterarbeit (Kriterien für Bodenfruchtbarkeit in Zusammenhang mit der Kationenaustauschkapazität, Säuregrad, Humus-, Ton- und Nährstoffgehalt) aus dem Jahr 2022 wurden daraus insgesamt 1.811 Grünlandbodenproben aus Oberösterreich ausgewertet. Bei 782 dieser Proben wurde die KAK analysiert sowie weitere Parameter, wie etwa der Tongehalt (n=299) und pH-Acetat (n=443), nachuntersucht.
Diese Parameter wurden nach folgenden Methoden bestimmt: pH – Wert nach ÖNORM EN 15933, pflanzenverfügbarer Kalium- und Phosphorgehalt nach ÖNORM L 1087, pflanzenverfügbarer Magnesiumgehalt nach ÖNORM L 1093, Humusgehalt nach ÖNORM L 1080, Tongehalt nach ÖNORM L 1061-2 und Gehalt an austauschbaren Kationen (KAK_{eff}) nach ÖNORM L 1086-1.

Die Fragestellung war: Welcher Zusammenhang besteht zwischen effektiver und potentieller KAK auf Grünlandböden in OÖ im Bezug zum pH-Wert, Ton- und Humusgehalt?

Durchführung

Wenn der pH – in Acetat nicht gemessen wurde, dann wurde über folgende Formel eine Annährung mit den pH in $CaCl_2$ berechnet: pH in Acetat = 0,3187 * pH in $CaCl_2$ + 4,5388.
Dabei liegt das Bestimmtheitsmaß R^2 bei rund 0,78. Die ermittelte Formel zur Berechnung ist somit für die ausgewählten oberösterreichischen leichten und mittelschweren Grünlandböden zulässig. Im pH-$CaCl_2$ Bereich von 5,5-6,5 besteht annähernd ein linearer Zusammenhang. Die Berechnung des pH-Acetat in diesem Bereich ist statistisch abgesichert. Ab einem pH-$CaCl_2$ von 6,5 ist es nicht notwendig

den pH-Acetat zu ermittelt, da auf diesen Böden ohnehin kein Aufkalkungsbedarf besteht. Zudem nähert sich die KAK_{eff} zunehmend der KAK_{pot} an.

Die KAK_{pot} wird in der Standardmethode analytisch mittels einer pH >7 eingestellten gepufferten $BaCl_2$-Lösung bestimmt (Baumgarten, 2021). Laut Aichberger (1993), kann diese auch durch Aufsummierung der KAK_{eff} und den aus dem pH-Acetat errechneten, dissoziierbaren H^+-Ionen (H^+diss.) näherungsweise abgeschätzt werden (KAK_{eff} + H^+diss. = KAK_{pot}). Dabei hat sich für Ackerböden eine recht gute Übereinstimmung (Korrelationskoeffizient R=0,90 und hochsignifikant) mit der analytischen Bestimmung gezeigt. Die Übereinstimmung am Grünland, mit R=0,69, wurde als nicht zufriedenstellen bewertet und erfordert zusätzlichen Untersuchungsaufwand (Aichberger, 1993). Die Auswertung erfolgte in Anlehnung an die von Danneberg (1999) entwickelten Regressionsgleichungen zur Abschätzung der Austauschkapazität auf landwirtschaftlichen Böden in Ostösterreich. In dieser Studie wurden sowohl verschiedene Bodenparameter als auch Bodenarten und Bodentypen entsprechend kategorisiert und gruppiert (Danneberg, 1999).
Mit der durchgeführten Auswertung an Grünlandbodenproben wurden somit auch weiterführende Untersuchungen im Grünlandbereich durchgeführt.

Tabelle 1: **cmol H+ bei bestimmten pH-Acetat Gehalten (verändert nach Schachtschabel, 1951, S. 14).**

pH-Acetat	cmol H^+/kg Boden	pH-Acetat	cmol H^+/kg Boden
7,2	0	6,12	8
6,87	1	6,07	9
6,7	2	6,03	10
6,57	3	5,99	11
6,43	4	5,96	12
6,33	5	5,93	13
6,25	6	5,9	14
6,17	7	5,88	15

Es kann somit festgehalten werden, dass die Berechnung aufgrund der engen Korrelation zwischen berechnetem und gemessenen pH-Acetat auf die KAK_{pot} zulässig ist.

Ergebnisse und Diskussion

In Anlehnung an die Studie von Danneberg (1999), zur Abschätzung der austauschbaren Kationen auf landwirtschaftlichen Böden Ostösterreichs mittels Regressionsgleichungen, wurde nun erstmalig auch für oberösterreichische Grünlandstandorte, eine multiple Regressionsanalyse zur Beschreibung der KAK durchgeführt (Danneberg, 1999). Zielsetzung dieser Auswertung ist zu ermitteln, welchen Einfluss der pH-Wert, der Ton- und Humusgehalt auf die KAK_{eff} und KAK_{pot} haben, sowie die KAK mittels Regressionsgleichungen abzuschätzen.

Die statistische Auswertung wurde mittels dem Statistikprogramm IBM SPSS.Statistic 26 und seiner Prozedur Regression durchgeführt. Bei der angewandten multiplen Regressionsanalyse ist zu beachten, dass die KAK jeweils die abhängige Variable darstellt. Die unabhängigen Variablen sind der pH-Wert, der Ton- und Humusgehalt.

Bei der KAK_{eff} wurde für das Modell ein Bestimmtheitsmaß von R^2=0,803, bei der KAK_{pot} R^2=0,798 festgestellt. Somit kann rund 80% der Streuung der KAK_{eff} und KAK_{pot} mittels der drei Variablen pH-Wert, Ton- und Humusgehalt erklärt werden. Somit ist es nun auch möglich, die KAK von Grünlandböden nach pH-Wert, Humusgehalt und Bodenschwere darzustellen.

Die Regressionsgleichung für die Abschätzung der KAK_{eff} sowie der KAK_{pot} bei bekanntem Tongehalt, pH-Wert und Humusgehalt hat die Form:
$Y = C + B_1*X_1 + B_2*X_2 + B_3*X_3$

Tabelle 2: **Regressionskoeffizienten für KAK_{eff} und KAK_{pot} sowie Beschreibung der Variablen für die Regressionsgleichungen zur Abschätzung der KAK**

Variable	Regressionskoeffizienten für KAK_{eff}	Regressionskoeffizienten für KAK_{pot}	Beschreibung
Y	in cmol/kg		KAK als unabhängige Variable
C	-82,309	-56,879	Konstante
B_1	0,582	0,607	Regressionskoeffizient für den Tongehalt
X_1			Tongehalt in %
B_2	13,813	9,925	Regressionskoeffizient für pH-Wert
X_2			pH-Wert
B_3	1,665	1,874	Regressionskoeffizient für den Humusgehalt
X_3	Humusgehalt in %		

Gemäß Danneberg (1999), wurden in weiterer Folge die pH-Werte gruppiert und als Bandbreiten dargestellt. Um eine einheitliche Gruppierung zu gewährleisten, wurde die Einstufung in Anlehnung an die pH-Bereiche aus den Richtlinien für Sachgerechte Düngung, 8. Auflage übernommen.

Tabelle 3 zeigt die Kenndaten der Regressionskoeffizienten Ton und Humus bei Gruppierung des pH-Wertes in drei Bereiche. Durch diese Aufteilung ergab sich für den pH-Bereich >6,55 ein deutlich höheres R von 0,950, demnach R2=0,903 bei KAK_{eff} sowie R=0,955, also R2=0,912 bei KAK_{pot}. Für die restlichen zwei pH-Bereiche fallen hingegen die Werte für R bis auf ein Minimum von 0,774 bei KAK_{eff}, was einem R2 von nur mehr 0,598 entspricht. Grundsätzlich wurde festgestellt, dass die Regressionskoeffizienten für Humus mit sinkendem pH-Wert abnehmen. Der Grund dafür besteht in der Tatsache, dass sich im sauren pH-Bereich mehr dissoz. H^+-Ionen am Austauscher befinden. Bei pH-Werten über 6,55 entspricht ein Zuwachs von einem Humusprozent, eine Erhöhung der KAK_{eff} um 3,12 cmol/kg. Hingegen im sauren pH-Bereich unter 5,55, nur noch 0,98 cmol/kg pro Humusprozent. Die permanente Ladung der Tonminerale, ist die Ursache für die wesentlich geringere Abhängigkeit von Ton zum pH-Wert.

Tabelle 3: **Regressionskoeffizienten für Ton und Humus bei KAK als abhängige Variable bei unterschiedlichen pH-Bereichen, inkl. Stichprobenumfang (N) und Korrelationskoeffizienten (R).**

		KAK_{eff}				KAK_{pot}			
pH-Bereich	N	R	C	Ton	Humus	R	C	Ton	Humus
<=5,55	80	0,774	-1,940	0,500	0,977	0,875	0,702	0,637	1,277
>5,55 <=6,55	187	0,813	-4,332	0,612	2,160	0,859	-1,256	0,595	2,296
>6,55	32	0,950	4,287	0,158	3,197	0,955	5,162	0,196	3,212

<u>Somit ergeben sich folgende Regressionsgleichungen zur Abschätzung der KAK_{eff} und KAK_{pot} am Beispiel für den pH-Bereich 5,55 bis 6,55:</u>

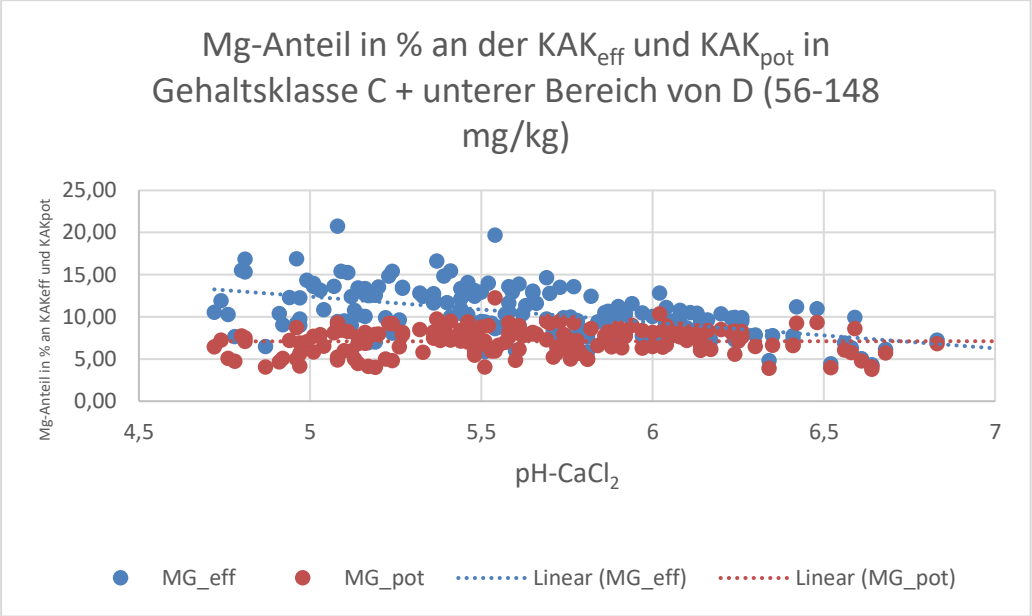
$Y_{eff} = -4,332 + 0,612*X_1 + 2,160*X_3$

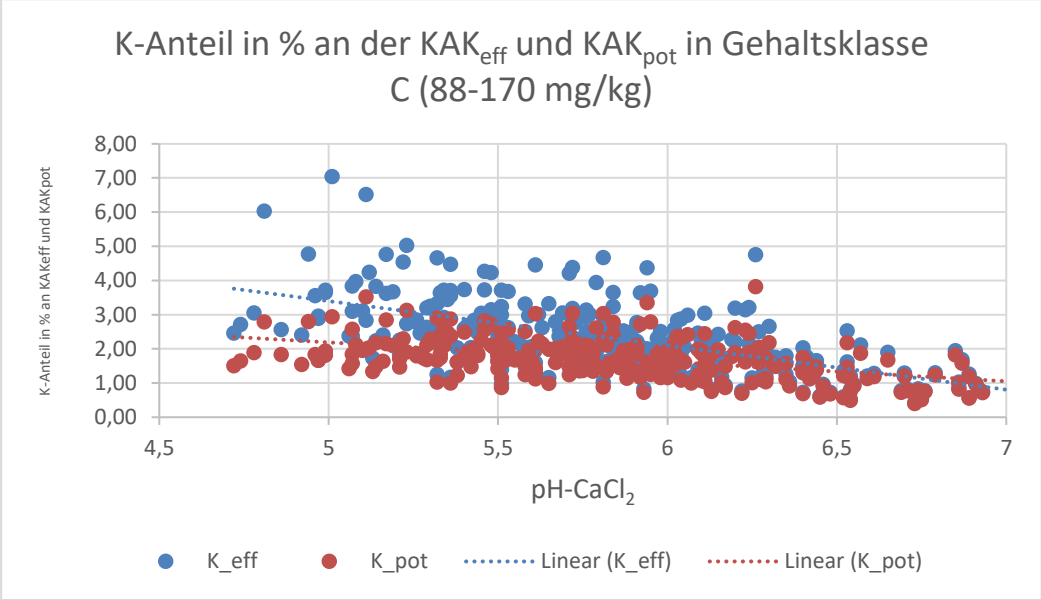
$Y_{pot} = -1,256 + 0,595*X_1 + 2,296*X_3$

Kationenbelegung am Austauscher am Beispiel Magnesium und Kalium

Im Durchschnitt aller Proben beträgt die Magnesiumsättigung 13,7% an der KAK_{eff} und 10,8% an der KAK_{pot}. Die Magnesiumsättigung der Grünlandproben liegt exakt im anzustrebenden Bereich gemäß den Richtlinien für Sachgerechte Düngung. Durch die Einhaltung des für Grünland anzustrebenden pH-Wertes im Bereich von 5,0 auf leichten- und um 5,5 auf mittleren Böden können in Relation vor allem

deutlich mehr Ca-Ionen, aber auch Mg-Ionen austauschbar gebunden werden. Dies trägt zur Verbesserung der Bodenstruktur und somit zu einer verbesserten Wasserinfiltration bei.
Im Durchschnitt aller Proben beträgt die Kaliumsättigung 3,8% an der KAK_{eff} und 2,9% an der KAK_{pot}. Somit liegt auch hier der Schnitt genau im anzustrebenden Bereich von 2-5%. Die Kaliumanteile an KAK_{eff} und KAK_{pot} liegen in beiden Fällen sehr knapp beieinander. Lediglich im sehr sauren pH-Bereich gibt es Unterschiede. Diese sind jedoch in der landwirtschaftlichen Praxis kaum relevant, da für Grünland ohnehin eine ausreichend hohe Kaliumversorgung aus dem Boden gegeben ist.





Werden nur die ausreichenden Stufen C bei Mg (inkl. des unteren Bereichs der hohen Stufe D berücksichtigt) und Kalium einbezogen, liegen die Mg-Anteile bezogen auf KAKeff zumeist zw. 8-15%, bezogen auf KAKpot zw. 5 – 10% und die Kalium Anteile bezüglich KAKeff zw. 1 bis 4% und bez. KAKpot zw. 1 – 2,5%.

Zusammenfassung

Fasst man die generierten Erkenntnisse aus der multiplen Regressionsanalyse zusammen, kann festgestellt werden, dass sich die Auswirkungen einer Veränderung des pH-Wertes, des Humusgehalts oder

des Tongehalts auf die KAK mit einer zuverlässigen Genauigkeit abschätzen lassen. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass die analytische Bestimmung ausschließlich für oberösterreichische Grünlandstandorte durchgeführt wurde. Mittels der ermittelten Schätzgleichungen kann sowohl die KAK_{eff}, als auch die KAK_{pot} näherungsweise abgeschätzt werden. Der Tongehalt, der Humusgehalt als auch der pH-Wert müssen dafür bekannt sein. Diese Daten und Ergebnisse wurden in dieser Masterthesis in der Form erstmalig publiziert und können für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit auf oberösterreichischen Grünlandböden herangezogen werden.

Abstract

Summarizing the generated findings from the multiple regression analysis, it can be stated that the effects of a change in pH, humus content or clay content on the KAK can be estimated with a reliable accuracy. However, it is pointed out that the analytical determination was carried out exclusively for Upper Austrian grassland sites. By means of the estimation equations determined, both the KAK_{eff}, as well as the KAK_{pot} can be estimated approximately. The clay content, the humus content as well as the pH-value must be known for this. These data and results were published in this master thesis for the first time and can be used for the determination of soil fertility on Upper Austrian grassland soils.

Literatur

AICHBERGER, K. (1993). Oberösterreichischer Bodenkataster Bodenzustandsinventur 1993. https://www.land-oberoesterreich.gv.at

Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., Gauer, J., Gaiser, T., Stoppe, N., Thiele-Bruhn, S., Tippkötter, R., & Welp, G. (2018). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde (17., überarb. u. erg. Aufl. 2018 Edition). Springer Spektrum.

BAUMGARTEN, A. (2021). Richtlinie für Sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft (Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Hrsg.; 8. Aufl.).

DANNEBERG, O. H. (1999). Regressionsgleichungen zur Abschätzung der Summe der austauschbaren Kationen in den landwirtschaftlich genutzten Böden Ostösterreichs. Die Bodenkultur, 50(2), 71–81.

THIERE, J., DEUMLICH, D., & ALTERMANN, M. (2013, Oktober). Die Kennzeichnung der Kationenaustauschkapazität (KAK) für landwirtschaftliche Nutzflächen. Jahrestagung der DBG 2013: Böden - Lebensgrundlage und Verantwortung, Rostock. https://eprints.dbges.de/960/

WEIDEMANN, C., MÜHLING, K. H., & BIERNAT, L. (2020, Mai 26). Welche Methode für die Bodenanalyse? Getreidemagazin - Die Fachzeitschrift für Spezialisten, 3/2020(26. Jahrgang), 14–17.

Adressen der Autoren

[1]Boden.Wasser.Schutz.Beratung, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Auf der Gugl 3, A-4021 Linz
Patrick.falkensteiner@lk-ooe.at

[2] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

georg.dersch@ages.at

Nährstoffgehalte und Nährstoffverhältnisse (austauschbare Kationen) auf Ackerland entsprechend den Gehaltsklassen nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung

Nutrient contents and nutrient ratios (exchangeable cations) in arable land following the content classes according to the guidelines for appropriate fertilisation

Armin Bajraktarevic und Georg Dersch

Einleitung

Die Kationenaustauschkapazität und das Verhältnis der Kationen zueinander wird diskutiert und rückt immer weiter ins Interessensfeld der Landwirte. Doch was steckt hinter diesen Verhältnissen und was sagen diese Werte für den Landwirt aus? Eine weitere wichtige Frage ist, ob mit genormten Methoden zur Bestimmung von Kalium (K) im CAL Extrakt, Mg im $CaCl_2$ Extrakt und dem pH - Wert ($CaCl_2$) die Verhältnisse der austauschbaren Kationen für Kalium und Magnesium abgeschätzt werden können. Denn derzeit wird kontrovers über die Albrecht/Kinsey - Methode diskutiert, die aus den Anteilen von Ca-, K-, und Mg am Sorptionskomplex Düngungsmaßnahmen ableitet (Kinsey, 1995). Die AGES bestimmt die effektive Kationenastauschkapaziptät (KAK_{eff}), welche im aktuellen pH des Bodens gemessen wird. Die Analyse nach Kinsey erfolgt bei einem pH von 7, welcher die potentielle Kationenaustauschkapaziät (KAK_{pot}) bestimmt. Aus der KAK_{pot} leitet sich Kinsey dann die Düngung für Ca, Mg, K und Na ab. Daher soll erläutert werden wo es methodische Unterschiede gibt und welche Auswirkung die Düngeempfehlungen, laut aktueller Literatur, auf den Ertrag haben. Die Fragestellung war: Kann man in Abhängigkeit der Boden- und Laborparameter eine Korrelation modellieren, welche eine hohe Aussagekraft über den Sorptionskomplex aufweist? Das Ziel dieses Beitrags ist es, einen methodischen Überblick zu verschaffen und den derzeitigen Forschungsstand aus anderen Ländern und der AGES zu präsentieren.

Material und Methoden

Die Daten stammen aus dem Labor-Informations- und Managementsystem der AGES Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung. Insgesamt standen 1275 Proben von Ackerböden aus den Bundesländern Ober- und Niederösterreich zur Verfügung. Die untersuchten Parameter wurden nach folgenden Methoden bestimmt: pH – Wert nach ÖNORM EN 15933, pflanzenverfügbarer Kaliumgehalt nach ÖNORM L 1087, pflanzenverfügbarer Magnesiumgehalt nach ÖNORM L 1093 und Gehalt an austauschbaren Kationen nach ÖNORM L 1086-1. In der Tabelle 1 sind die Eckdaten und Codes für die durchgeführten Korrelationen in Abhängigkeit von der Bodenschwere und der Gehaltsklasse dargestellt.

Tabelle 5: **Beschreibung des Datensatzes mit angeführten Codes. $Code_{eff}$ = Werte der effektiven KAK. $Code_{pot}$ = Werte der potentiellen KAK.**

Geschätzter Parameter	Korrelationen	Bodenschweren	Gehaltsklassen mg/kg	Probenzahl	$Code_{eff}$	$Code_{pot}$
Ca – Anteil	Ca% KAK_{eff} – pH Ca% KAK_{pot} – pH	Leicht bis Schwer	-	1275	CaEf	CaPo
K – Anteil	K% KAK_{eff} – pH	Leicht	C 88-148	91	KLCEf	KLCPo
	K% KAK_{pot} – pH	Mittel	C 112-177	224	KMCEf	KMCPo
		Schwer	C 138-205	142	KSCEf	KSCPo
		Mittel	B 66-112	70	KMBEf	KMBPo
		Leicht	D 213-332	43	KLDEf	KLDPo
Mg – Anteil	Mg% KAK_{eff} – pH Mg% KAK_{pot} – pH	Mittel	C+D 56-190	110	MCDEf	MCDPo

Die KAK_{eff} wurde nach ÖNORM L 1086-1 bestimmt und die KAK_{pot} wurde über eine Annährung berechnet (nach BLUME et al., 2011). Da der pH in Acetat bei einer Unterschreitung des anzustrebenden pH – Wert bestimmt wird, kann der Gehalt an H+ - Ionen berechnet werden.
Wenn der pH – in Acetat nicht gemessen wurde, dann wurde über folgende Formel eine Annährung mit den pH in CaCl2 berechnet:
pH in Acetat = 0,2903 * pH in CaCl2 + 4,819.
Die KAK_{pot} kann nun über eine Addition der KAK_{eff} mit cmol H+/kg berechnet werden.
Die statistische Auswertung wurde bei Linearfunktionen mittels Pearson Korrelationskoeffizienten und 2-seitigen t-Test, bei Polynomfunktionen mittels Spearman Korrelationskoeffizienten und 2-seitigen t-Test mit Excel 2016 ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Regressionsanalysen für die Ca – Anteile von KAK_{eff} (0,8) und KAK_{pot} (0,95) zeigen ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß und es besteht eine signifikante Korrelation ($p < 0,05$) zwischen pH – Wert und den Ca – Anteilen. Laut Wiliam Albrecht sollte für den „idealen Boden" der Anteile an Calcium zwischen 60–75% der KAK_{pot} betragen (ALBRECHT, 1975). Nach Neal Kinsey ist dieser Wert mit 60–70% beziffert (KINSEY, 1995). Wenn wir das Modell KAK_{pot} (Abbildung 1) vom Calcium – Anteil zwischen den pH – Wert 5,7 – 7,5 betrachten, dann liegen 29 Proben unter 60% mit einer Stichprobenanzahl von 765 in diesem Bereich. Wenn wir beim K – Anteil nur die Gehaltsklasse C in Abhängigkeit der Bodenschwere betrachten, so wird ein hohes Bestimmtheitsmaß nur bei der KAK_{eff} ermittelt (Leicht=0,56 , Mittel=0,78 , Schwer=0,46). Die KAK_{pot} zeigt durchwegs ein sehr niedriges Bestimmtheitsmaß (Leicht=0,07, Mittel=0,28 , Schwer=0,15), jedoch sind für KAK_{pot} und KAK_{eff} signifikante Korrelationen ($p < 0,05$) mit dem pH – Wert gegeben. Nach Wiliam Albrecht und Neal Kinsey sollte der K – Anteil am KAK_{pot} zwischen 2-5% liegen (ALBRECHT 1975; KINSEY 1995). Für die Gehaltsklasse C in Abhängigkeit der Bodenschwere und dem anzustrebenden pH – Wert (Leicht=>5,5; Mittel=>6; Schwer=>6,5) haben wir im Durchschnitt 29% der Proben unter 2% K – Anteil am KAK_{pot} (Leicht=15 (n=69); Mittel=26 (n=92); Schwer=46 (n=127)). Wenn man sich die Bodenschwere in Abhängigkeit der Gehaltsklasse B und D anschaut dann ergibt sich eine deutliche Korrelation. So zeigen Böden mit mittlerer Bodenschwere (pH>6) in der Gehaltsklasse B, dass 81% der Werte unter 2% K-Anteil am KAK_{pot} liegen. Umgekehrt verhält es sich mit leichten Böden (pH>5,5) in der Gehaltklasse D. Hier findet man keine Probe die unter 2% K-Anteil am KAK_{pot}. Daraus könnte man schließen, dass je höher der K – CAL Wert ist, desto höher ist der K-Anteil am Austauscher. Für die Gehaltsklasse C kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit rechnen, dass der K-Anteil am Austauscher in einem optimalen Bereich liegen könnte. Um diese Feststellung zu sichern sollte man mehr Daten aus verschiedenen Gebieten beobachten. Der ideale Mg – Anteil am KAK_{pot} sollte nach Wiliam Albrecht und Neal Kinsey zwischen 10-20% liegen (ALBRECHT, 1975; KINSEY, 1995). Da wir für Mg in $CaCl_2$ Extrakt nicht so viele Daten hatten, haben wir die die Gehaltsklasse C und D für mittelschwere Böden zusammengefasst. Für KAK_{eff} wurde ein höhere Bestimmtheitsmaß (0,45) als für KAK_{pot} (0,25) berechnet, doch zeigen beide eine signifikante Korrelation ($p<0,05$) mit dem pH – Wert an. Bei einem pH – Wert >6 liegen 56% der Werte unter 10% Mg – Anteil am KAK_{pot}. Ein möglicher Grund für diese Unsicherheit könnte an dem Bodentyp der untersuchte Böden im östlichen Österreich liegen. So zeigen Tschernosem Böden einen sehr hohen Ca-Anteil von über 90% auf und daher wird der Mg-Anteil verringert (BLUME, H. P., 2000). Für das Magnesium liegt eine geringere Wahrscheinlichkeit vor, dass der Mg-Anteil am KAK_{pot} im optimalen Bereich von 10-20% wäre. Daher sollte man den Bodentyp in die Interpretation einbeziehen. Die gewünschten Verhältnisse von Kinsey und Albrecht sollen hier nicht als Maßstab dienen. Unsere Ergebnisse zeigen ähnliche Zielbereiche für die KAK.
Das Thema des „idealen Bodens" anhand der Kationaustauschkapazität hat in der letzter Zeit Berater und Landwirte sehr interessiert. In Neuseeland wurde in einen Zeitraum von sechs Jahren eine Weide nach Kinsey und Konventionell bewirtschaftet. Die Kosten für die Düngemittel waren in den ersten zwei Jahren am höchsten in der Kinsey - Variante. Beobachtet man die KAK_{pot}, so fällt auf, dass sich nur der Mg-Anteil in der Kinsey-Variante erhöht hat. Der Weideertrag und die Milchleistung war in beiden Systemen gleich, doch war im Kinsey-System die Reproduktionsleistung und Tiergesundheit besser und die Kosten für den Tierarzt sanken um 50-100€/ha/Jahr, obwohl beide Systeme Mineralnährstoffe über das Futter zubrachten. Der Grund war, dass der Mg-Wert im Futter von der Weide um 50% höher lag als in der konventionellen Variante (BRYANT et al., 2019). In Ohio am OARDC (Ohio Agricultural

Research and Development Center) mit einer Versuchsdauer von 6 Jahren, wurde der Ertrag von Körnermais und Sojabohne unter verschiedenen Ca:Mg – Verhältnissen beobachtet. Die Ergebnisse zeigten, dass es keine Korrelation zwischen Ertrag und Ca:Mg gibt und der pH – Wert einen größeren Einfluss auf den Ertrag hatte (LEIVA SOTO et al., 2022). In Zollikofen (Schweiz) gibt es seit 12 Jahren einen Dauerversuch, wo die Bodenbearbeitungssysteme Pflug und Direktsaat verglichen werden. Auch wird zusätzlich die Düngung nach GRUD und Kinsey in diesen beiden Systemen verglichen. Hier zeigte sich, dass die Kinsey – Variante höhere Kosten verursachte und dass die Kinsey – Variante für einige Kulturen (Wintergerste, Zuckerrübe, Körnererbse, Silomais) höhere Erträge im System Direktsaat brachte. Eine Erklärung könnte sein, dass Wiliam Albrecht in der USA sein Analysesystem entwickelt hat, wo große Flächen mittels Direktsaat bewirtschaftet waren (CHEVRET et al., 2022). Demnach sind die Beurteilung der Tiergesundheit und Direktsaat für die Kinsey-Variante eventuell besser geeignet und daher sollte man hier die Forschung präzisieren. So fanden BROCK, C. et al., (2021) in einem breit angelegten Interview (Berater, Landwirte, Forscher) heraus, dass zwei Forscher aus dem Feld der Futtermittelkunde Potential sahen, dass die Futterqualität mit der Kinsey Methode verbessert werden kann. Schlussendlich sollten für eine bessere Einstufung der Anteile am Sorptionskomplex der Humusgehalt und der Tongehalt in die Funktion einbezogen werden.

Tabelle 2: **Ergebnisse der Regressionsanalysen in Abhängigkeit vom Anteil an Calcium, Kalium und Magnesium mit dem pH - Wert.**

Anteile - Code	M (SD)	95% KI [O;U]	R^2	Funktion
CaEf	81,9 (10,1)	[82,5;81,4)	**0,8***	y = -3,4343x2 + 50,549x - 97,708
CaPo	70,3 (19,4)	[71,4;69,2]	**0,95***	y = -3,2333x2 + 58,195x - 167,18
KLCEf	3,3 (1,1)	[3,5;3,1]	**0,56***	y = 0,4405x2 - 6,3849x + 25,604
KLCPo	2,5 (0,6)	[2,6;2,5]	**0,07***	y = -0,1953x + 3,7113
KMCEf	3,94 (2,3)	[4,2;3,6]	**0,78***	y = 0,7526x2 - 10,689x + 40,24
KMCPo	2,68 (0,8)	[2,8;2,6]	**0,29***	y = 0,0809x2 - 1,3227x + 7,6493
KSCEf	2,48 (0,9)	[2,6;2,3]	**0,46***	y = 0,3762x2 - 5,8586x + 25,001
KSCPo	2,32 (0,6)	[2,4;2,2]	**0,15***	y = -0,4127x + 5,2589
KMBEf	2,4 (1,3)	[2,7;2,1]	**0,59***	y = 0,3413x2 - 4,9882x + 19,839
KMBPo	1,79 (0,5)	[1,9;1,7]	**0,15***	y = -0,1932x + 3,0003
KLDEf	7,09 (2,1)	[7,7;6,5]	**0,65***	y = 1,1121x2 - 15,368x + 58,483
KLDPo	7,09 (0,9)	[7,4;6,8]	0	y = -0,0189x + 5,2889
MCDEf	11,03 (3,2)	[11,6;10,4]	**0,45***	y = -1,2721x2 + 13,328x - 21,56
MCDPo	9,32 (2,4)	[9,8;8,9]	**0,25***	y = -1,7893x2 + 21,675x - 55,166

Anmerkung: M = Mittelwert. SD = Standardabweichung. KI = Konfidenzintervall. Fett mit * = p <0,05.

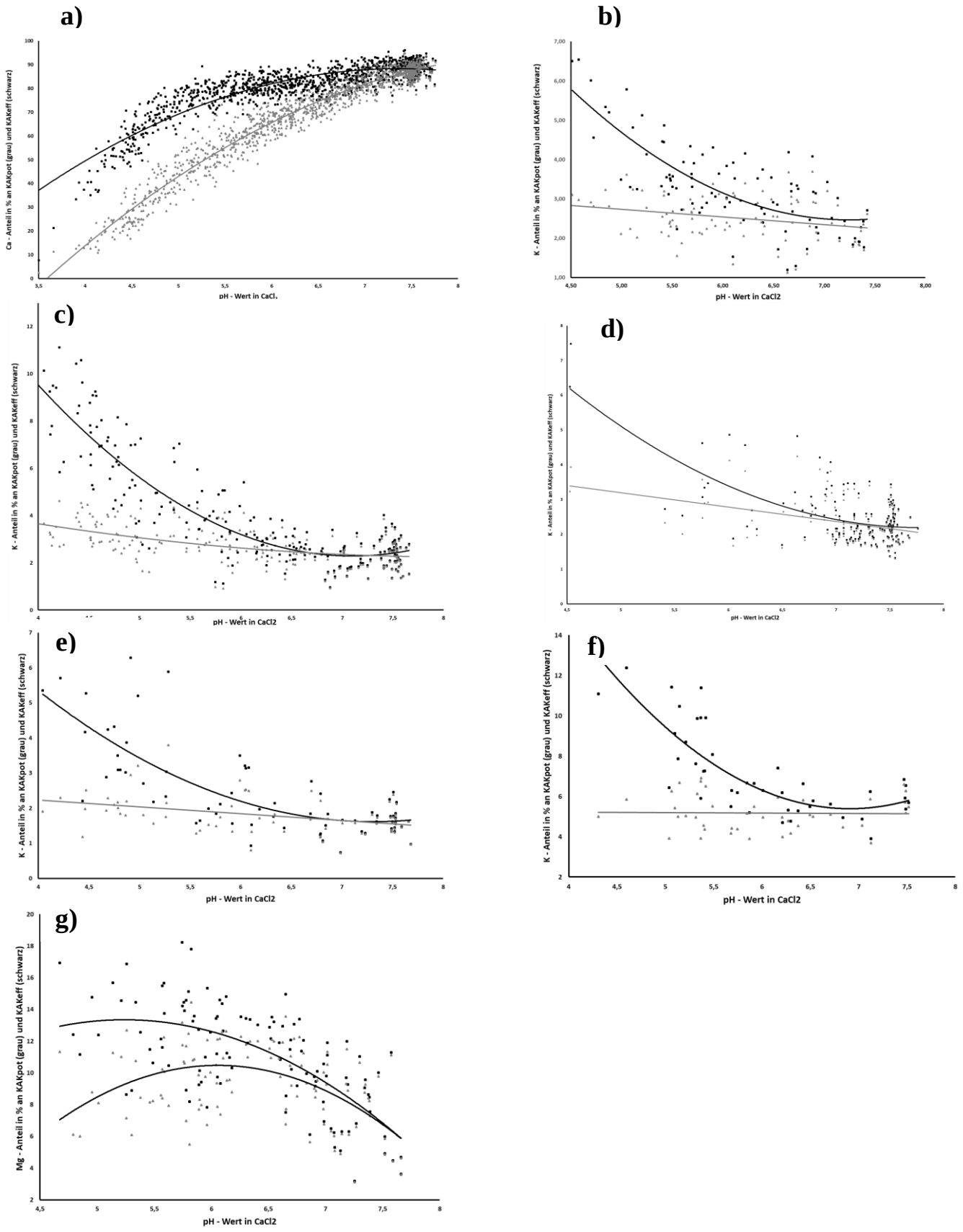


Abbildung 1: **Grafische Darstellung der Korrelationen zwischen Anteilen und pH – Wert in Abhängigkeit der Bodenschwere und Gehaltsklassen. Die schwarzen Punkte und Linien stehen für die effektive KAK und die grauen für die potentielle KAK. a) CaEf - CaPo b) KLCEf – KLCPo c) KMCEf – KMCPo d) KSCEf – KSCPo e) KMBEf – KMBPo f) KLDEf – KLDPo g) MCDEf – MCDPo.**

Zusammenfassung

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass mit den in Österreich genormten Analysenmethoden (ÖNORM EN 15933, ÖNORM L 1087, ÖNORM L 1093, ÖNORM L 1086-1) die Anteile an Ca und K am Sorptionskomplex gut abgeschätzt werden können, und die Ergebnisse für Mg geringere Übereinstimmungen ergeben haben. Für die Abschätzung des Ca-Anteils am KAK_{eff} (R^2 0,8) und KAK_{pot} (R^2 0,95) eignet sich am besten eine Polynomfunktion. Weiteres ist die Korrelation zwischen Ca – Anteil am KAK_{eff} und KAK_{pot} signifikant ($p<0,05$) mit dem pH – Wert korreliert und weniger als 4% der Werte liegen in einem pH-Wert von 6-7,5 unter 60% Ca-Anteil am KAKpot. Für das Kalium fanden wir für die KAK_{eff} ebenfalls die Polynomfunktion am besten geeignet und es ergaben sich signifikante ($p<0,05$) Korrelationen mit dem pH – Wert in Abhängigkeit von der Gehaltsklasse und der Bodenschwere. Die K-Anteile am KAK_{pot} waren eher für lineare Funktionen geeignet und zeigten geringere Bestimmtheitsmaße, jedoch waren signifikante ($p<0,05$) Korrelationen mit dem pH – Wert gegeben. Es zeigte sich ebenfalls, dass in der Gehaltsklasse C die K-Anteile am KAK_{pot} im Durchschnitt von 29% unter dem idealen K-Anteil von 2% liegt. Der Ca-Anteil kann derzeit am besten über den pH – Wert geschätzt werden, jedoch sollte der Bodentyp in die Interpretation einfließen. Weiteres kann der K-Anteil mittels K – CAL gut abgeschätzt werden, jedoch sollten noch mehr Daten aus verschiedenen Standorten einbezogen werden. Der Mg-Anteil mittels pflanzenverfügbaren Mg im $CaCl_2$ Extrakt benötigt eine größere Datenbasis um die Abschätzung abzusichern. Die gewünschten Verhältnisse von Kinsey und Albrecht sollen hier nicht als Maßstab dienen. Unsere Ergebnisse zeigen ähnliche Zielbereiche für die KAK.

Abstract

A polynomial function is best suited for estimating the Ca content at CEC_{eff} (R^2 0.8) and CEC_{pot} (R^2 0.95). Furthermore, the correlation between the Ca content of the CEC_{eff} and CEC_{pot} is significantly ($p<0.05$) correlated with the pH value and less than 4% of the values are in a pH value of 6-7.5 below 60% Ca content of CEC_{pot}. For potassium, we also found the polynomial function best suited for the CEC_{eff} and there were significant ($p<0.05$) correlations with the pH value as a function of the content class and the soil texture. The K content in the CEC_{pot} were more suitable for linear functions and showed lower coefficients of determination, but there were significant ($p<0.05$) correlations with the pH value. It was also shown that in grade C the K content in the CEC_{pot} is on average 29% below the ideal K content of 2%. The Ca content can currently best be estimated via the pH value, but the soil type should be included in the interpretation. Furthermore, the K content can be well estimated using K - CAL, but more data from different locations should be included. The Mg content based on plant-available Mg in the $CaCl_2$ extract requires a larger database to secure the estimate. The desired ratios of Kinsey and Albrecht should not be used as a benchmark here. Our results show similar target ranges for KAK.

Literatur

BLUME, H. P., BRUMMER, G. W., HORN, R., KANDELER, E., KOGEL-KNABNER, I., KRETSCHMAR, R., ... & WILKE, B. M. (2000). *Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde*. Berlin: Springer, Heidelberg.

BROCK, C., JACKSON-SMITH, D., CULMAN, S., DOOHAN, D., & HERMS, C. (2021). Soil balancing within organic farming: negotiating meanings and boundaries in an alternative agricultural community of practice. *Agriculture and Human Values*, *38*, 449-465.

BRYANT, R. H., ZWART, T., GREER, G., CASEY, J., SOLLY, K., PINXTERHUIS, I., ... & PELLOW, R. (2019). Conventional or albrecht-kinsey fertiliser approach in a commercial-scale dairy farm systems comparison. *New Zealand Journal of Animal Science and Production*, *79*, 100-102.

ALBRECHT, W.A. 1975. The Albrecht papers. Vol. 1: Foundation concepts. Acres USA, Kansas City.

KINSEY, N. (1995): Hands – on Agronomy. 2 Ausgabe. Acres USA.

LEIVA Soto, A., CULMAN, S. W., HERMS, C., SPRUNGER, C., & DOOHAN, D. (2023). Managing soil acidity vs. soil Ca: Mg ratio: What is more important for crop productivity? Crop, Forage & Turfgrass Management, 9(1).

Adresse der Autoren

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Abteilung Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

Ansprechpartner: armin.bajraktarevic@ages.at georg.dersch@ages.at

Der Einfluss von Kalkung und Zwischenfrüchten auf die mikrobielle Humusbildung

Cover crop and liming effects on microbial driven soil organic matter formation

Niklas Bruhn[1*], Katharina Keiblinger[1], Christoph Rosinger[1,2], Gernot Bodner[2]

Einleitung

In Ackerböden ist der Zwischenfruchtanbau eine vielversprechende Maßnahme für den Humusaufbau. Jüngste Meta-Studien schätzen, dass durch den Anbau von Zwischenfrüchten im Durchschnitt zusätzlich 1,11 Mg C/ha gespeichert werden können (MCCLELLAND et al., 2021). Allerdings wurde auch gezeigt, dass die Wirkung von Zwischenfrüchten auf den Humusaufbau stark schwankt und signifikant von anderen Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden kann (BLANCO-CANQUI, 2022). Der Kohlenstoff-Kreislauf im Boden wird von Mikroorganismen dominiert. Einerseits setzen sie gespeicherten organischen Kohlenstoff durch Mineralisierung als CO_2 frei, andererseits können sie eingebrachten Kohlenstoff assimilieren und dadurch dauerhaft im Boden speichern (LIANG et al., 2020).
In diesem Beitrag wird daher untersucht wie Kalkung, als gängige Bewirtschaftungsmaßnahme, und verschiedene Zwischenfrüchte den mikrobiellen Pfad der Humusbildung beeinflussen.

Material und Methoden

Standort und Versuchsaufbau: Die Versuchsanlage befindet sich auf der HBLFA St. Florian in Oberösterreich auf 237 m Seehöhe mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9,1 °C und einem Jahresniederschlag von 790 mm. Der Bodentyp ist als schwach saure Braunerde und lehmiger Schluff, mit einem pH von 5,6 auf ungekalkten und 6,1 auf gekalkten Flächen, klassifiziert.
Es handelt sich um einen randomisierten Blockversuch bei dem 9 Zwischenfrüchte (Einzel und Gemenge) sowie eine Schwarzbrache gekalkt und ungekalkt, faktoriell kombiniert wurden. Die 20 Varianten wurden in 3 Blöcken randomisiert wiederholt, woraus sich 60 Parzellen zu je 16 m^2 ergeben. Der Versuch wurde im Juni 2020 angelegt.
Probennahme: Proben der Rhizosphäre wurden im Oktober 2021 genommen. Dabei wurde der Boden von 2-3 entwurzelten Pflanzen durch Schütteln und Abbürsten von den Wurzeln gelöst. Der frische Boden wurde auf 2 mm gesiebt und bis zu Beginn der Messungen bei 4 °C gekühlt.
Laboranalysen: Der organische Gesamtkohlenstoff wurde durch Elementaranalyse und das Scheibler-Verfahren nach ÖNORM 1080 bzw. 1084 ermittelt. Die mikrobielle Biomasse (C, N und P) wurde durch Chloroform-Fumigation-Extraktion nach Önorm EN ISO 14240-2 bestimmt. Die gelösten Nährstoffe (DOC, TDN und TDP) wurden durch Kaliumchlorid- (DOC, TDN) bzw. Natriumhydrogenkarbonat- (TDP) Extraktion ermittelt. Die Bestimmung der mikrobiellen Nekromasse erfolgte durch Extraktion und Messung von Aminozuckern nach APPUHN et al. (2004). Die potenzielle Enzymaktivität von 6 extrazellulären Enzymen wichtig für den Kohlenstoff-, Stickstoff und Phosphorkreislauf wurde durch fluorometrische Messungen auf Mikrotiterplatten nach MARX et al. (2001) ermittelt. Dabei wurden die Enzyme nach ihrer Funktion unter C-, N-, und P- akquirierend zusammengefasst.
Statistik: Um Unterschiede zwischen Kalk- und Zwischenfruchtvarianten zu ermitteln, wurde eine Multivariate Varianzanalye (MANOVA) durchgeführt, wobei Wilks'λ-Verteilung zur Beurteilung statistischer Unterschiede benutzt wurde. Bei Varianzheterogenität wurden die Daten log-transformiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse zeigen eine dominante Wirkung von Kalk auf die mikrobiellen Parameter, der die Wirkung der Zwischenfrüchte überdeckt. Über alle Behandlungen hinweg gibt es einen Effekt von Kalkung auf mikrobielle Parameter, aber nicht von Zwischenfrüchten. Werden gekalkte und ungekalkte Parzellen allerdings getrennt betrachtet kann ein Zwischenfruchteffekt festgestellt werden (Tabelle 1). Der dominante Kalkeffekt liegt vermutlich an der kurzen Versuchsdauer. Während das Ausbringen von Kalk sich

rasch auf die Bodenmikrobiologie auswirkt, zeigen Zwischenfrüchte nach längerem Anbau (>6 Jahre) einen deutlich stärkeren Einfluss auf die Bodenmikrobiologie (FENG et al., 2021).

Tabelle 1: **Teststatistik der MANOVA-Analyse zur Bewertung des Gesamteffekts von Zwischenfrüchten und Kalkung auf die Bodenmikrobiologie. F- und p-Werte der Wilks-Lamda-Verteilung sind für den Gesamteffekt von Kalkung, Zwischenfrüchten, sowie von Zwischenfüchten in den gekalkten bzw. ungekalkten Parzellen angegeben. Ein signifikanter Effekt von Deckfrüchten (p < 0,05) ist in fettgedruckten Buchstaben angegeben.**

Gesamteffekt	Kalkung	Zwischenfrucht	Zwischenfrucht *gekalkt*	Zwischenfrucht *ungekalkt*
F-Wert	7,713	1,084	2,083	2,353
p-Wert	**<0,001**	0,363	**0,002**	**0,001**

Betrachtet man die mikrobiellen Parameter getrennt voneinander wird deutlich, dass mikrobielle Biomasse, Enzymaktivität und gelöste Nährstoffe sowohl durch Kalkung als auch durch Zwischenfrüchte (zumindest in einer der Kalk-Varianten) signifikant beeinflusst werden (Tabelle 2). Dagegen gibt es weder von Kalk noch von Zwischenfrüchten (in keiner Kalk-Variante) eine signifikante Wirkung auf mikrobielle Nekromasse oder den organischen Bodenkohlenstoff (Tabelle 2).

Tabelle 2: **Teststatistik der MANOVA-Analyse zur Bewertung der Auswirkungen von Zwischenfrüchten und Kalkung auf einzelne mikrobielle und biochemische Parameter. F- und p-Werte der Wilks-Lamda-Verteilung sind für einzelne Parameter angegeben. Ein signifikanter Effekt von Deckfrüchten (p < 0,05) ist in fettgedruckten Buchstaben angegeben.**

Individuelle Parameter	Kalkung		Zwischenfrucht *gekalkt*		Zwischenfrucht *ungekalkt*	
	F	*p*	F	*p*	F	*p*
Mikrobieller Kohlenstoff	2,57	0,064	2,574	0,053	7,619	**<0,001**
Mikrobieller Stickstoff	2,79	**0,050**	2,110	0,099	6,298	**0,001**
Mikrobieller Phosphor	4,79	**0,004**	4,789	**0,004**	7,254	**<0,001**
Organischer Bodenkohlenstoff	0,66	0,584	1,927	0,127	1,103	0,386
Gelöster organischer Kohlenstoff	69,78	**<0,001**	15,390	**<0,001**	0,783	0,572
Gelöster Gesamtstickstoff	12,36	**<0,001**	7,992	**<0,001**	2,094	0,103
Gelöster Phosphor	5,088	**0,004**	1,035	0,401	2,609	0,085
C-akquirierende Enzyme	2,22	0,098	4,033	**0,008**	1,394	0,263
N-akquirierende Enzyme	14,35	**<0,001**	3,953	**0,009**	6,897	**<0,001**
P-akquirierende Enzyme	5,456	**0,003**	0,457	0,715	4,206	**0,021**
Nekromasse C	0,27	0,849	0,294	0,912	0,210	0,955

Dies könnte darauf hindeuten, dass der Boden, wegen der kurzen Versuchsdauer, erst am Anfang eines durch Zwischenfrüchte und Kalkung eingeleiteten Stabilisierungsmechanismus steht, der als „mikrobielle Kohlenstoffpumpe“ beschrieben wird (LIANG et al., 2020). Bei diesem Prozess wird, organischer, meist labiler, Kohlenstoff von Mikroorganismen aufgenommen und einerseits zur Energiegewinnung, andererseits zum Wachstum, also den Aufbau von Biomasse, verwendet. In einem weiteren Schritt dieses sogenannten „in-vivo Pfads“ können die abgestorbenen Mikroorganismen (Nekromasse) an Mineraloberflächen (Ton, Feinschluff, Oxiden) gebunden werden und als mineral-assoziierter organischer Bodenkohlenstoff stabilisiert werden. Gleichzeitig kann organischer Kohlenstoff (Wurzelexudate oder Streu) durch extrazelluläre Enzyme, über den sogenannten „ex-vivo Pfad“ umgewandelt werden. Es kann angenommen werden, dass der Boden sich im Frühstadium dieses Prozesses befindet, in dem erhöhtes Wachstum (mikrobielle Biomasse) und Enzymaktivität durch Zwischenfrüchte und Kalkung bereits zu sehen sind, allerdings noch kein Effekt auf Nekromasse oder organischen Bodenkohlenstoff festgestellt werden kann.
Man kann also davon ausgehen, dass die Zunahme von organischem Bodenkohlenstoff durch stabilisierte Nekromasse erst nach einem längeren Zeitraum wiederholter Kalkung und wiederholten Zwischenfruchtanbaus sichtbar wird.

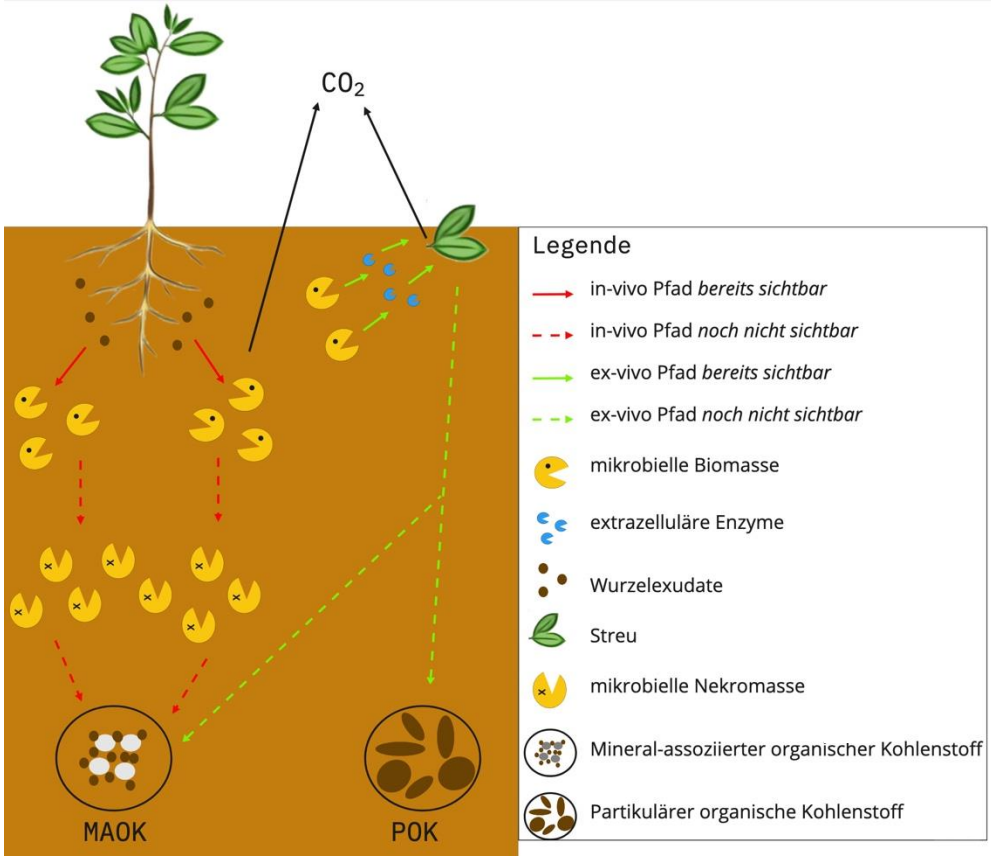


Abbildung 1: **Schematische Darstellung der mikrobiellen Kohlenstoffpumpe nach Liang et al. (2020). Dargestellt werden die in der Studie bereits sichtbare Wirkung (durchgehende Linien) sowie der noch nicht feststellbare Effekt (gestrichelte Linien) der Stabilisierungsmechanismen (in-vivo und ex-vivo), sowie deren Beitrag zu den Kohlenstoff-Pools, der Mineral-Assoziierten (MAOS) und Partikulären Organischen Substanz (POS).**

Der Einfluss von Zwischenfrüchten auf die Bodenmikrobiologie in den gekalkten Parzellen unterscheidet sich deutlich von jenem in den ungekalkten Parzellen (Tabelle 2).
Die Verfügbarkeit von gelösten Nährstoffen in gekalkten Parzellen ist generell höher (Abbildung 2). Das ist wahrscheinlich eine Folge einer höheren Aggregatstabilität, ausgelöst durch höhere Ca^{2+}-Konzentrationen. Dadurch können labile gelöste Nährstoffe durch Bindung an organo-mineral Komplexen oder in Aggregaten stabilisiert werden (PARADELO et al., 2015). Der tendenzielle stärkere Einfluss von Zwischenfrüchten auf gelöste Nährstoffe in gekalkten Parzellen ist vermutlich eine Folge dieser höheren Verfügbarkeit.

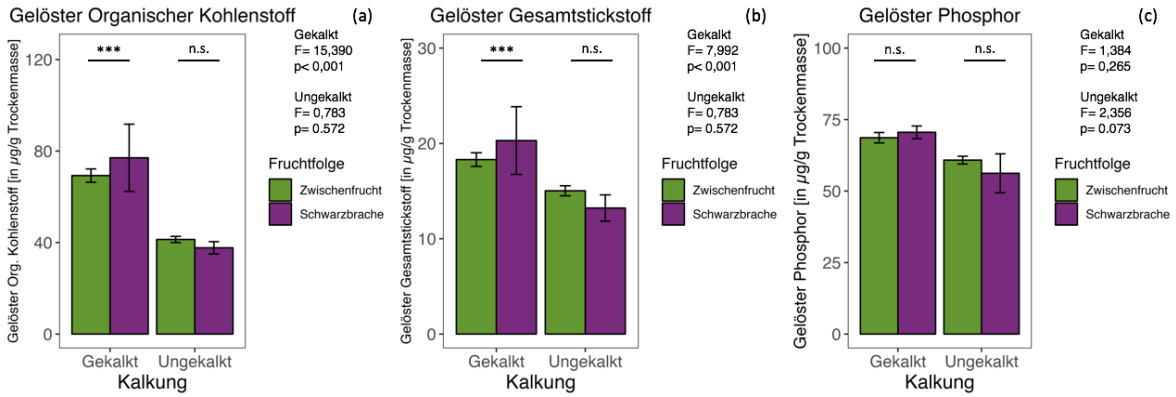


Abbildung 2: **Gelöster organischer Kohlenstoff (a), Gesamtstickstoff (b) and Phosphor (c) gemessen auf gekalkten und ungekalkten Böden, jeweils mit und ohne Zwischenfrüchte. Sterne zeigen signifikante Unterschiede durch Zwischenfrüchte auf gekalkten und ungekalkten Böden (*** = p < 0.001; ** = p < 0.01; * = p < 0.05; n.s = p ≥ 0.05) gemäß MANOVA. Abgebildet ist der Mittelwert mit Fehlerbalken = 2 SF**

Der Einfluss von Zwischenfrüchten auf die mikrobielle Biomasse ist in ungekalkten Parzellen tendenzieller stärker (Abbildung 3). Eine mögliche Erklärung ist, dass die bereits höhere Nährstoffverfügbarkeit in den gekalkten Parzellen den positiven Effekt der höheren Nährstoffverfügbarkeit durch Zwischenfrüchte abschwächt. Außerdem könnte die nachgewiesene Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft durch Kalkung (SILVA-SÁNCHEZ et al., 2019) einen kurzfristigen Störungseffekt haben, die es den Mikroorganismen nicht möglich macht die Zwischenfrüchte für zusätzliches Wachstum zu nutzen.

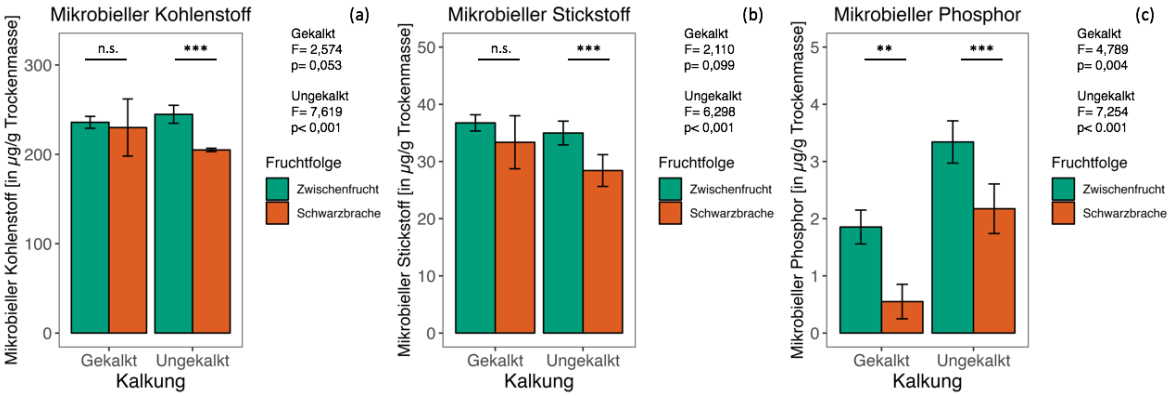


Abbildung 3: **Mikrobieller Kohlenstoff (a), Stickstoff (b) and Phosphor (c) gemessen auf gekalkten und ungekalkten Böden, jeweils mit und ohne Zwischenfrüchte. Sterne zeigen signifikante Unterschiede durch Zwischenfrüchte auf gekalkten und ungekalkten Böden (*** = p < 0.001; ** = p < 0.01; * = p < 0.05; n.s = p ≥ 0.05) gemäß MANOVA. Abgebildet ist der Mittelwert mit Fehlerbalken = 2 SF**

Bei der Enzymaktivität ist, trotz spezifischer Unterschiede, der Zwischenfruchteffekt auf gekalkten Parzellen tendenziell stärker als auf ungekalkten (Abbildung 4). Das könnte wieder mit der erhöhten Nährstoffverfügbarkeit in diesen Parzellen zusammenhängen. Da Mikroorganismen vor allem Kohlenstoff und Stickstoff benötigen, um Enzyme zu synthetisieren (VITOUSEK et al., 2002), ist es möglich, dass sie in gekalkten Parzellen mehr Enzyme produzieren können, um auf die erhöhte Nährstoffverfügbarkeit durch Zwischenfrüchte zu reagieren.

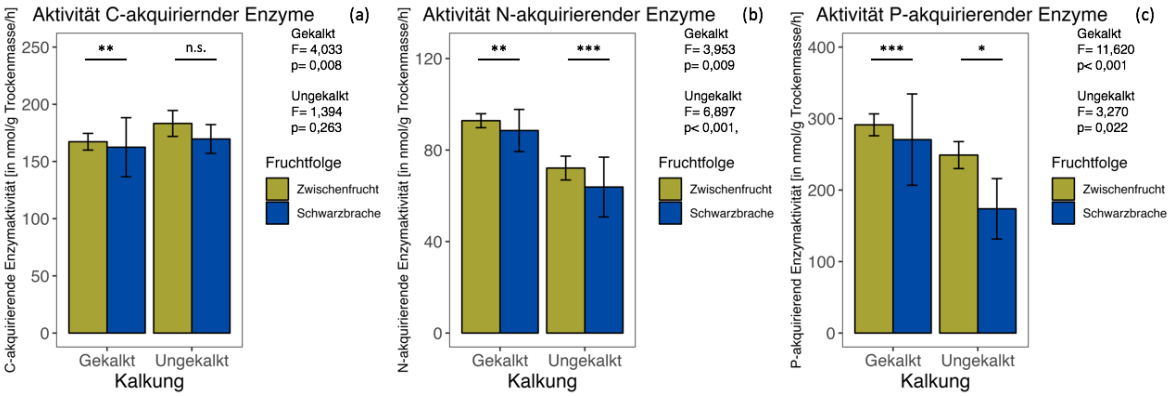


Abbildung 4: **Potenzielle C- (a), N- (b) and P-akquirierende Enzymaktivität (c) gemessen auf gekalkten und ungekalkten Böden, jeweils mit und ohne Zwischenfrüchte. Sterne zeigen signifikante Unterschiede durch Zwischenfrüchte auf gekalkten und ungekalkten Böden (*** = p < 0.001; ** = p < 0.01; * = p < 0.05; n.s = p ≥ 0.05) gemäß MANOVA. Abgebildet ist der Mittelwert mit Fehlerbalken = 2 SF**

Die Ergebnisse zeigen, dass Kalkung und Zwischenfrüchte bereits nach zwei Jahren einen positiven Effekt auf mikrobielle Humusbildungspfade haben. Daraus kann geschlossen werden, dass sich nach längerer Anwendung auch ein positiver Effekt auf organischen Bodenkohlenstoff zeigt. Allerdings muss dies erst in langfristigen Versuchen bestätigt werden.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag zeigen wir, wie Kalkung als gängige Bewirtschaftungsmaßnahme die Wirkung verschiedener Zwischenfrüchte auf den mikrobiellen Pfad der Kohlenstoffbindung beeinflusst. Dazu wurden für den Humusaufbau wichtige mikrobielle Parameter wie mikrobielle Biomasse, potenzielle Enzymaktivität, Pilzbiomasse und mikrobielle Nekromasse in einem randomisierten Blockversuch untersucht.
Allgemein konnte festgestellt werden, dass der Einfluss von Kalk auf die mikrobiellen Parameter jenen von Zwischenfrüchten überdeckt. Bereits nach zwei Jahren gibt es einen Einfluss von Kalk und Zwischenfrüchten auf mikrobielle Biomasse und Enzymaktivität, aber nicht auf mikrobielle Nekromasse oder organischen Bodenkohlenstoff. Dies könnte auf ein Frühstadium des als „mikrobieller Kohlenstoffpumpe" bezeichneten Stabilisierungsmechanismus hindeuten. Außerdem wurde ein stark divergierender Einfluss von Kalkung auf die Zwischenfruchteffekte festgestellt.
Das zeigt einerseits einen positiven Einfluss von Kalkung und Zwischenfrüchten auf mikrobielle Humusbildung, gleichzeitigt wirken Begleitmaßnahmen zum Zwischenfruchtanbau, wie z.B. Kalkung, direkt auf die mikrobiellen Humusbildungspfade und sollten daher berücksichtigt werden.

Abstract

Recent studies suggest that cover crops can be a promising measure to increase soil organic carbon (SOC) in arable soils. It has also been demonstrated, however, that SOC accumulation through cover crops varies strongly and is significantly influenced by other management practices. This study thus investigates how liming, as common management practice, and different cover crop types influence microbial-driven SOC formation.
Therefore, we analysed microbial parameters important for SOC dynamics, such as microbial biomass, potential enzymatic activity, fungal biomass and microbial necromass in a randomized block trial.
In general, liming masked the effect of cover crops on the investigated microbial parameters. A significant effect of liming and cover crops on microbial biomass and enzymatic activity was detected already after 2 years, but not on microbial necromass or SOC. This suggests an early stage of the proposed conceptual framework of the "microbial carbon pump". Additionally, a strong divergent influence of liming on cover crop effects was found for microbial parameters.
Generally, there is a positive effect of liming and cover crops on microbial driven soil organic matter formation. At the same time, additional measures like liming directly influence cover crop effects and should thus be considered.

Literatur

APPUHN, A., JOERGENSEN, R. G., RAUCHBUCH, M., SCHELLER, E. & WILKE, B. (2004). The automated determination of glucosamine, galactosamine, muramic acid, and mannosamine in soil and root hydrolysates by HPLC. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 167(1), 17-21.

BLANCO-CANQUI, H. (2022). Cover crops and carbon sequestration: Lessons from U.S. studies. *Soil Science Society of America Journal*, *86*(3), 501–519

FENG, H., SEKARAN, U., WANG, T., & KUMAR, S. (2021). On-farm assessment of cover cropping effects on soil C and N pools, enzyme activities, and microbial community structure. *The Journal of Agricultural Science*, *159*(3–4), 216–226.

LIANG, C. (2020). Soil microbial carbon pump: Mechanism and appraisal. *Soil Ecology Letters*, *2*(4), 241–254.

MARX, M.-C., WOOD, M., & JARVIS, S. C. (2001). A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *33*(12–13), 1633–1640.

MCCLELLAND, S. C., PAUSTIAN, K., & SCHIPANSKI, M. E. (2021). Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: A meta-analysis. *Ecological Applications*, *31*(3).

PARADELO, R., VIRTO, I., & CHENU, C. (2015). Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *202*, 98–107.

SILVA-SÁNCHEZ, A., SOARES, M., & ROUSK, J. (2019). Testing the dependence of microbial growth and carbon use efficiency on nitrogen availability, pH, and organic matter quality. *Soil Biology and Biochemistry*, *134*, 25–35.

VITOUSEK, P. M., HÄTTENSCHWILER, S., OLANDER, L., & ALLISON, S. (2002). Nitrogen and Nature. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, *31*(2), 97–101.

Adressen der Autoren

[1] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien
[2] Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, A-3430 Tulln

* Ansprechpartner: Niklas Bruhn, niklas.bruhn@students.boku.ac.at

Einfluss von Zwischenfrüchten auf Bodenkohlenstoff-Fraktionen im Ackerbau - eine Meta-Analyse

Cover Crops Affecting Pool Specific Soil Organic Carbon Sequestration in Cropland – A Meta-Analysis

Julia Fohrafellner[1,2*], Sophie Zechmeister-Boltenstern[2], und Rajasekaran Murugan[1,2], Katharina Keiblinger[2], Heide Spiegel[3], Elena Valkama[4]

Einleitung

Zwischenfruchtanbau zählt zu einer der wirksamsten landwirtschaftlichen Maßnahmen zur Erhöhung des Gehalts an organischem Kohlenstoff im Boden (JIAN et al. 2020). Sie sind in der Lage, den Eintrag von Photosyntheseprodukten in den Boden zu erhöhen (KAYE und QUEMADA 2017).
Die Meta-Analyse ist eine statistische Methode die es erlaubt, eine Vielzahl von Ergebnissen aus z.B. Feldversuchen in eine Zahl zusammenzufassen eine (FOHRAFELLNER et al. 2023). Mit Hilfe dieser Methode haben bereits mehrere Studien die positive Wirkung von Zwischenfrüchten auf den Gesamt-Bodenkohlenstoff erhoben (JIAN et al. 2020; SUN et al. 2020; CRYSTAL-ORNELAS, THAPA und TULLY 2021; MCCLELLAND, PAUSTIAN und SCHIPANSKI 2021). Der Gesamt-Bodenkohlenstoff gibt jedoch nur wenig Auskunft darüber, wie stabil der gebundene Kohlenstoff gespeichert wird. Hier kommt die Messung in Form der einzelnen Fraktionen ins Spiel: des an mineralischen Oberflächen gebundenen organischen Kohlenstoffes und des in Partikeln gebundenen organischen Kohlenstoffes. Sie reagieren empfindlicher auf Veränderungen und geben einen tieferen Einblick über seine Langlebigkeit (LAVALLEE et al. 2020). Ein weiterer Pool der eng mit dem erwähnten mineralischen Pool verbunden ist, ist der mikrobielle Biomassekohlenstoff.
Es gibt kaum Meta-Analysen, die die Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf Kohlenstoffpool-Ebene untersuchen und keine, die Ergebnisse auf Europäischer Ebene zusammenfasst. Unser Ziel ist es, die erste Meta-Analyse zu erstellen, die weltweite Effekte von Zwischenfrüchten auf den mineralischen, partikulären und mikrobiellen-Pool untersucht und dabei globale Studien inkludiert, welche nur in Klimazonen durchgeführt wurden, die auch in Europa verfügbar sind. Somit ermöglichen wir, dass möglichst viele Studien in unsere Analyse mit aufgenommen werden können, aber trotzdem ein Europäischer Fokus gewährleistet wird.

Material und Methoden

Zuerst wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um Primärliteratur zu sammeln. Dazu wurde im April 2022 wissenschaftlich publizierte Literatur durch Suche in mehreren Datenbanken gesammelt. Nicht wissenschaftlich publizierte Werke, wie z.B. Ergebnisse aus Forschungsberichten, wurde in Google Scholar und bei Biorxiv.org erhoben. Nach der Entfernung von Duplikaten wurde jede gefundene Studie anhand von vordefinierten Ein- und Ausschlusskriterien auf Relevanz geprüft. Schließlich wurden die Ergebnisse dieses Prozesses mit den Erkenntnissen anderer Meta-analysen verglichen, um sicherzustellen, dass die wichtigste Literatur erhoben wurde (SALAZAR et al. 2020; ROCCI et al. 2021). Insgesamt wurden über 600 Artikel auf Relevanz geprüft. Letzen Endes wurden 58 Studien von 47 Artikeln in unsere Analyse aufgenommen.
Die Meta-Analyse ermöglicht es, die Unterschiede zwischen den inkludierten Studien durch die Berechnung von Moderatoreneffekten zu erklären (BORENSTEIN et al. 2009). Moderatoren sind zusätzliche Einflussfaktoren, die den untersuchten Effekt beeinflussen können. Potenzielle Moderatoren, die die Wirkung von Zwischenfrüchten auf Bodenkohlenstoff-Pools beeinflussen könnten sind vielfältig und können in Moderatoren bezüglich Management (z.B. angewandte Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Düngung, Zufuhr von organischer Substanz), Zwischenfruchtcharakteristika (z.B. Zwischenfrucht-Typ, Artenzahl, Saatgutmenge), Versuchsplanung (z.B. Versuchsdauer, Methode zur Messung des Bodenkohlenstoff-Pools), Bodenparameter (z.B. pH-Wert, Bodentextur) und Klima (z.B. Niederschlag, Temperatur und Klimazone) unterteilt werden.

Metadaten und relevante Ergebnisse für die Berechnung der Effektgröße und die Moderatorenanalyse werden aus jeder Studie extrahiert. Wenn bestimmte Daten nicht zur Verfügung stehen, werden die entsprechenden Autor*innen kontaktiert. Es wird nur eine Studie pro Artikel oder Standort extrahiert, um die Unabhängigkeit der Effektgrößen zu gewährleisten.
Die Effektgröße jeder Studie wird nach BORENSTEIN et al. (2009) berechnet in Folge gewichtet, um umfangreichen und, aus statistischer Perspektive, wertvolleren Studien eine größere Bedeutung zu geben.

Vorläufige Ergebnisse

Eine vorläufige Analyse der Metadaten zeigt, dass die Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf SOC-Pools in Fruchtfolgen, die zum Größten Teil aus Getreide bestehen, für die in Europa verfügbaren Klimazonen nicht ausreichend untersucht sind (Abb. 1A). Der mineralische Pool wird am seltensten untersucht, gefolgt vom mikrobiellen und dem partikulären Pool. Bezüglich der Dauer der Versuche beträgt die Laufzeit der meisten Studien weniger als 10 Jahre (Abb. 1B). Weiters wird der Großteil der Studien in warmem, gemäßigtem Klima durchgeführt (Abb. 1C) und die maximale Bodenbeprobungstiefe liegt selten unter 30 cm (Abb. 1D).
Nichtdestotrotz können mit Hilfe der Meta-Analyse Aussagen über die Effekte auf die beschriebenen Pools getroffen werden. Zum jetzigen Zeitpunkt sind vorläufige Ergebnisse für den mineralischen Pool verfügbar. Abbildung 2 zeigt, dass Zwischenfrüchte einen positiven, aber nicht signifikanten Effekt auf den mineralischen Pool haben, da das 95% Konfidenzintervall die Nulllinie kreuzt. Die Moderatorenanalyse ergab, dass die Moderatoren keine signifikanten Einflüsse auf die Gesamteffektgröße haben.
In den nächsten Schritten werden eine Meta-Analyse und eine Moderatoren-Analyse für den mikrobiellen und partikulären Pool durchgeführt. Eine zweite Suchrunde für seit April 2022 veröffentlichte Artikel ist geplant, um zusätzliche Studien zu finden, die die Datengrundlage festigen und somit die Genauigkeit unserer Studie verbessern könnten.

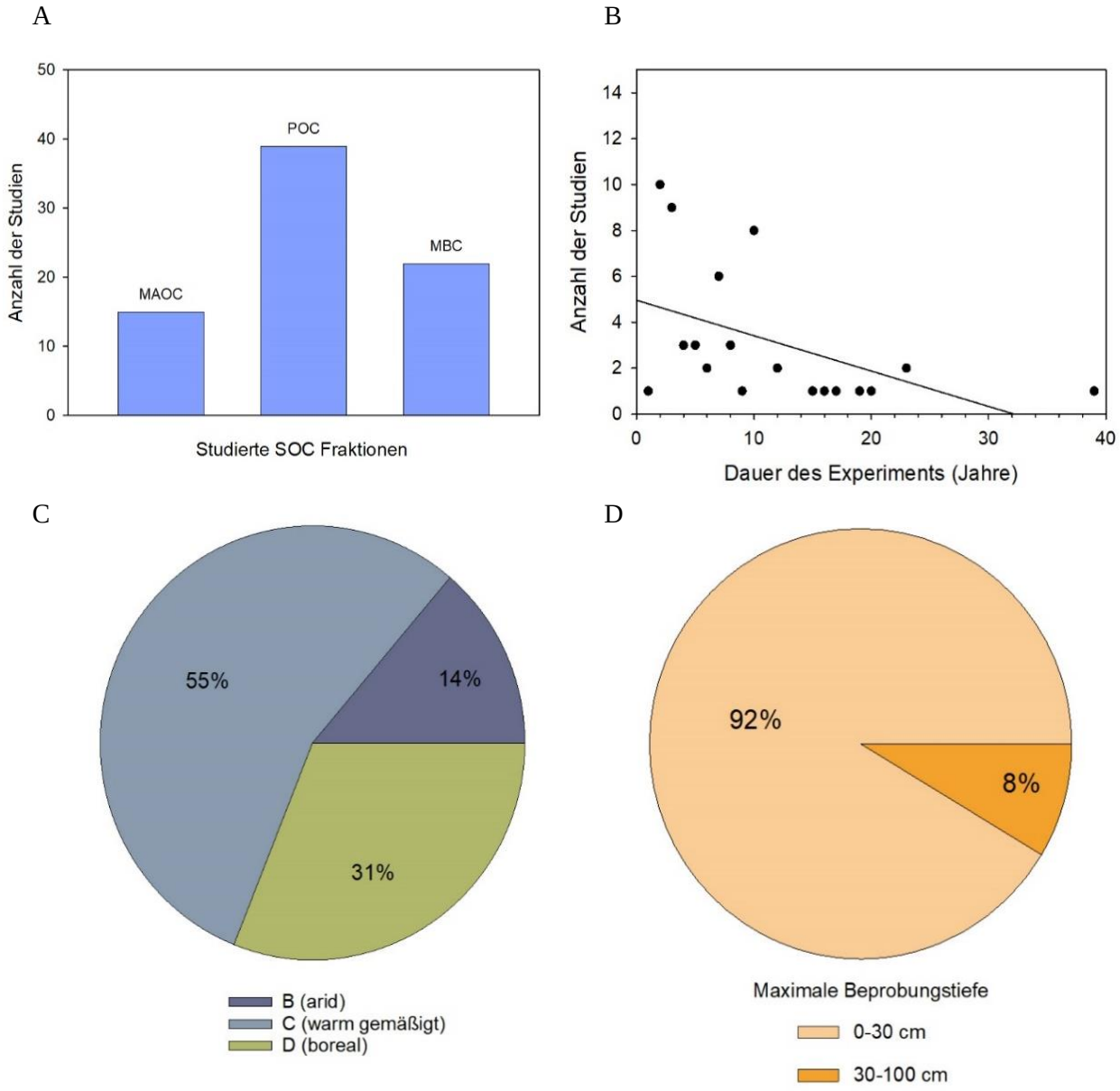


Abbildung 1: **A) Anzahl der Studien, die den mineralischen Kohlenstoffpool (MAOC), den partikulären Kohlenstoffpool (POC) und des mikrobiellen Kohlenstoffpool (MCB) untersuchen. B) Experimenten Dauer der Studien. C) Hauptklimazonen der Versuchsstandorte in den Studien, gemäß der Köppen-Geiger-Klimaklassifikation von KOTTEK et al. 2006. D) Maximale Bodenbeprobungstiefe der Bodenkohlenstoff-Pools in den Studien.**

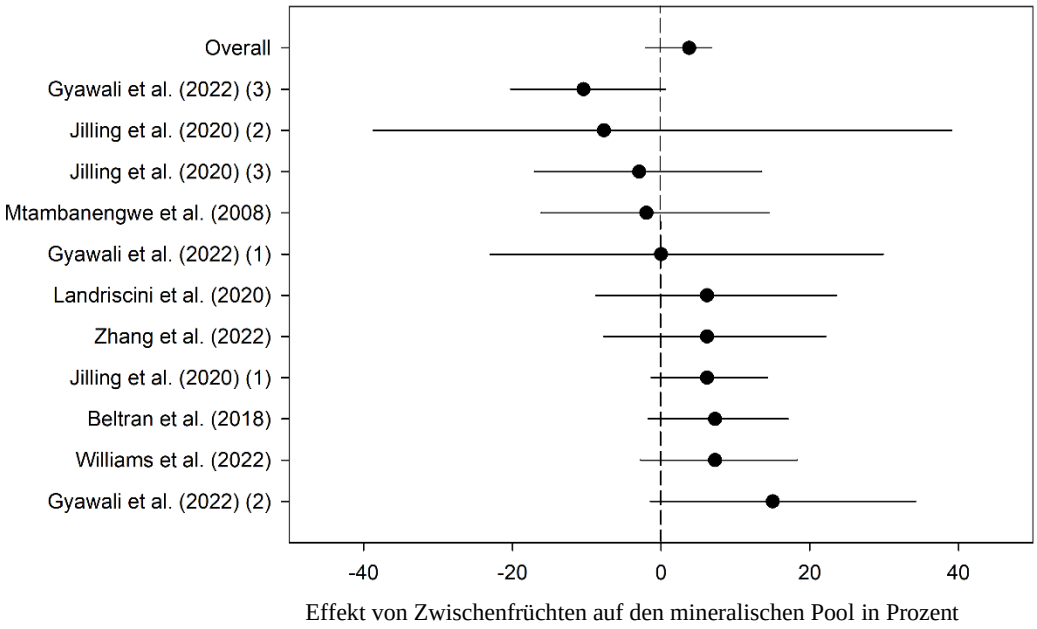


Abbildung 2: **Effekte von Zwischenfrüchten auf den mineralischen Pool, dargestellt als Gesamteffekt („overall“) und als Einzeleffekt jeder inkludierten Studie.**

Zusammenfassung

Mithilfe der Meta-Analyse wollen wir Studien über die Auswirkungen von Zwischenfrüchten auf die organischen Kohlenstofffraktionen in Ackerböden in allen Bodentiefen (bis zu 100 cm) quantitativ zusammenfassen. Einbezogen wurden globale Studien, welche in Klimazonen durchgeführt wurden, die auch in Europa vorhandenen sind. Die für diese Analyse ausgewählten Fraktionen sind der mikrobielle Biomassekohlenstoff, der partikuläre organische Kohlenstoff und der mit Mineralien assoziierte organische Kohlenstoff. Daneben werden wir die Auswirkungen einer breiten Palette von Einflussfaktoren untersuchen, wie z.B. pedoklimatische Faktoren, andere landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmethoden und Zwischenfrucht Merkmale.
Wir haben 58 Studien identifiziert, aus denen Mittelwerte für Kohlenstofffraktionen, deren Standardabweichungen und Stichprobengrößen für Behandlungen und Kontrollen extrahiert werden sollen. Zur Durchführung einer Meta-Analyse wird für jede Studie eine Effektgröße berechnet, die dann mit Hilfe eines Gewichtungsverfahrens über alle Studien hinweg zusammengefasst wird.
Diese Meta-Analyse wird wertvolle Informationen über den momentanen Wissensstand geben. Weiters soll gezeigt werden, in welchen Größenordnungen Zwischenfrüchte die verschiedenen Bodenkohlenstoff-Pools erhöhen können und welche Bedeutung dies für eine mögliche Kohlenstoff-Sequestrierung hat. Auch sollen die Unterschiede zwischen den Studien und die Gründe dafür genauer untersucht werden.

Abstract

By conducting a meta-analysis, we aim to quantitatively summarize studies related to cover crops effects on soil organic carbon (SOC) pools throughout soil depths (up to 100 cm) in cropland soils. We included global studies located in the climatic zones present in Europe. The pools chosen for this analysis are the microbial biomass carbon (MBC), the particulate organic matter (POM) and the mineral associated organic matter pool (MAOM). Alongside, we will study the effects of a broad range of moderators, such as pedo-climatic factors, other agricultural management practices and CC characteristics e.g., type or C/N ratio.
We identified 58 studies, of which mean values for SOC pools, standard deviations and sample sizes for treatments and controls will be extracted. To perform a meta-analysis, an effect size will be calculated for each study, which will then be summarized across studies by using weighing procedure.

This meta-analysis will provide valuable information on the state of knowledge on SOC pool change influenced by cover crops, corresponding quantitative summary results and the source of heterogeneity across studies.

Danksagung

Wir danken Horizon Europe 2020 für die Finanzierung dieses Projekts im Rahmen des European Joint Programm Soil (EJP SOIL, Finanzhilfevereinbarung Nr. 862695) und MIXRoot-C.

Literatur

FOHRAFELLNER J, ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S, MURUGAN R, VALKAMA E (2023): Quality assessment of meta-analyses on soil organic carbon, SOIL, 9, 117–140, https://doi.org/10.5194/soil-9-117-2023

JIAN J, DU X, REITER MS, STEWART RD (2020): A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping, Soil Biology and Biochemistry, Volume 143, 107735, ISSN 0038-0717, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735

KAYE JP, QUEMADA M (2017): Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review. Agron. Sustain. Dev. 37, 4. https://doi.org/10.1007/s13593-016-0410-x

LAVALLEE JM, SOONG JL, COTRUFO MF (2020): Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral-associated forms to address global change in the 21st century. Glob Change Biol., 26: 261– 273, https://doi.org/10.1111/gcb.14859

ROCCI KS, LAVALLEE JM, STEWART CE, COTRUFO F (2021): Soil organic carbon response to global environmental change depends on its distribution between mineral-associated and particulate organic matter: A meta-analysis, Science of the Total Environment, 793, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148569

SALAZAR MP, SORACCO CG., VILLARREAL R, POLICH NG, BELLORA GL, TURINETTO MJ, LOZANO LA (2020): Winter cover crops effects on soil organic carbon and soil physical quality in a typical argiudoll under continuous soybean cropping, Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 44, pp. 1–17, https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200103

SUN W, CANADELL JG, YU L, YU L, ZHANG W, SMITH P, FISVHER T, HUANG Y (2020): Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture, GLOBAL CHANGE BIOLOGY, 26(6), pp. 3325–3335. https://doi.org/10.1111/gcb.15001

CRYSTAL-ORNELAS R, THAPA R, TULLY KL (2021): Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis, Agriculture, Ecosystems and Environment, 312. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107356

JIAN J, DU X, REITER M, STEWART R (2020): A meta-analysis of global cropland soil carbon changes due to cover cropping, Soil Biology and Biochemistry, 143(January), p. 107735. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107735

MCCLELLAND SC, PAUSTIAN K, SCHIPANSKI ME (2021): Management of cover crops in temperate climates influences soil organic carbon stocks: a meta-analysis, Ecological Applications, 31(3). https://doi.org/10.1002/eap.2278

*Adressen der Autor*innen*

[1] BIOS Science Austria, Dietrichgasse 27, 1030 Vienna, Austria
[2] University of Environmental Sciences and Natural Resources, Vienna – BOKU, Institute of Soil Research (IBF), Department of Forest- and Soil Sciences, Gregor-Mendel-Straße 33 1180 Vienna, Austria
[3] Austrian Agency for Health and Food Safety - AGES, Institute for Sustainable Plant Production, Department for Soil Health and Plant Nutrition, Spargelfeldstraße 191 1220 Vienna, Austria
[4] Natural Resources Institute Finland (Luke), Bioeconomy and environment, Sustainability Science and Indicators, Tietotie 4, 31600 Jokioinen, Finland

[*] Kontaktperson: Julia FOHRAFELLNER, MSc., julia.fohrafellner@boku.ac.at

On farm-Evaluierung von mikrobiellem Wachstum und Kohlenstoffnutzungseffizienz in Böden unterschiedlicher Ackerbausysteme

On-farm evaluation of soil microbial growth and carbon-use efficiency in different arable systems

Christoph Rosinger[1,2*], Valentina Forer[3], Hans Sandèn[3], Axel Mentler[1], Gernot Bodner[2], Katharina Keiblinger[1]

Einleitung

Die Effizienz der mikrobiellen Kohlenstoffnutzung (CUE) wurde in den letzten Jahren – im Rahmen der neuen Humustheorie – als möglicher wichtiger Indikator für die Kohlenstoffsequestrierung in Böden postuliert (KALLENBACH et al., 2019). Die Kohlenstoffnutzungseffizienz setzt die Kohlenstoffnutzung für mikrobielles Wachstum in Verhältnis zur Gesamtkohlenstoffnutzung (d.h. mikrobielles Wachstum plus Kohlenstoffverluste durch heterotrophe Atmung). Theoretische Überlegungen legen nahe, dass eine hohe CUE der Bodenmikroorganismen mit gesteigertem Humusaufbau in Ackerböden einhergeht. Weiters könnte ein schneller Umsatz der mikrobiellen Biomasse dazu führen, dass sich mehr mikrobielle Nekromasse an geladene Mineraloberflächen anlagert; und so zusätzlich zu einem gesteigertem Humusaufbau führt. Eine umfassende Validierung dieser Hypothesen ist bisweilen aber noch ausständig; weiters ist noch nicht eindeutig geklärt, in wie weit Standorteigenschaften und die Bodentiefe mikrobielles Wachstum, CUE und mikrobiellen Umsatz beeinflussen.
In dieser Studie evaluieren wir daher mittels eines „on-farm" Ansatzes, wie sich unterschiedliche landwirtschaftliche Managementsysteme auf mikrobielle Wachstumsraten, CUE und den Umsatz der mikrobiellen Biomasse auswirken. Hierzu vergleichen wir konventionelle Landwirtschaftsbetriebe, innovative Betriebe mit dem vorrangigen Ziel der Steigerung der Bodengesundheit, und eine ungestörte natürliche Referenzfläche. Die folgenden Hypothesen werden getestet: (i) Pilz- und Bakterienwachstum zeigen folgende Trends: Referenz > Pionierbetriebe > Standardbetriebe; (ii) CUE ist – gleich den Humusgehalten – am höchsten in den Referenzflächen; und (iii) Bodentextur (als Standortparameter) und -tiefe haben einen signifikanten Einfluss auf die oben genannten Parameter.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Auf 21 Standorten in Nordostösterreich wurden folgende drei Managementsysteme verglichen: (i) Standardbetriebe mit gewöhnlicher Bewirtschaftungsweise (d.h. Pflugeinsatz auf 20-25 cm, Einsatz von Mineraldünger und Pestiziden); (ii) Pionierbetriebe mit dem primären Ziel der Erhöhung der Bodengesundheit (durch z.B. reduzierte Bodenbearbeitung, Anbau von Untersaaten und Zwischenfrüchten und organische Düngung) und (iii) eine ungestörte Referenzfläche (meistens ein Ackerrandstreifen). Die 21 gewählten Standorte decken eine große Bandbreite an Bodentypen ab. Bodenproben wurden in drei Tiefenstufen genommen (0-5, 5-20 und 20-35 cm), auf 2 mm gesiebt und weggefroren.

Laboranalysen

Für die Wachstums- und Respirationsmessungen wurde die gefrorenen Proben über das Wochenende bei 4 °C langsam aufgetaut. In weiterer Folge wurden die Proben bei 21 °C für eine Woche inkubiert, wobei der Wassergehalt auf 50% der Wasserhaltekapazität eingestellt wurde.
Für mikrobielle Basalatmung wurden 3 g frischer Boden über einen Zeitraum von 12 Stunden inkubiert und mittels Gaschromatografie gemessen. Pilzwachstum wurde mittels ^{14}C-Azetat-Inkorporation in Ergosterol, einem Biomarker für saprophytische Pilze, gemessen, während bakterielles Wachstum mittels ^{3}H-Leuzin-Inkorporation in Bakterien gemessen wurde.

Berechnungen und Statistik

Inkorporationsraten wurde anschließend, entsprechend SOARES AND ROUSK (2019), in Kohlenstoffeinheiten (µg C g^{-1} h^{-1}) umgerechnet. Mikrobielle CUE wurde folgendermaßen ermittelt:
CUE = (Pilzwachstum+bakterielles Wachstum) / (Pilzwachstum+bakterielles Wachstum+Respiration)
Weiters wurde der Umsatz der mikrobiellen Biomasse nach SPOHN et al. (2016) berechnet:
Umsatz (Tage) = Mikrobielle Biomasse C / (Pilzwachstum+bakterielles Wachstum)

Eine multivariate Kovarianzanalyse (MANCOVA) wurde verwendet um den Effekt von Management, Bodentiefe und Standort auf Basalrespiration, Wachstumsraten, das Verhältnis von Pilz- und Bakterienwachstum, CUE und den Umsatz der mikrobiellen Biomasse zu evaluieren. Des Weiteren wurden die drei Managementvarianten über die geschätzten Randmittel innerhalb der MANCOVA paarweise auf signifikante Unterschiede getestet.

Ergebnisse und Diskussion

Generell waren Management als auch Bodentiefe und Standort signifikante Prädiktoren für die mikrobielle Physiologie (Tabelle 1).

Tabelle 6: **Teststatistik einer MANCOVA-Analyse zur Evaluierung von Management-, Bodentiefe- und Standort-Effekten auf Respiration, Pilzwachstum, bakterielles Wachstum, Pilz:Bakterielles Wachstum, CUE und Mikrobielle Biomasse Umsatz. Teststatistiken des gesamten Modells sowie einzelner Parameter sind separat angegeben. Werte der einzelnen Parameter geben den F-Wert an, und Sternchen zeigen einen signifikanten Einfluss von Management, Bodentiefe und Standort (*, p<0,05; **, p<0,01; ***, p<0,001).**

	Wilk´s Lambda	F-Wert	p-Wert
Management	0,051	1,802	p<0,001
Bodentiefe	0,397	11,359	p<0,001
Standort	0,018	5,651	p<0,001

	Management	Bodentiefe	Standort
Respiration	**2,837*** **	**27,331*** **	**2,865*** **
Pilzwachstum	**3,006*** **	1,140	**21,495*** **
Bakterielles Wachstum	1,192	**14,454*** **	**4,810*** **
Pilz:Bakterielles Wachstum	**3,358*** **	**15,331*** **	**7,612*** **
CUE	1,239	0,662	**8,205*** **
Mikrobielle Biomasse Umsatz	1,035	**6,933** **	**13,952*** **

Respiration und bakterielles Wachstum waren in den Böden der Referenzflächen signifikant höher als in den beiden Landwirtschaftssystemen, welche sich nicht signifikant voneinander unterschieden (Abbildung 1A, C). Pilzwachstum zeigte – konträr zu unserer ersten Hypothese – den genau gegenteiligen Trend: hier wurden die höchsten Wachstumsraten in den Standardflächen und die niedrigsten Wachstumsraten in den Referenzflächen gemessen (Abbildung 1B). Aufgrund der Tatsache, dass die Pilzbiomasse am höchsten in den Referenzflächen ist und am niedrigsten in den Standardflächen, ist dieses Ergebnis durchaus überraschend. Daraus ergibt sich in weiterer Folge eine starke Verschiebung des Verhältnisses von Pilz- zu bakteriellem Wachstum, mit den höchsten Verhältnissen von ca. 0,4-0,5 in den beiden Agrarsystemen (Abbildung 1D) und signifikant niedrigeren Verhältnissen (ca. 0,25) in den Referenzflächen. Die daraus resultierende mikrobielle CUE zeigt, entgegen unseren Erwartungen, folgenden Trend (Abbildung 1F): die Böden der Standardbetriebe haben mit 0,255 die höchste mikrobielle CUE, gefolgt von den Pionierbetrieben (0,232) und den Referenzflächen (0,209). Diese Werte sind in ihrer Höhe im Einklang mit existierender Literatur (SOARES and ROUSK, 2019), jedoch gänzlich im Gegensatz zu unserer Hypothese und der bisherigen theoretischen Idee, dass eine hohe mikrobielle CUE einen Humusaufbau bedingt (KALLENBACH et al., 2019; ZHENG et al., 2019). Auf der anderen Seite finden SCHROEDER et al. (2022) ähnliche Unterschiede zwischen Landnutzungssystemen, welche die Autoren jedoch auf pH- und Substratqualitätsunterschiede zurückführen. Demnach sind auch mikrobielle CUE und Humusgehalte nicht miteinander korreliert. Aus diesem Grund vermuten wir einen Zusammenhang zwischen CUE und mikrobieller Kohlenstofflimitierung: ein geringerer Kohlenstoffinput aufgrund mangelnder Untersaaten, Zwischenfruchtanbau bzw. organischer Düngung in den Standardflächen könnte zu einer erhöhten Kohlenstofflimitierung führen, weshalb die Nutzungseffizienz steigt. Interessanterweise ist der Umsatz der mikrobiellen Biomasse in den Pionierflächen (ca. 88 Tage) signifikant höher im Vergleich zu den Standardflächen (ca. 67 Tage).

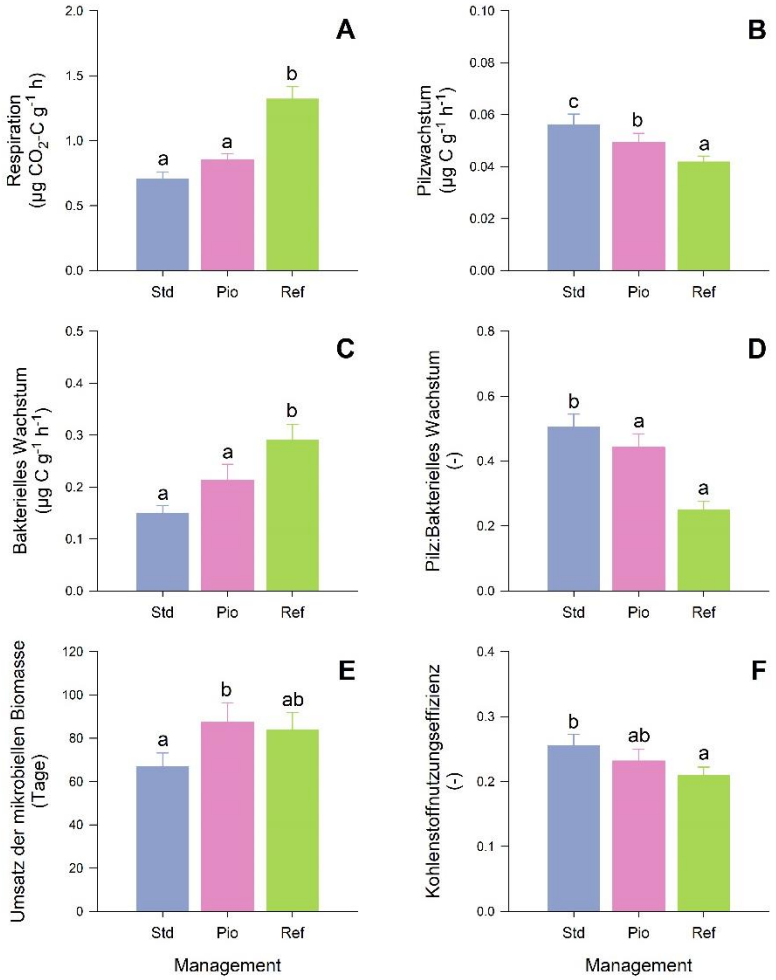


Abbildung 21: **Der Effekt von Management auf Respiration, Pilzwachstum, bakterielles Wachstum, Pilz:Bakterielles Wachstum, CUE und Mikrobielle Biomasse Umsatz. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (p < 0,05) zwischen Managementsystemen an**

Unsere Daten zeigen weiters, entsprechend unserer dritten Hypothese, dass der Standort den größten Einfluss auf die mikrobielle Physiologie hat (Tabelle 1). Im Besonderen zeigte sich die Bodentextur bzw. der Tongehalt des Bodens als signifikante Einflussgröße auf die mikrobielle Physiologie. Wir konnten unter anderem einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen Tongehalt und mikrobieller Kohlenstoffnutzungseffizienz sowie einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen Tongehalt und dem Umsatz der mikrobiellen Biomasse feststellen (Abbildung 2). Dies könnte auf einen Einfluss von Nährstoffverfügbarkeit bzw. Luft- und Wasserhaushalt hindeuten.

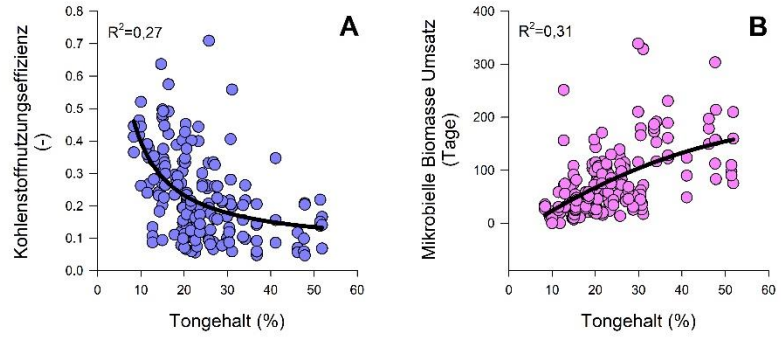


Abbildung 3: **Zusammenhang zwischen Tongehalt des Bodens und (A) CUE und (B) Mikrobielle Biomasse Umsatz. Die Trendlinie in (A) zeigt einen inversen Zusammenhang, während die Trendlinie in (B) eine quadratische Funktion darstellt.**

Unsere Ergebnisse zeigen somit klar, dass Managementmaßnahmen einen signifikanten Einfluss auf die mikrobielle Physiologie haben; managementunabhängige Standortfaktoren bleiben aber die stärksten Treiber.

Zusammenfassung

Eine Änderung des landwirtschaftlichen Managements hin zu bodenschonender Bearbeitung hat einen signifikanten Einfluss auf die mikrobielle Physiologie. Bakterielles Wachstum und Respiration sind tendenziell höher in Böden von Pionierbetrieben, während Pilzwachstum und die CUE signifikant niedriger sind. Verglichen mit den Standardflächen war der Umsatz der mikrobiellen Biomasse auf den Pionierflächen signifikant langsamer. Die höhere mikrobielle CUE mit Standardbewirtschaftung widerspricht der vorherrschenden Idee, dass eine höhere CUE mit höheren Humusgehalten einhergeht. Weitere Studien sind nötig, um die dahinterliegenden Mechanismen besser zu verstehen.

Abstract

In recent years, the microbial carbon-use efficiency (CUE) has been postulated– within the framework of the new humus theory – as a potentially important indicator for carbon sequestration in arable soils. A comprehensive practical validation is however still missing; furthermore, it is not yet clear to what extent site characteristics and soil depth influence CUE and microbial biomass turnover. Using an on-farm approach, we investigated microbial growth, CUE and biomass turnover across three soil management systems (conventional farming, pioneer farming and an undisturbed reference soil). Bacterial growth and respiration tended to be higher in soils from pioneer farms as compared to standard farming systems, while fungal growth and CUE were significantly lower. Compared to the standard farming systems, the turnover of microbial biomass was significantly slower on the pioneer areas. Overall, site characteristics exerted an immense effect on microbial physiology. The higher microbial CUE with standard management contradicts the prevailing idea that higher CUE is associated with higher soil organic carbon sequestration. Further studies are needed to better understand the underlying mechanisms.

Literatur

KALLENBACH, C. M., WALLENSTEIN, M. D., SCHIPANKSI, M. E., & GRANDY, A. S. (2019). Managing agroecosystems for soil microbial carbon use efficiency: ecological unknowns, potential outcomes, and a path forward. Frontiers in Microbiology, 1146.

SOARES, M., & ROUSK, J. (2019). Microbial growth and carbon use efficiency in soil: links to fungal-bacterial dominance, SOC-quality and stoichiometry. Soil Biology and Biochemistry, 131, 195-205.

SPOHN, M., KLAUS, K., WANEK, W., & RICHTER, A. (2016). Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth–Implications for carbon cycling. Soil Biology and Biochemistry, 96, 74-81.

SCHROEDER, J., PEPLAU, T., PENNEKAMP, F., GREGORICH, E., TEBBE, C. C., & POEPLAU, C. (2022). Deforestation for agriculture increases microbial carbon use efficiency in subarctic soils. Biology and Fertility of Soils, 1-18.

ZHENG, Q., HU, Y., ZHANG, S., NOLL, L., BÖCKLE, T., RICHTER, A., & WANEK, W. (2019). Growth explains microbial carbon use efficiency across soils differing in land use and geology. Soil Biology and Biochemistry, 128, 45-55.

Adressen der Autoren

[1] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[2] Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Konrad Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau

[3] Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[*] Ansprechpartner: Christoph Rosinger, christoph.rosinger@boku.ac.at

Auswirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsformen auf Bodenqualitäts-Parameter

Effects of Different Agricultural Management Practices on Soil Quality Parameters

Lea Wellinger[1*], Magdalena Bieber[2], Niklas Bruhn[2], Maria Manniche, Axel Mentler[2], Ingmar Prohaska[3], Christoph Rosinger[2], Jaturong Som-Ard, Franziska Weinrich[2], Sebastian Wieser[1], Katharina Keiblinger[1]

Einleitung

Die Bedeutung des Humusaufbaus in Agrarökosystemen nimmt aufgrund des Klimawandels und Trends zur regenerativen Landwirtschaft zu. Die Mission Soil Health der EU hat Ziele zur Erreichung der Bodengesundheit landwirtschaftlicher Böden festgelegt (European Commission, 2021). Um Verbesserungspotentiale durch bodenschonende Bewirtschaftung zu realisieren, müssen die Einflussgrößen auf Bodenqualitäts- und Gesundheitsparameter geklärt werden. Unsere Untersuchungen fokussieren auf die Anwendung von gängigen Bodengesundheitsindikatoren durch einen „on-farm" Ansatz anhand zweier Bodentypen. Dabei wird auch der Vergleich von Labor- und Feldmethoden zur Bestimmung von Bodenqualitäts- und Gesundheitsparametern durchgeführt, um die Eignung von Feldmethoden zu validieren.

Material und Methoden

Im November 2022 wurde Oberboden (0-10cm) unterschiedlicher Texturklassen an zwei Standorten in Niederösterreich beprobt (Tabelle 1). Dabei wurden landwirtschaftliche Böden von (i) Pionierbetrieben, die eine Kombination von bodenschonenden- und humusaufbauenden Maßnahmen anwenden (= Pionier), (ii) Standardbetrieben, die konventionelle Pflugbewirtschaftung praktizieren und keinen besonderen Fokus auf Humusaufbau legen (= Standard) und (iii) angrenzenden unbewirtschafteten Referenzflächen, die natürliche Standortverhältnisse unter dauerhaftem Bewuchs darstellen (= Referenz) untersucht. Die Bodenproben wurden nach Probenahme im Labor auf 2 mm gesiebt und auf chemische, physikalische und biologische Eigenschaften analysiert.

Tabelle 1: **Eigenschaften der Untersuchungsstandorte**

	Leichter Boden	***Schwerer Boden***
Standort	Eisgarn 48.921815° 15.101040°	Moosbrunn 47.999589° 16.423164°
Bodentyp (eBod)	Kalkfreie Felsbraunerde	Kalkhaltiger Tschernosem/Feuchtschwarzerde
Bodenart (eBod)	Lehmiger Sand	Schluffiger Lehm
Sand/Schluff/Ton	56/29/15	27/39/33
Management (Pionier)	RT+US+ZF+BIO+OS	RT+US+ZF+BIO
Pflugverzicht (Pionier) seit	29 Jahren	25 Jahren

RT = Reduzierte Bodenbearbeitung, US = Untersaat, ZF = Zwischenfruchtbau BIO = Biologische Landwirtschaft, OS = Applikation von organischer Substanz

Organischer Kohlenstoff (Corg) und Gesamtstickstoff (TN): Corg und TN-Bestimmung erfolge nach ÖNORM L 1080, die Bestimmung des Carbonatgehalts nach Scheibler nach ÖNORM L 1084.
Labiler Kohlenstoff (POxC): Die Erfassung des labilen Kohlenstoffs erfolgte mittels nasschemischer Oxidation einer 5 g feldfeuchten Bodenprobe mit 20ml 20mM Kaliumpermanganatlösung, abgewandelt nach Weil et al. 2003. Anschließend wurde die Menge an oxidiertem Kohlenstoff mittels Spektralphotometrie bei einer Wellenlänge von 550 nm bestimmt. Zum Vergleich der Labormethode mit einer weniger kostenaufwändigen Feldmethode wurde der Rotanteil (L*a*b Farbraum) der Kaliumpermanganatlösung mittels Smartphone-Fotos auf Basis von 3 Pixeln und Polygonen mit dem Programm R (R Core Team, 2021) erfasst und invertiert, indem vom a-Wert 100 subtrahiert wurde.
Mikrobielle Biomasse (Cmic) und Pilzbiomasse (Ergosterol): Die Analyse der mikrobiellen Biomasse wurde mit der Chloroform-Fumigation-Extraktion nach Vance et al., (1987) durchgeführt. Ergosterol: Die Pilzbiomasse wurde über die miniaturized glass bead Methode von Sae-Tun et al. 2020 modifiziert nach Gong et al. 2001 durchgeführt.

Enzymaktivität: Die potenzielle Aktivität der extrazellulären Enzyme ß-Glucosidase (GLU), Leuzin-Aminopeptidase (LAP) und N-acetyl-Glucosaminidase (NAG) wurde mittels Fluoreszenzspektrophotometrie mit MUF und AMC basierten Substraten nach Keiblinger et al. 2012 gemessen. Statistische Auswertung: Die Aufbereitung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel. Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogrammen R und SPSS durchgeführt, wobei Varianzanalysen, Post-hoc Tests (Tukey) und eine nichtparametrische Korrelationsanalyse angewandt wurden. Falls keine Normalverteilung oder Varianzhomogenität gegeben war, kamen robustere Tests zur Auswertung signifikanter Unterschiede zum Einsatz.

Ergebnisse und Diskussion

Humus spielt eine wichtige Rolle für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und bei bodenbiologischen Prozessen. In den Analysen wurde festgestellt, dass das Ausmaß der Steigerung von Humusgehalten von der Bodentextur abhängig ist. Die Ergebnisse unserer Analysen zeigen, dass Böden unterschiedlicher Texturklassen unterschiedlich auf verschiedene Bewirtschaftungsmethoden reagieren. Die Gehalte an C_{org} waren auf dem leichten Boden mit Pionierbewirtschaftung signifikant höher als auf der Standardfläche. Auf dem schweren Boden, der bereits hohe Ausgangswerte an organischem Kohlenstoff aufwies konnte kein signifikanter Unterschied in den C_{org}-Gehalten zwischen den Bewirtschaftungsformen festgesellt werden.

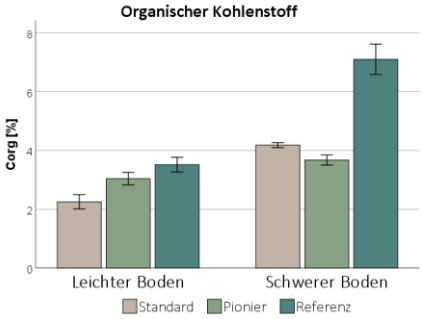


Abbildung 1: **Gesamter Organischer Kohlenstoff. Fehlerbalken: +/- 1 SD**

Labiler Kohlenstoff (POxC) stellt den leicht oxidierbaren Kohlenstoffpool für Mikroorganismen dar und gilt als sensitiver Indikator um Einflüsse unterschiedlicher Managementpraktiken aufzuzeigen (Bongiorno et al. 2019). Der leichte Boden wies unter Pionierbewirtschaftung signifikant die höchsten an labilem Kohlenstoff auf. Abbildung 2a, b und c zeigen die Ergebnisse der Messungen des labilen Kohlenstoffs über die Labormethode mittels Spektralphotometer (a) und der Feldmethoden (b,c). Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Bestimmung über das Spektralphotometer als auch die Feldmethode ähnliche Trends und Managementunterschiede aufzeigen.

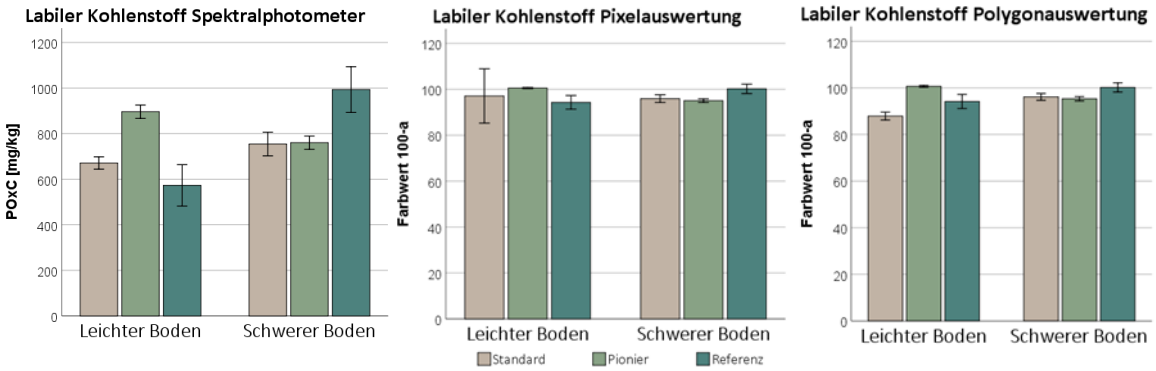


Abbildung 2a, 2b und 2c: **POxC Messungen mit Spektralphotometer (links), Pixel- (Mitte) und Polygonauswertung (rechts) Fehlerbalken: +/- 1 SD**

Mikrobielle Biomasse, Pilzbiomasse und Enzymaktivität

Die Proben der Pionierbewirtschaftung wiesen auf dem leichten Boden signifikant höhere Werte für mikrobielle Biomasse als die Standardbewirtschaftung auf. Auf dem schweren Boden gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen, jedoch ein Trend zu höheren Werten für die Pionierbewirtschaftung. Die Pilzbiomasse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen Standard und Referenz bei beiden Texturklassen, und Trends zu höheren Werten für die Flächen unter Pionierbewirtschaftung im Vergleich zu den Standardflächen. Die Analyse extrazellulärer Enzyme können Teil einer integrativen Bewertung von Bodengesundheit darstellen (Alkorta et al. 2003).

LAP und NAG sind an der Abspaltung von N-reichen Verbindungen von der organischen Substanz beteiligt. Die LAP-Aktivität war auf der Pionierfläche mit leichtem Boden signifikant höher als auf der Standardfläche mit gleichem Bodentyp. Auf der schweren Bodenart zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen. Die NAG Gehalte unter Pionierbewirtschaftung lagen zwischen den Werten der Standard- und Referenzfläche. GLU gilt als Indikator für Bodenqualität und steht direkt mit der Menge und Qualität der organischen Substanz im Boden in Verbindung (Ferraz de Almienda et al. 2015, Roldan et al., 2005). Die GLU-Aktivität im leichten Boden wies signifikant höhere Werte als die der Standard- oder Referenzflächen des leichten Bodens auf. Auf dem schweren Boden gab es einen Trend zu höheren GLU-Werten der Pionierfläche im Vergleich zu der konventionell bewirtschafteten Standardfläche.

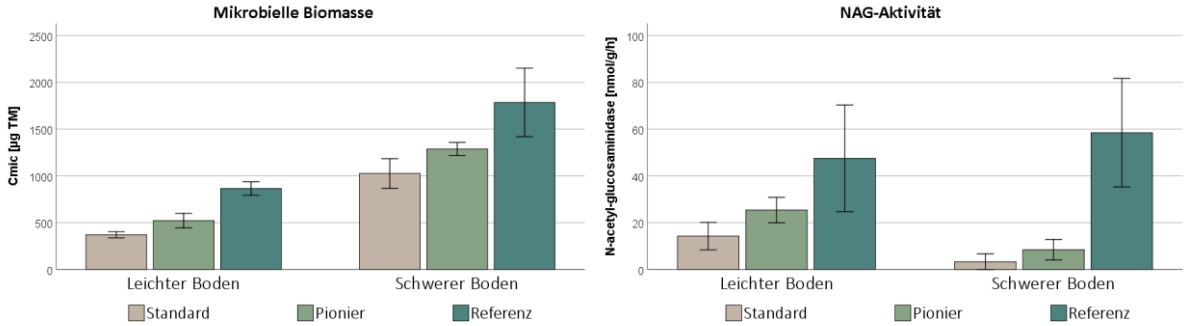
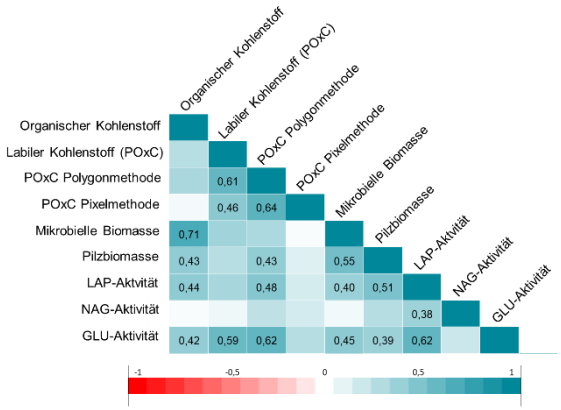


Abbildung 3a und 3b: **Mikrobielle Biomasse (links) und Enzymaktivität von N-Acetyl-Glukosaminidase (NAG) (rechts) Fehlerbalken: +/- 1 SD**



Korrelationsanalysen ergaben einen signifikant positiven Zusammenhang (p<0,01) zwischen Organischem Kohlenstoff und Mikrobieller Biomasse (r = 0,71), Pilzbiomasse (0,43), LAP- und GLU-Aktivität. Die Analysen des labilen Kohlenstoffs mittels Spektralphotometer und Polygonauswertung korrelierten ebenso signifikant positiv miteinander (r =0,61), was auf eine Eignung der Feldmethode hindeutet.

Abbildung 4: **Korrelationsmatrix mit Kendall Tau-Korrelationen und signifikanten Korrelationen (p <0,01), dargestellt durch Zahlen in den Zellen. Nur Zellen mit Zahlen zeigen signifikante Korrelationen an. Positive Korrelationen sind blau und negative Korrelationen sind rot markiert**

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchung war es, mittels eines On-farm-Ansatzes das Potenzial bodenschonender und humusaufbauender Bewirtschaftung im Vergleich zur Standardbewirtschaftung bei verschiedenen Bodentexturklassen zu untersuchen. Im November 2022 wurden landwirtschaftliche Böden in Niederösterreich (10 cm Tiefe) mit leichter (Braunerde) und schwerer (Tschernosem/Feuchtschwarzerde) Bodentextur beprobt und hinsichtlich Bodenqualitäts- und Bodengesundheitsparametern untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Auswirkungen und Potenziale bodenschonender Bewirtschaftung auf Böden mit leichter Texturklasse ausgeprägter waren als auf dem schweren Boden. Die schonend bewirtschaftete Fläche auf dem leichten Boden wies signifikant höhere Werte für organischen Kohlenstoff, labilen Kohlenstoff, mikrobielle Biomasse, Enzymaktivität von Leuzin-Aminopeptidase (LAP) und ß-Glukosidase (GLU) auf. Auf den schweren Böden waren bereits hohe Ausgangswerte für organischen Kohlenstoff und biologische Parameter vorhanden, wodurch weitere Verbesserungen schwieriger zu realisieren sein könnten. Korrelationsanalysen ergaben signifikante (p <0,01) Zusammenhänge zwischen organischen Kohlenstoff-, mikrobiellen Biomasse- und Pilzbiomasse-Werten und der Enzymaktivität von LAP und GLU. Zusätzlich ergab die Feldmethode zur Erfassung des labilen Kohlenstoffs

(POxC) durch Farbauswertung ähnliche Ergebnisse und korrelierte signifikant positiv (r = 0,61) mit der Labormethode, wodurch die Eignung der Feldmethode bestätigt wird. Die Ergebnisse legen nahe, dass insbesondere auf leichten Böden durch bodenschonende Bewirtschaftung Verbesserungen hinsichtlich Bodenqualitäts- und Bodengesundheitsparametern realisiert werden können.

Abstract

The aim of the work was to investigate the potentials of humus-building and soil-conserving management in comparison to standard management practices by applying an on-farm approach. For this purpose, agricultural soils (10cm) with light (Cambisol) and heavy (Chernosem/Phaeozem) texture class were investigated. The studies showed that the effects and increase potentials of soil conservation management practices are more pronounced on soils with light texture class than on heavy soil. The conserving managed area of light soil had significantly higher values for organic carbon, labile carbon, microbial biomass, enzyme activity of leucine aminopeptidase and ß-glucosidase. No significant differences were found between standard and pioneer cultivation on the heavy soil, but a trend toward higher values for pioneer cultivation was shown. The heavy soils already had high baseline values for soil quality and health parameters, making further increases possibly more difficult to realize. Correlation analyses revealed significant ($p<0.01$) correlations between organic carbon, microbial biomass and fungal biomass and enzyme activity. Additionally, the field method via colour evaluation for labile carbon detection yielded similar results and correlated significantly positively ($r= 0.61$) with the laboratory method, confirming a suitability of the field method to detect labile carbon. The results suggest that improvements in soil quality and health parameters can be realized through soil conservation management, especially on light soils.

Literatur

ALKORTA, I., AIZPURUA, A., RIGA, P., ALBIZU, I., AMEZAGA, I., GARBISU, C., 2003: Soil Enzyme Activities as Biological Indicators of Soil Health. Reviews on environmental health. 18. 65-73.

BONGIORNO, G., BÜNEMANN, E. CHIDINMA, U., OQUEJIOFOR, U., MEIER , J., GORT, G. COMANS, R., MÄDER, P:, BRUSSAARD, L. GOEDE, R., 2019: Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe -Ecological Indicators,Volume 99, 38-50

EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2021: Soil Mission Implementation Plan. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/system/files/2021-09/soil_mission_implementation_plan_final_for_publication.pdf (Zugegriffen 20.04.2022)

FERRAZ-ALMEIDA, R., NAVES, E. & MOTA, R., 2015 Soil quality: Enzymatic activity of soil β-glucosidase. 2437-1858

GALVEZ, A. SINICCO, T. CAYUELA M. MINGORANCE, M., FORNASIER, F. MONDINI, C.A., 2012: Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties, Agriculture, Ecosystems & Environment, 160, 3-14

GONG, P. GUAN, X., WITTER, E. 2001: A rapid method to extract ergosterol from soil by physical disruption. Applied Soil Ecology 17(3):285-289

KEIBLINGER, K. M., SCHNEIDER, T., ROSCHITZKI, B., SCHMID, E., EBERL, L., HÄMMERLE, I., LEITNER, S., RICHTER, A., WANEK, W., RIEDEL, K., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., 2012. Effects of stoichiometry and temperature perturbations on beech leaf litter decomposition, enzyme activities and protein expression, Biogeosciences, 9, 4537–4551

LUO L, MENG H, GU J-D., 2017 Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems. J Environ Manage.) 197, 539–49

ROLDÁN A, SALINAS-GARCÍA JR, ALGUACIL MM, DÍAZ E, CARAVACA F., 2005: Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillage practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. Geoderma, 129, 178-185

SAE-TUN, O., MAFTUKHAH, R., NOLLER, C., REMLINGER, V. I., MEYER-LAKER, V., SØRENSEN, A. C. T., SUSTIC, D., SOCIANU, S. I., BERNARDINI, L. G., MENTLER, A., KEIBLINGER, K. M., 2020: Comparison of commonly used extraction methods for ergosterol in soil samples. Int. Agrophys., 34(4), 425-43

VANCE, E. D., BROOKES, P. C. & JENKINSON , D. S. 1987: An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology & Biochemistry 19, 703–707
WEIL, R. STINE, M. GRUVER, J. SAMSON-LIEBIG, S. 2003: Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture. 18, 3 - 17

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Konrad-LorenzStraße 24, A-3430 Tulln

[2]Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Bodenforschung, Peter Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[*] Ansprechpartner: BSc. Lea Wellinger, lea.wellinger@students.boku.ac.at

Bodenmonitoring (LUCASSA)

Top soil monitoring (LUCASSA)

Hans-Peter Haslmayr[1*], Andreas Baumgarten[1], Günther Aust[2], Monika Tulipan[3], Elmar Schmaltz[4], Walter Wenzel[5]

Einleitung

Die Untersuchung chemischer und physikalischer Eigenschaften des Bodens bzw. deren zeitliche Veränderung ist von großer Bedeutung für eine Abschätzung des Zustandes dieser lebensnotwendigen Ressource. Allerdings existiert in Österreich kein bundesweit einheitlich durchgeführtes Bodenmonitoringprogramm. Auf europäischer Ebene gibt es hingegen das LUCAS (**L**and **u**se/**c**over **a**rea frame **s**urvey)-Programm, in dessen Rahmen regelmäßig wiederkehrende (3-Jahres Intervall) Untersuchungen des Oberbodens durchgeführt werden. Aufgabe des LUCASSA (LUCAS Soil Austria)-Projektes war es, den LUCAS-Datensatz einer nationalen Validierung zu unterziehen und v.a. dessen räumliche Repräsentativität zu überprüfen.

Material und Methoden

Dazu erfolgte während der LUCAS-Beprobungskampagne 2018 eine doppelte Probenahme, wobei eine Probenhälfte wie üblich von einem Labor im Auftrag der Europäischen Kommission untersucht, die zweite Hälfte als Parallelprobe bei der AGES analysiert wurde. Darüber hinaus erfolgte an knapp 80 LUCAS-Standorten eine LUCAS-analoge Entnahme von Bodenmaterial sowie eine Bodenform-bezogene Probenahme innerhalb einer Kreisfläche (r = 100 m) um den LUCAS-Punkt. Zur Untersuchung der Flächenrepräsentativität wurden auf acht ausgewählten LUCAS-Standorten zusätzliche Bodenproben geworben.

Ergebnisse und Diskussion

Die Analyse der doppelt geworbenen Proben zeigte einerseits, dass jene Parameter, die mit der gleichen Methode ermittelt wurden, eine hohe Übereinstimmung aufweisen und ein direkter Vergleich der beiden Datensätze möglich ist. Der Versuch einer Ableitung von Korrelationen zwischen Ergebnissen von Parametern, die nicht mit identischen Methoden erfasst wurden (z.B. pflanzenverfügbarer Phosphor oder pflanzenverfügbares Kalium) gelang allerdings aufgrund der unsystematischen Streuung der Differenzen nicht (siehe Abbildung 1). Damit ist es nicht möglich sämtliche LUCAS-Daten in das in Österreich gebräuchliche Referenzsystem überzuführen und deren Interpretation zu erleichtern.

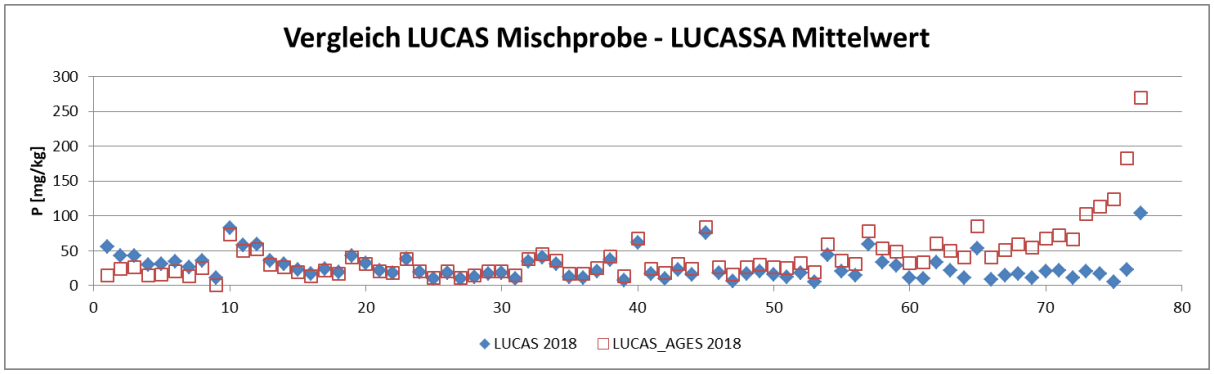


Abbildung 1: **Darstellung der Ergebnisse der pflanzenverfügbaren Phosphor-Gehalte [mg/kg] der Proben, die nach der LUCAS-Methode (Olson) (blaue Rhomben) bzw. nach der LUCASSA-Methode (ÖNORM L 1087) (braune Quadrate) analysiert wurden (Werte geordnet nach Größe der Abweichungen)**

Die Auswertung der Streuung der Ergebnisse innerhalb der einzelnen LUCAS-Standorte zeigte, dass die Eignung eines Punktes für ein Monitoring vorab im Detail abgeklärt werden sollte und auf eine präzise Probenahme geachtet werden muss. Die Varianz innerhalb des LUCAS-Beprobungsbereichs

war abhängig von Standort und Parameter unterschiedlich. Während z.B. der pH-Wert geringe Streuungen zeigte, wurde für den Humusgehalt teilweise eine hohe Varianz festgestellt.
Auch in Bezug auf die Repräsentativität des Standortes für einen Umkreis von lediglich 100 m muss in Einzelfällen mit deutlichen Abweichungen gerechnet werden. Aus Abbildung 2 wird deutlich, dass etwa die Lage des LUCAS-Punktes – die Verortung der Punkte entspricht den Knotenpunkten eines definierten Rasters – allein aufgrund von dessen Position (wie hier etwa durch den Einfluss der benachbarten Waldnutzung) eine Repräsentativität (allein für diesen Grünlandstandort) nicht gegeben sein kann. Schon innerhalb des engen LUCAS-Untersuchungsraumes (Umkreis um den Punkt mit einem Radius von zwei Metern) beträgt die Spannweite des dort gemessenen TOC-Gehaltes 5,18%. Der entsprechende Messwert (3,21%) aus einer Mischprobe der umgebenden Bodenform (lt. Österr. Bodenkarte) liegt unterhalb des Minimalwertes am LUCAS-Punkt (3,59%). Da innerhalb der 100 m-Radius-Kreisfläche neben der terrestrischen Bodenform (pseudovergleyte Braunerde) auf welcher der Punkt liegt, auch ein hydromorpher Boden vorkommt (silikatisches Niedermoor), ist auch hier eine Gültigkeit nicht mehr gegeben.

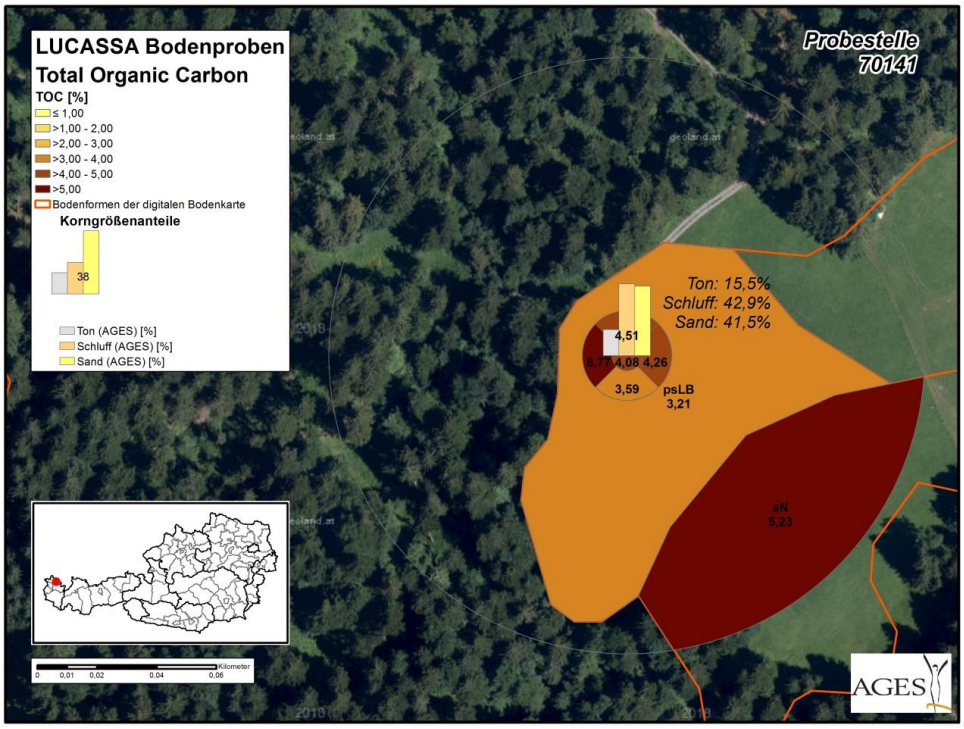


Abbildung 2: **Darstellung der Situation der TOC-Gehalte an einem LUCAS-Punkt in Vorarlberg (Erläuterung siehe Text)**

Noch deutlicher wurde dieser Mangel an Repräsentativität bei jenem Ansatz, bei dem auf ausgewählten Standorten innerhalb eines Bereiches von 4 km² um den LUCAS-Punkt weitere jeweils knapp 80 Punkte beprobt wurden.

Zusammenfassung

Das LUCAS-Bodenmonitoring ist ein wertvolles System zur Erfassung wesentlicher Bodeneigenschaften, das zusätzlich den Vorteil einer bereits relativ langen Zeitreihe bietet (seit 2009) und voraussichtlich in den kommenden Jahren fortgeführt werden wird. Eine zeitliche Veränderung der untersuchten Parameter kann damit erfasst werden, wodurch der Zweck eines Monitorings jedenfalls erfüllt wird.
Die Daten sind aufgrund der mangelnden Repräsentativität der Standorte bzw. aufgrund der Heterogenität der Böden Österreichs und deren kleinteiligen räumlichen Ausdehnung allerdings dafür ungeeignet, etwa über Extrapolationsverfahren Karten mit flächenhaften Bodeninformationen abzuleiten. Um nun beide Aspekte möglichst gewinnbringend zu vereinen, wird nun in einem Folgeprojekt (LUCASSA

II) versucht, die Grundlagen für ein nationales Monitoring zu erarbeiten, das zukünftig zeitliche Bodenveränderungen auf höchst repräsentativen Standorten erfassen kann.

Abstract

The LUCAS topsoil monitoring programme is a highly useful system in order to determine important soil properties and their temporal changes. Its significance is amplified due to the fact that there is no nationwide, uniformly organized soil monitoring programme operating in Austria. Thus, the intrinsic purpose of a monitoring system is definitely met.
But both due to the lack of representativeness of the LUCAS sites and the heterogeneity of Austria's landscape and soil cover, respectively, the LUCAS dataset is not feasible as a basis for creating soil property maps by extrapolating point data into spatial coverage. In spring 2023 a follow up project (LUCASSA II) was launched pursuing the goal of paving the road towards a national monitoring system that can bring together both aspects, to account soil property changes on highly representative sites.

Literatur

BAUMGARTEN A, HASLMAYR H-P, SCHWARZ M, AUST G, SCHMALTZ E, TULIPAN M, WENZEL W (2021): LUCASSA – LUCAS Soil Austria. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 101348.

Adressen der Autoren

[1] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für nachhaltige Pflanzenproduktion, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

[2] Bundesforschungsanstalt für Wald, Seckendorff-Gudent Weg 8, A-1130 Wien

[3] Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien

[4] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen

[5] Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenforschung, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[*] Ansprechpartner: DI Dr. Hans-Peter HASLMAYR, hahape@gmx.at

Mikroorganismen gegen Pflanzenkrankheiten: Innovative Alternativen für Zukunftsstrategien?

Microorganisms against plant diseases: Innovative alternatives for future strategies?

Siegrid Steinkellner

Kurzfassung

Gesunde Pflanzen sind ein Schlüsselelement, um den Anforderungen an eine ausreichende Produktion von Lebens- und Futtermitteln gerecht zu werden und um ausreichend pflanzliche Rohstoffe für die industrielle Verwertung zu gewährleisten. Dieser Anspruch ist ohne Pflanzenschutzmaßnahmen nicht realisierbar. Die Entwicklungen und Errungenschaften des letzten Jahrhunderts stoßen an ihre Grenzen, werden neuen Wertungen unterzogen und verlangen ein Überdenken der bisherigen Erfolge in der Sicherstellung der Pflanzengesundheit. Mikroorganismen gelangen auf der Suche nach innovativen, nachhaltigen Methoden zum Management von Krankheitserregern verstärkt in den Fokus und sind Hoffnungsträger für eine nachhaltige Pflanzenproduktion. Die ersten Erfolgsmeldungen zum Einsatz von Mikroorganismen, insbesondere Pilzen, als Pflanzenschutzmittel gegen Pflanzenkrankheiten sind mittlerweile nahezu 100 Jahre alt (Weindling 1932). Ausgehend von ersten Studien über *Trichoderma* sp. gegen *Rhizoctiona solani* wurde das Pflanzenschutzpotential zahlreicher Arten aufgezeigt und die wesentlichen Wirkmechanismen entschlüsselt. Während die Forschung vielversprechende Ergebnisse zeigt, steckt die Anwendung von Mikroorganismen gegen Pflanzenkrankheiten in der Praxis vergleichsweise in den Kinderschuhen. In Österreich sind derzeit nur 12 fungizide Wirkstoffe (14 Produkte) auf Basis von Mikroorganismen im Pflanzenschutzmittelregister gelistet, der Mehrzahl dieser Produkte wird ein Wirkungsgrad von unter 80 % zugewiesen - sie wirken damit nur befallsmindernd - oder sie sind mit einem Wirkungsgrad von unter 60 % nur bedingt wirksam (BAES 2023). Im Praxiseinsatz spielen Fungizide mikrobiologischen Ursprungs in der konventionellen und in der biologischen Landwirtschaft nach wie vor nur eine marginale Rolle, insbesondere in den landwirtschaftlichen Hauptkulturen und im pflanzenschutzintensiven Obst- und Weinbau.
In der Mehrzahl der früheren Studien wurden meist (auch mit chemisch-synthetischen Fungiziden) schwer bekämpfbare Pflanzenpathogene bei Gemüse- und Spezialkulturen in den Fokus gerückt. Bei Ackerkulturen liegt das vorhandene Wissen deutlich zurück. Für eine rentable, kommerzielle Nutzung sind neben der Wirksamkeit weitere Faktoren, wie die einfache Anwendbarkeit, geeignete Umweltbedingungen und eine ausreichende Wirkungsbreite relevant. Nicht zuletzt sind „Non target Effekte“ zu überdenken, um Fehler der Vergangenheit zu vermeiden und Mikroorganismen als nachhaltige Bausteine in Pflanzenschutzstrategien zu integrieren.

Abstract

Healthy plants are a key element in meeting the requirements for sufficient production of food and feed and securing sufficient plant raw materials for industrial use. This demand cannot be realized without plant protection measures. The developments and achievements of the last century are reaching their limits, are being subjected to a new evaluation, and require a rethinking of the successes achieved so far in securing plant health. Microorganisms are increasingly taking centre stage in the search for innovative, sustainable methods to combat pathogens and are a ray of hope for sustainable crop production. The first success stories on the use of microorganisms, in particular fungi, as plant protection agents against plant diseases are almost 100 years old (Weindling 1932). Starting with the first studies on *Trichoderma* sp. against *Rhizoctiona solani*, the crop protection potential of numerous species has been demonstrated and the major mechanisms of action deciphered. Although research shows promising results, the use of microorganisms against plant diseases is still in its infancy in practice. In Austria, only 12 fungicidal active ingredients (14 products) based on microorganisms are currently listed in the Plant Protection Products Register, with the majority of these products having an efficacy of less than 80% - i.e., only reducing damage - or having an efficacy of less than 60% with only limited efficacy (BAES 2023). In practical use, fungicides of microbiological origin still play only a marginal role in conventional and organic farming, especially in the main agricultural crops and in crop protection-intensive

fruit and wine growing. Most studies to date have focused on difficult-to-control plant pathogens (even with synthetic chemical fungicides) in vegetables and specialty crops. For arable crops, the state of knowledge is much more limited. In addition to efficacy, other factors such as ease of application, suitable environmental conditions, and a sufficient spectrum of activity are important for profitable commercial use. Last but not least, "non-target effects" need to be reconsidered to avoid past mistakes and to integrate microorganisms as sustainable components in crop protection strategies.

Literatur

BAES (2023): https://www.baes.gv.at/zulassung/pflanzenschutzmittel/pflanzenschutzmittelregister; abgerufen am 4.5.2023
WEINDLING (1932): *Trichoderma lignorum* as a parasite of other soil fungi. Phytopathology 22, 837-845.

Adresse der Autorin

[1] Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Konrad-Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln an der Donau

Flüchtige organische Verbindungen (VOC) von *Metarhizium brunneum* - innovative Anwendungsmöglichkeit zur Kontrolle von Schadinsekten?

Volatile organic compounds (VOC) of Metarhizium brunneum *- innovative application for the control of insect pests?*

Maria Zottele[1*], Pierre- Antoine Bourdon[2], Tariq Butt[2], Hermann Strasser[1]

Einleitung

Um sich in ihrer Umgebung behaupten zu können, produzieren die insektentötenden Pilze der Gattung *Metarhizium* spp. eine breite Palette von Stoffwechselprodukten, meist Produkte des Sekundärstoffwechsels. Diese können nicht nur in Form von Flüssigkeiten, sondern auch als flüchtige organische Verbindungen (volatile organic compounds; VOC) freigesetzt werden. Diese VOCs haben aufgrund ihrer Zugehörigkeit zu den verschiedensten chemischen Gruppen auch unterschiedliche Eigenschaften: So wurden beim Einsatz gegen Schädlinge aus der Insekten- und Schneckenklasse bereits unterschiedlichste Effekte und Verhaltensänderungen festgestellt (Mobilität, Attraktierung, Repellierung; HUMMADI et al. 2022, WOOD et al. 2022, LOZANO-SORIA et al. 2020, KHOJA et al. 2021). Zwei dieser volatilen Substanzen (1-Octen-3-ol und 3-Octanon) wurden gegen die Larven von *Agriotes lineatus* (Drahtwurm), *Phyllopertha horticola* (Gartenlaubkäfer) und *Diabrotica virgifera virgifera* (Maiswurzelbohrer) getestet, um festzustellen, inwieweit diese beiden Substanzen insektizide oder verhaltenssteuernde Eigenschaften besitzen.

Material und Methoden

Insekten: Sowohl Drahtwurm- als auch Gartenlaubkäferlarven wurden aus unbehandelten befallenen Standorten gesammelt und in mit Erde gefüllten Behältern in Quarantäne gehalten (Engerlinge vereinzelt). Maiswurzelbohrer wurden als Eier von der österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH bezogen und für den Versuch ausgebrütet. Larven des ersten und zweiten Stadiums wurden für die Versuche verwendet.
Wirkstoffe: Die beiden Stoffe 1-Octen-3-ol und 3-Octanon wurden als Reinsubstanzen von Sigma Aldrich (Frankreich) bezogen. Beide Stoffe konnten als VOCs von *M. brunneum* Ma43 (früher BIPESCO 5) nachgewiesen werden (HUMMADI et al. 2022)
Fumigationsversuch: Die Larven wurden in 50 mL Glasröhrchen für 24 h Stunden den VOCs ausgesetzt. Konzentrationen von 1,25 bis 20 µL wurden mit jeweils 10 Larven pro Ansatz und VOC untersucht. Die Auswirkungen wurden sowohl mit (10 g pro Röhrchen) als auch ohne Erde als Substrat getestet. Die Mortalität wurde nach 3, 6 und 24 h überprüft (BOURDON et al. 2022).
Verhaltensassay (Choice- Assay): Um das Verhalten der Testinsekten auf die VOCs zu untersuchen wurden 5 L Eisbehälter mit Erde befüllt und an jedem Ende jeweils 3 Maispflanzenkeimlinge gepflanzt. Anschließend wurden auf einer Seite 100 µL bzw. 2x100 µL der VOCs auf Filterspitzen hinter der Maisreihe in die Erde eingebracht und in der Mitte der Töpfe vier Larven platziert (10 Wiederholungen pro Behandlung). In der Kontrollgruppe wurden die Filter mit Wasser getränkt. Nach 5 Tagen wurde der Aufenthaltsort der Larven in den Töpfen eruiert (Mitte, behandelte Seite, unbehandelte Seite; BOURDON et al. 2023).

Ergebnisse und Diskussion

Die Larven von *P. horticola*, *D. v. virgifera* und *A. lineatus* wurden durch die beiden flüchtigen organischen Verbindungen 1-Octen-3-ol und 3-Octanon abgetötet. Wie auch von den Autoren HUMMADI et al. (2021) und KHOJA et al. (2019) berichtet, ist die Wirkung jedoch dosisabhängig und die tödliche Menge muss für jede Art einzeln bestimmt werden. So waren die Larven des Maiswurzelbohrers empfindlicher gegenüber den VOCs als die anderen beiden Insektenlarven. Am widerstandsfähigsten erwies sich der Drahtwurm, der keine Mortalität unter 5 bzw. 10 µL (1-Octen-3-ol bzw. 3-Octanon) zeigte, während die beiden anderen bereits durch die niedrigste Dosis von 1,25 µL getötet wurden. Neben der erhöhten Mortalität konnten auch morphologische Veränderungen wie Exsikkation und Melanisierung

durch die Einwirkungen der VOCs beobachtet werden (Abbildung 1). Aufgrund ihres flüchtigen Verhaltens liegt die Herausforderung für eine Anwendung im Feld in der Formulierung. Es sollte eine hohe Konzentration der flüchtigen Substanz in der Nähe des zu bekämpfenden Schädlings über einen ausreichend langen Zeitraum aufrechterhalten werden, so dass das Insekt tatsächlich getötet werden kann. Eine alternative Anwendungsmethode ergibt die Untersuchung zum Verhalten der Insekten gegenüber den beiden chemischen Komponenten: so wirkte 1-Octen-3-ol anziehend auf die Larven des Maiswurzelbohrers, während Drahtwürmer von diesem sowie von 3-Octanon eher abgestoßen wurden. Diese Stoffe könnten also gezielt dafür eingesetzt werden, die Lokomotion der Schädlinge im Feld bewusst in eine Richtung zu lenken. Mithilfe weiterer Bekämpfungsmaßnahmen (mechanisch, chemisch oder biologisch) könnte anschließend die Population des Schadinsekts gezielt reduziert werden. Diese Schädlings-Bekämpfungsstrategie erscheint verheißungsvoll, ist jedoch noch entscheidend von der Entwicklung von fortschrittlichen Nano- und Mikroabgabesystemen für diese bioaktiven Verbindungen abhängig. Ein Projekt zu diesem spezifischen Formulierungsschwerpunkt ist schon in Vorbereitung.

Abbildung 1: ***D. v. virgifera*** **Larve (links) und** ***P. horticola*** **Larven (rechts) nach Fumigation mit 1-Octen-3-ol. Während bei der Maiswurzelbohrerlarve Vertrocknungserscheinungen vom Kopf beginnend feststellbar sind, zeigen die Larven des Gartenlaubkäfers vermehrte Melanisationen.**

Zusammenfassung

Das Entomopathogen *Metarhizium brunneum* produziert Metabolite, die nicht nur als Flüssigkeit an ihre Umwelt abgegeben, sondern auch als flüchtige organische Verbindungen (VOCs) freigesetzt werden. Zu dieser Gruppe gehören unter anderem Substanzen, die für ihre insektizide Wirkung bekannt sind. Hier wird die Verwendung von zwei dieser Substanzen (1-Octen-3-ol aus der Gruppe der Alkohole und 3-Octanon aus der Gruppe der Ketone) gegen die Larven des Drahtwurmes (*A. lineatus*), Gartenlaubkäfers (*P. horticola*) und Maiswurzelbohrers (*D. v. virgifera*) vorgestellt. Ziel war es die Auswirkung dieser beiden Stoffe auf das Verhalten und die Mortalität der Larven zu untersuchen, um neue Anwendungsmöglichkeiten als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel aufzuzeigen. Alle Larven reagierten in Gegenwart der VOCs mit einer erhöhten Mortalität. Im Choice-Test konnte nachgewiesen werden, dass je nach Larvenart auch das Verhalten der Larven durch die VOCs verändert wurde. Diese Ergebnisse zeigen, dass diesen VOCs, kombiniert mit neuen fortschrittlicher Nano- und Mikroabgabesystemen, zukünftig auch eine Rolle in der Schädlingsbekämpfung im Freiland zukommen kann.

Abstract

The entomopathogen *Metarhizium brunneum* produces metabolites that are not only released as liquids into their environment, but also as volatile organic compounds (VOCs). This group includes, among others, substances known for their insecticidal effect. Here we present the use of two of these substances (1-octen-3-ol and 3-octanone) against the larvae of the wireworm (*A. lineatus*), garden chafer (*P. horticola*) and western corn rootworm (*D. v. virgifera*). The aim was to investigate the effect of these two substances on the behaviour and mortality of the larvae in order to identify new potential application methods as biological control agents. All larvae were affected by the presence of the VOCs and showed higher mortality than the control group. In the choice experiment, it could be demonstrated that, depending on the larval species, the behaviour of the larvae was also altered by the VOCs. These results show that these VOCs, combined with new advanced nano- and micro-delivery systems, may also have a role in future pest control.

Literatur

BOURDON PA, ZOTTELE M, BAXTER I, MYRTA A, MIDTHASSEL A, WECHSELBERGER KF, KHOJA S, BULL JC, STRASSER H, BUTT TM (2022): Fumigation of three major soil pests (*Agriotes lineatus, Diabrotica virgifera virgifera, Phyllopertha horticola*) with 3-octanone and 1-octen-3-ol enantiomers. In: Biocontrol Science and Technology 32, 7, 863-876.

BOURDON PA, ZOTTELE M, ZAFAR Z, BAXTER I, MIDTHASSEL A, MYRTA A, WECHSELBERGER KF, STRASSER H, BUTT TM (2023): Behavioral response of three subterranean pests (*Agriotes lineatus, Diabrotica virgifera virgifera, Phyllopertha horticola*) to the fungal volatile organic compounds 1-octen-3-ol and 3-octanone. In: Arthropod- Plant Interaction (in press).

HUMMADI EH, DEARDEN A, GENERALOVIC T, CLUNIE B, HARROTT A, CETIN Y, DEMIRBEK M, KHOJA S, EASTWOOD D, DUDLEY E, HAZIR S, TOURAY M, ULUG D, GULSEN SH, CIMEN H, BUTT TM (2021): Volatile organic compounds of *Metarhizium brunneum* influence the efficacy of entomopathogenic nematodes in insect control. In: Biological Control 155, 104527.

HUMMADI EH, CETIN Y, DEMIRBEK M, KARDAR NM, KHAN S, COATES CJ, EASTWOOD DC, DUDLEY E, MAFFEIS T, LOVERIDGE J, BUTT TM (2022): Antimicrobial volatiles of the insect pathogen *Metarhizium brunneum*. In: Journal of Fungi 8, 4, 326.

KHOJA S, ELTAYEF KM, BAXTER I, BULL JC, LOVERIDGE EJ, BUTT TM (2019): Fungal volatile organic compounds show promise as potent molluscicides. In: Pest Management Science 75, 12, 3392–3404.

KHOJA S, ELTAYEF KM, BAXTER I, MYRTA A, BULL JC, BUTT TM (2021): Volatiles of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium brunneum*, attract and kill plant parasitic nematodes. In: Biological Control 152, 104472.

LOZANO-SORIA A, PICCIOTTI U, LOPEZ-MOYA F, LOPEZ-CEPERO J, PORCELLI F, LOPEZ-LLORCA LV (2020): Volatile organic compounds from entomopathogenic and nematophagous fungi, repel banana black weevil (*Cosmopolites sordidus*). In: Insects 11, 8, 509.

WOOD MJ, KORTSINOGLOU AM, KHOJA S, KOUVELIS VN, MYRTA A, MIDTHASSEL A, LOVERIDGE EJ, BUTT TM (2022): *Metarhizium brunneum* (Hypocreales: Clavicipitaceae) and Its Derived Volatile Organic Compounds as Biostimulants of Commercially Valuable Angiosperms and Gymnosperms. In: Journal of Fungi 8, 10, 1052.

Adressen der Autoren

[1] Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie, Technikerstraße 25a, A-6020 Innsbruck

[2] Universität Swansea, Institut für Biowissenschaften, Singleton Park, UK- SA2 8PP Swansea

[*] Ansprechpartner: Maria ZOTTELE, maria.zottele@uibk.ac.at

Genetische Vielfalt des aspen mosaic-associated virus

Genetic diversity of aspen mosaic-associated virus

Shaheen Nourinejhad Zarghani[1*], Serghei Iancev[1], Rim Al Kubrusli[1], Risto Jalkanen[2], Carmen Büttner[1], Susanne von Bargen[1]

Zusammenfassung

Das aspen mosaic-associated virus (AsMaV) ist ein neues Mitglied der Emaraviren (REHANEK et al. 2022) und wurde als kausaler Erreger der Mosaikkrankheit der Zitterpappel (*Populus tremula*) identifiziert. Das Genom von AsMaV besteht aus fünf einzelsträngigen Negativstrang RNAs (-ssRNA). RNA1 (7,1 kb) kodiert für die virale RNA-abhängige RNA-Polymerase (RdRP, 268,2 kDa), RNA2 (2,3 kb), RNA3 (1,6 kb), RNA4 (1,6 kb) und RNA5 (1,3 kb) kodieren für das Glykoprotein-Vorläuferprotein (GPP, 73,5 kDa), das virale Nukleokapsidprotein (N, 35,6 kDa), ein mögliches Bewegungsprotein (MP, 41,0 kDa) und ein Protein unbekannter Funktion (P28, 28,1 kDa) (VON BARGEN et al. 2020). Unterschiedliche Regionen des Virusgenoms wurden untersucht, um die genetische Vielfalt und populationsgenetischen Parameter zu analysieren. Vollständige Sequenzen der AsMaV-RNA3 und RNA4, sowie Teilsequenzen der viralen RNA1 wurden mittels RT-PCR mit spezifischen Primerpaaren amplifiziert. Anschließend wurden die Amplifikate mittels RT-PCR-RFLP untersucht, und ausgewählte Varianten wurden sequenziert. Die Ergebnisse zeigten, dass AsMaV ein konserviertes Genom hat. Isolate aus Finnland und Schweden gehören jedoch zwei unterschiedlichen phylogenetischen Gruppen an und müssen wahrscheinlich verschiedenen Populationen zugeordnet werden. AsMaV-Varianten waren besser anhand von RNA3 differenzierbar als von RNA4 oder der teilweisem RNA1.

Abstract

Aspen mosaic-associated virus (AsMaV) is a new member of emaraviruses (REHANEK et al. 2022) and was identified as the causal agent of the mosaic disease in *Populus tremula*. The genome of AsMaV consists of five negative-sense single-stranded RNA (-ssRNA) molecules. The RNA1 (7.1 kb) encodes for the viral RNA-dependent RNA polymerase (RdRP, 268.2 kDa), RNA2 (2.3 kb), RNA3 (1.6 kb), RNA4 (1.6kb) and RNA5 (1.3kb) encode for the glycoprotein precursor (GPP, 73.5 kDa), viral nucleocapsid protein (N, 35.6 kDa), a putative movement protein (MP, 41.0 kDa) and a protein of unknown function (P28, 28.1 kDa), respectively (VON BARGEN et al. 2020). Different regions of the virus genome were used to investigate genetic diversity and population genetic parameters. Full-length AsMaV-RNA3, -RNA4, and partial -RNA1 were amplified via RT-PCR with specific primer pairs. Subsequently, the amplicons were investigated by RT-PCR-RFLP and selected variants were subjected to sequencing. The results showed that AsMaV has a conserved genome. However, isolates from Finland and Sweden are belonging to two different phylogenic groups and probably have to be assigned to different populations. AsMaV variants were discriminated better based on RNA3 rather than RNA4 or partial RNA1.

Literatur

VON BARGEN S, AL KUBRUSLI R, GASKIN T, FÜRL S, HÜTTNER F, BLYSTAD D-R, KARLIN DG, JALKANEN R, BÜTTNER C (2020): Characterisation of a novel Emaravirus identified in mosaic-diseased Eurasian aspen (*Populus tremula*). Annals of Applied Biology 176, 210-222. doi.org/10.1111/aab.12576

REHANEK M, KARLIN DG, BANDTE M, AL KUBRUSLI R, NOURINEJHAD ZARGHANI S, CANDRESSE T, BÜTTNER C, VON BARGEN S (2022): The complex world of emaraviruses – Challenges, Insights and Prospects. Forests 13, 1868. doi:10.3390/f13111868.

Adressen der Autoren

[1] Humboldt-Universität zu Berlin, Division Phytomedicine, Lentzeallee 55-57, D-14195 Berlin

[2] Silva Lapponica, SF-96460 Rovaniemi

[*] Ansprechpartner: Dr. Shaheen NOURINEJHAD ZARGHANI, nourines@hu-berlin.de

Trichoderma afroharzianum – Neueste Erkenntnisse zur Trichoderma Kolbenfäule an Mais

Trichoderma afroharzianum - Recent results on Trichoderma ear rot on maize

Annette Pfordt*, Eike Tannen, Peet Gaumann, Felix Voll, Lara Steffens,
Andreas von Tiedemann

Einleitung

Durch die Zunahme des Anbaus von Mais in Weizenfruchtfolgen in Kombination mit höheren Temperaturen im Sommer und zunehmender Trockenheit haben auch die Probleme mit pilzlichen Schaderregern zugenommen. Trichoderma-Arten gehören zu den Schlauchpilzen und kommen weltweit im Boden, an Pflanzenwurzeln, in verfaulenden Pflanzenresten und an Holz vor. Der am häufigsten auftretende Artenkomplex in Europa ist *Trichoderma harzianum* zu welchem die Art *T. afroharzianum* gehört. Sie gelten als Substratzersetzer und als Gegenspieler anderer Mikroorganismen und werden weltweit zur biologischen Krankheitsbekämpfung an Kulturpflanzen eingesetzt (Ghazanfar et al. 2018; Kubicek et al. 2008). Dabei werden unterschiedliche Mechanismen wie Mycoparasitismus, induzierte systemische Resistenz sowie Konkurrenz um Nährstoffe und Platz als Wirkungsweisen angegeben (Ferreira und Musumeci 2021; Rajesh et al. 2016).
Neuste Untersuchungen am Department für Nutzpflanzenwissenschaften der Universität Göttingen haben nun aber gezeigt, dass einige Trichoderma-Arten eine schwere Kolbenfäule an Mais auslösen können. Die Ergebnisse wurden kürzlich in der Zeitschrift Frontiers in Agronomy (Pfordt et al. 2020). publiziert. Bisher konnten weit über 20 Isolate aus Deutschland, Frankreich sowie Italien vom Maiskolben isoliert werden (Pfordt et al. 2020; Sanna et al. 2022). Dabei wurde die Trichoderma-Kolbenfäule insbesondere nach trockenen und heißen Vegetationsperioden beobachtet.
Diese Krankheit wird im Rahmen des Forschungsprojektes Tricho-Mais in der Abteilung Phytopathologie und Pflanzenschutz des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften der Universität Göttingen näher untersucht.

Das Krankheitsbild

Ein Befall mit Trichoderma ist durch weißes Myzelwachstum zwischen den Körnern, sowie massive Produktion von grün- bis graugrünen Konidienbelägen auf den Körnern und zwischen den Lieschblättern erkennbar (Abb. 1). Des Weiteren kann ein verfrühtes Auskeimen der Körner am Kolben beobachtet werden.

Abb. 1: **Befallssymptome an Mai nach natürlichem Befall und künstlicher Inokulation mit *T. afroharzianum* im Freiland.**

Auftreten in Europa

Im Jahr 2018 wurde erstmalig ein massives Auftreten von Trichoderma -Kolbenfäule an Mais in Deutschland beobachtet. Seitdem wurde die Trichoderma-Kolbenfäule an weiteren Standorten in Deutschland, sowie in Frankreich und Italien beobachtet und *T. afroharzianum* als neues Pathogen an Mais beschrieben. Dabei kam es besonders im Jahr 2022 zu einem starken Auftreten der Krankheit in Italien und entlang des Rheins (Abb. 2), was vermutlich der anhaltenden Trockenheit und den relativ hohen Temperaturen in den Sommermonaten geschuldet ist, wie wir aus Klimakammerversuchen ableiten können.

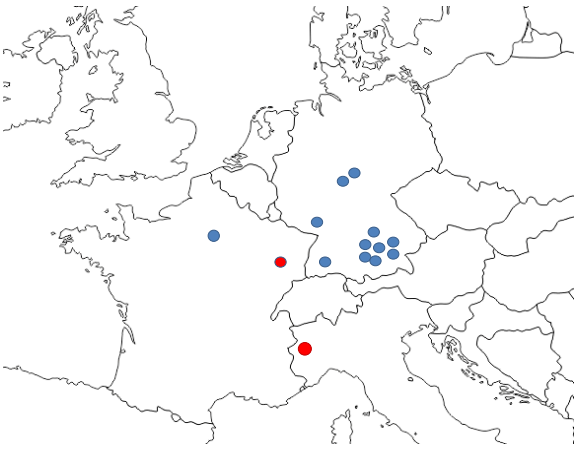


Abb. 2: **Auftreten von natürlichen Trichoderma-befall am Maiskolben in Europa**

Einfluss auf Ertrag und Qualität

Ein Befall mit Trichoderma Kolbenfäule führt nicht nur zu sichtbaren Schadsymptomen durch eine massive Produktion von grün- bis graugrünen Konidien, sondern reduziert das Gewicht und den Trockensubstanzgehalt des Kolbens erheblich. In Freilandversuchen auf den Versuchsflächen der Abteilung Pflanzenschutz und Pflanzenpathologe der Georg-August-Universität wurden im Jahr 2022 zwei Maissorten mit Trichoderma infiziert, um den Einfluss des Befalls auf den Frischmasseertrag und ausgewählte Qualitätsparameter zu untersuchen. Dabei wurden zwei Maissorten zum Zeitpunkt der Blüte mit einem pathogenen Trichoderma-Isolat und Wasser infiziert. Nach der Abreife wurde der Befall bonitiert und die Kolben anhand ihrer Befallsstärke in Kontrolle, 0% Befall, 1-30% Befall, 31-70% Befall und 71-100% Befall gruppiert.
Dabei wies die Sorte 1 einen signifikant geringeren Befall (29%) auf, als die Sorte 2 mit 68% (Abb.3).
Im Anschluss an die Bonitur wurden die Kolben gewogen, um das Frischmassegewicht zu bestimmen und nachfolgend gemahlen, um ausgewählte Qualitätsparameter zu untersuchen.
Dabei war das durchschnittliche Kolbengewicht in der Befallsklasse 71-100% um über die Hälfte (55%) im Vergleich zur Kontrolle verringert. Auch in den schwächeren Befallsgruppen kam es zu einer deutlichen Reduktion des Kolbengewichtes, auch wenn kein äußerer Befall (0%) sichtbar war (Abb.4).

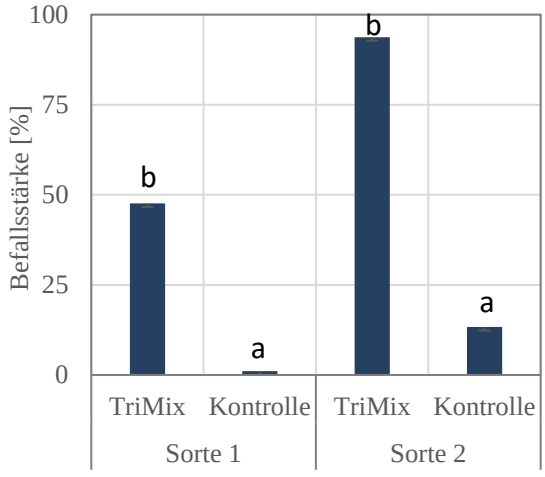


Abb. 3: **Befallsstärke (%) der Maiskolben nach der Inokulation mit TriMix und Wasser (Kontrolle) in Sorte 1 und Sorte 2**

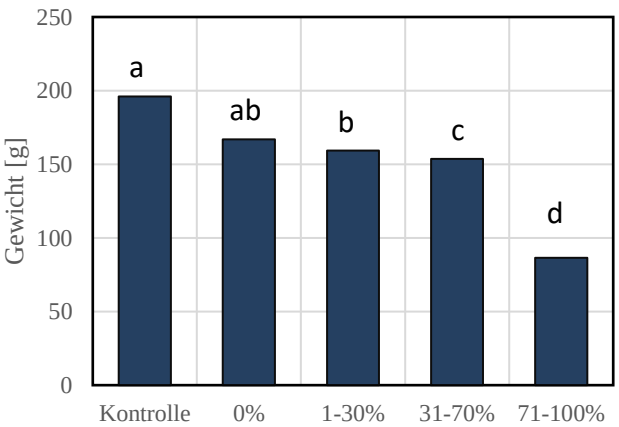


Abb. 4: **Reduktion des Kolbengewichtes (g) in den verschiedenen Befallsklassen im Vergleich zur Kontrolle**

Um die Ursache für das frühzeitige Auskeimen der Körner am Kolben herauszufinden, wurde die Amylaseaktivität sowie der Anteil verschiedener Zucker untersucht. Amylasen sind Enzyme, die Vielfachzucker wie Stärke in Einfachzucker wie Glukose und Fruktose umwandeln. Amylasen werden eigentlich während der Keimung in der Aleuronschicht des Getreidekorns gebildet, um wasserunlösliche Stärke in wasserlösliche Zucker umzuwandeln, die dem Keimling als Nahrungsgrundlage dienen.
In den Untersuchungen zeigte sich allerdings, dass mit steigendem Pilzbefall im Kolben auch die Amylaseaktivität zunimmt und dies die unmittelbare Ursache für das vorzeitige Auskeimen ist. Der Pilz selber produziert dabei Enzyme wie Amylasen und macht sich dabei die Umwandlungsprozesse zur einfacherer Nährstoffaufnahme zunutze. Dies wird auch durch den erhöhten Glukosegehalt in stark befallenen Kolben bestätigt.
Die erhöhte α-Amylseaktivität und das damit verbundene verfrühte Auskeimen der Körner am Kolben führt zu einer Verzögerung der Abreife welches den Futterwert deutlich herabsetzt. Außerdem verringern sich die Keimfähigkeit und Keimrate der infizierten Körner. So keimten von infizierten Körner lediglich noch 22% und die Keimlinge zeigten ein gestauchtes und deformiertes Wachstum. Eine weitere noch offene Frage ist, ob Trichoderma auch gesundheitsgefährdende Pilzgifte wie Trichotecene oder Harzianum A produziert, die zu einer erheblichen Qualitätsbeeinträchtigung des Ernteguts für die Fütterung führen können.

Auch Getreide kann befallen werden

Um das Wirtspflanzenspektrum von *T. afroharzianum* innerhalb der Getreidearten genauer zu untersuchen, wurden Inokulationsversuche im Gewächshaus an Gerste (*Hordeum vulgare*), Roggen (*Secale cereale*), Sorghumhirse (*Sorghum bicolor*) und Weizen (*Triticum aestivum*) durchgeführt. Dazu wurden die Ähren von jeweils zwei Sorten mittels Sprüh- und Spritzapplikation zum Zeitpunkt der Blüte inokuliert. Bei der Sprühapplikation wurden 2 ml Sporensuspension aus 20 cm Entfernung auf die Ähren gesprüht, während bei der Spritzinokulation eine Punktierung und Applikation der Suspension in das Korn erfolgte. Bereits zwei Wochen nach der Inokulation zeigten sich visuelle Befallssymptome wie Verbräunungen und Verfärbungen an den inokulierten Ähren von Weizen und Gerste (Abb. 3). Nach der Sprühinokulation kam es zu deutlichen Verfärbungen an der gesamten Ähre während die Spritzinokulation nur an der Injektionsstelle selbst und oberhalb davon Symptome zeigte. Demgegenüber konnten weder bei Roggen noch bei Sorghum Symptome beobachtet werden. Die inokulierten Ähren bzw. Rispen wurden nach der Abreife geerntet und gedroschen, um die Befallsrate der Körner auf Filterpapier sowie das Tausendkorngewicht zu bestimmen. Sowohl die inokulierten Körner der Gerste, als auch die von Weizen wiesen dabei eine deutlich höhere Befallsrate auf, als die Kontrolle. Besonders nach der Sprühinokulation konnte erhöhter Pilz-Auswuchs aus den Körnern bonitiert werden, womit sich die Ergebnisse aus der visuellen Bonitur bestätigen. Zudem war das Tausendkorngewicht der inokulierten Ähren signifikant geringer als in der Kontrolle. Obwohl die Sprühinokulation zu deutlicheren Symptomen und einer höheren Befallsrate führte, wurde das Tausendkorngewicht (TKW) bei Weizen besonders stark durch die Spritzinokulation reduziert. Bei Roggen und Sorghum gab es keine eindeutigen Unterschiede bei der Befallsrate und Tausendkorngewicht im Vergleich zur Kontrolle.

Abb. 3: **Befallssymptome an Weizen nach künstlicher Inokulation (21 dpi) mittels *T. afroharzianum***

Dies ist der erste Bericht über die Anfälligkeit von Weizen und Gerste gegenüber pathogenen *Trichoderma afroharzianum* Stämmen, die von Mais stammen. Ein Grund, warum Trichoderma-Befall an Getreideähren bisher noch nicht beschrieben wurde, kann darin bestehen, dass die Befallssymptome sehr unspezifisch sind und große Ähnlichkeit zu anderen Krankheiten wie Ährenfusariosen oder Spelzenbräune aufweist. Inwiefern es derzeit tatsächlich schon zum Befall im Freiland kommt und ob Trichoderma mit der regulären Fungizid-Applikation zur Blüte bekämpft werden kann, soll in weiterführenden Freilandversuchen getestet werden.

Fazit

Es konnte bestätigt werden, dass der beobachtete Befall von Maiskolben mit *T. afroharzianum* eine neue Kolbenkrankheit im Mais in Europa ist. Diese führt nicht nur zur massiven Bildung von graugrünen Sporenbelägen, sondern reduziert auch das Kolbengewicht, beeinträchtigt die Qualität und führt zum vorzeitigen Auskeimen der Körner am Kolben. Besonders in den vergangenen heißen und trockenen Jahren kam es zum vermehrten Auftreten des Pilzes in Deutschland, Frankreich und Italien. An Mais pathogene Stämme von *T. afroharzianum* waren in der Lage, auch andere Getreidearten wie Weizen und Gerste befallen und dort Schadsymptome an den Ähren und Ertragsverlusten im Gewächshaus auszulösen. Für eine Risikoabschätzung dieser neuen Krankheit und mögliche Bekämpfungsstrategien ist die Gewinnung von phytopathologischen und epidemiologischen Grundkenntnissen jetzt von größter Bedeutung.

Abstract

Trichoderma afroharzianum is a ubiquitous species occurring worldwide. Due to its mycoparasitic and endophytic properties, certain Trichoderma isolates are used in agriculture as biological plant protection and biocontrol agents. However, in 2018, a massive occurrence of *T. afroharzianum* on maize cob was observed for the first time in Germany. Since then, Trichoderma ear rot has been observed at several locations in Germany, France, and Italy, especially after dry and hot vegetationsperiods. Symptoms of Trichoderma ear rot are shown as massive production of green to gray-green conidia leading to significant reduction of cob weight and quality as well as deformed seedlings with reduced germination rate. In addition, *Trichoderma* strains from approved biological fungicides and soil additives proved to be pathogenic and caused a heavy infestation on the cob. In order to investigate the host plant spectrum of *T. afroharzianum*, inoculation trials were carried out in the greenhouse on barley, rye, sorghum and wheat. Visual symptoms of infestation, such as browning and discoloration, appeared on the ears of wheat and barley two weeks after inoculation, leading to high colonization rates and reduction of grain weight. Climat chamber experiments confirm the observation that *Trichoderma* is favoured by hot and dry conditions. The growth rate and disease severity of pathogenic *T. afroharzianum* isolates is increased above 25°C and show a broader temperature optimum, especially in the high temperature range.

Literatur

FERREIRA, FLAVIA V.; MUSUMECI, MATÍAS A. (2021): Trichoderma as biological control agent: scope and prospects to improve efficacy. In: *World journal of microbiology & biotechnology* 37 (5), S. 90. DOI: 10.1007/s11274-021-03058-7.

GHAZANFAR, M. U.; RAZA, M.; RAZA, W.; QAMA, M. I. (2018): Trichoderma as potential biocontrol agent, its exploitation in agriculture, a review. In: *Plant Protection* (2), S. 103–135.

KUBICEK, CHRISTIAN P.; KOMON-ZELAZOWSKA, MONIKA; DRUZHININA, IRINA S. (2008): Fungal genus Hypocrea/Trichoderma: from barcodes to biodiversity. In: *Journal of Zhejiang University. Science. B* 9 (10), S. 753–763. DOI: 10.1631/jzus.B0860015.

PFORDT, ANNETTE; SCHIWEK, SIMON; KARLOVSKY, PETR; TIEDEMANN, ANDREAS VON (2020): *Trichoderma afroharzianum* ear rot–A new disease on maize in Europe. In: *Frontier Agronomy* 2, Artikel 547758. DOI: 10.3389/fagro.2020.547758.

RAJESH, R. WAGHUND; RAHUL, M. SHELAKE; AMBALAL, N. SABALPARA (2016): Trichoderma: A significant fungus for agriculture and environment. In: *Afr. J. Agric. Res.* 11 (22), S. 1952–1965. DOI: 10.5897/AJAR2015.10584.

SANNA, M.; PUGLIESE, M.; GULLINO, M. L.; MEZZALAMA, M. (2022): First Report of Trichoderma afroharzianum Causing Seed Rot on Maize in Italy. In: *Plant disease*, PDIS12212697PDN. DOI: 10.1094/PDIS-12-21-2697-PDN.

Adresse der Autoren

Abt. Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Fakultät für Agrarwissenschaften, Georg-August-Universität Göttingen, Grisebachstrasse 6, 37077 Göttingen

* Ansprechpartner: Dr. Annette Pfordt, annette.pfordt@uni-goettingen.de

Exploring the Unseen – the role of the microbiome in perennial wheatgrass

Exploring the Unseen – die Rolle des Pflanzenmikrobioms in mehrjährigem Weizengras

Kristina Michl[1*], Gabriele Berg[1, 2, 3], Tomislav Cernava[1, 4]

Einleitung

Pflanzen stehen in engem Austausch mit Mikroorganismen, die sowohl das Innere als auch das Äußere der Pflanzen besiedeln können. Das Mikrobiom, die Gesamtheit aller Mikroorganismen, erfüllt viele essenzielle Funktionen für Pflanzen, wie die Bereitstellung von Nährstoffen, die Unterstützung bei der Keimung und die Erhöhung der Toleranz gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren. Das erlaubt uns das Pflanzenmikrobiom zu nutzen, nicht nur um die Pflanzengesundheit zu fördern, sondern auch um die Ertragsfähigkeit zu steigern und den Einsatz von Agrochemikalien zu reduzieren. Eine hohe mikrobielle Diversität ist dabei entscheidend, damit die Pflanze auf Umweltveränderungen reagieren kann (BERG et al., 2020). Ein großer Teil des heutigen Ackerlandes entstand aus Ökosystemen die ursprünglich von mehrjährigen Pflanzen bewachsen waren. Darüber hinaus werden heutzutage nur wenige Pflanzenarten angebaut, was sich negativ auf die mikrobielle Gesamtdiversität in terrestrischen Ökosystem auswirkt. Bodenerosion, Nährstoffabfluss (z. B. von Stickstoff, Phosphor) sind nur einige Beispiele dafür, wie die Bodengesundheit durch den kontinuierlichen Anbau einjähriger Kulturen leidet. Um dem entgegenzuwirken, werden vier Prinzipien vorgeschlagen: Maximierung lebender Wurzeln, Minimierung von Störungen und Eingriffen, dauerhafte Bodenbedeckung und Erhöhung der Biodiversität. Eine Pflanze, die diese Prinzipien vereint, ist mehrjähriges Weizengras (BAJGAIN et al., 2022). Ein dichtes und tiefes Wurzelsystem, das mehrere Jahre in demselben Feld bleibt, unterstützt ein besseres Nährstoff- und Wassermanagement und ermöglicht die Ansammlung nützlicher Bakterien. Mehrjähriges Weizengras wird seit den 1980er Jahren gezielt untersucht, doch es bedarf noch weiterer Forschung, um vor allem die Produktivität zu erhöhen (BAJGAIN et al., 2022). Daher untersuchen wir im Rahmen des Forschungsprojekts NAPERDIV das Pflanzenmikrobiom des mehrjährigen Weizengrases, um eine nachhaltige Alternative zum einjährigen Weizenanbau voranzubringen.

Material and Methoden

Während der Blütephase im Jahr 2021 wurden Wurzelproben von mehrjährigem Weizengras (*Thinopyrum intermedium* L.) und einjährigem Weizen (*Triticum aestivum* L.) in Lyon (Frankreich) und Gembloux (Belgien) gesammelt. Pro Land und Pflanzentyp wurden 20 biologische Replikate beprobt. Die Proben wurden einer Oberflächensterilisation und DNA-Extraktion unterzogen, gefolgt von einer Hochdurchsatz-Sequenzierung der V4-Region des 16S-rRNA-Genfragments. Die bioinformatische Analyse der Sequenzdaten erfolgte mit Qiime2 und R.

Ergebnisse und Diskussion

Insgesamt kamen in den analysierten Datensätzen überwiegend *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* und *Actinobacteria* vor. Wir konnten jedoch feststellen, dass sowohl der Pflanzentyp als auch der Standort wichtige Faktoren sind, die die relative Abundanz beeinflussen. Beispielsweise konnten wir zeigen, dass die Weizenwurzelproben aus Belgien eine höhere relative Abundanz von *Pseudomonadales* und *Streptosporangiales* auf als ihre mehrjährigen Gegenstücke. An beiden Standorten wiesen einjährige Pflanzen eine höhere relative Abundanz an *Flavobacteriales* auf, während *Pseudonocardiales* häufiger unter den Mehrjährigen vorkamen, vor allem die zwei Gattungen *Kibdelosporangium* und *Lechevalieria*. Über diese Bakteriengattungen ist nicht viel bekannt, aber ihre Vertreter werden für die Produktion von neuen Antibiotika und bioaktiven Sekundärmetaboliten untersucht. Erst kürzlich wurde gezeigt, dass sie als Endophyten Pflanzen besiedeln können und über Gene verfügen, die mit der Förderung des Pflanzenwachstums, Siderophoren und der Phytohormonsynthese in Verbindung stehen (QIN et al., 2015).
Weiters konnten wir zeigen, dass die größte Variationsquelle in den mikrobiellen Gemeinschaften der geografische Standort war. Darüber hinaus erklärte der Pflanzengenotyp einen erheblichen Teil der Varianz zwischen den Proben. Unsere Ergebnisse liefern einen ersten Einblick, wie eine weniger intensive Landwirtschaft die Biodiversität und die Interaktion zwischen Pflanzen und ihren Mikroorganismen beeinflussen kann.

Literatur

BERG, G., RYBAKOVA, D., FISCHER, D., CERNAVA, T., VERGES, M. C. C., CHARLES, T., ... & SCHLOTER, M. (2020). Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, *8*, 1-22

BAJGAIN, P., CRAIN, J. L., CATTANJ, D. J., LARSON, S. R., ALTENDORF, K. R., ANDERSON, J. A., ... & DEHAAN, L. R. (2022). Breeding intermediate wheatgrass for grain production. *Plant Breeding Reviews*, *46*, 119-217.

QIN, S., FENG, W. W., XING, K., BAI, J. L., YUAN, B., LIU, W. J., & JIANG, J. H. (2015). Complete genome sequence of Kibdelosporangium phytohabitans KLBMP 1111T, a plant growth promoting endophytic actinomycete isolated from oil-seed plant Jatropha curcas L. *Journal of Biotechnology*, *216*, 129-130.

Danksagung

Die Autoren werden vom Österreichischen Wissenschaftsfonds im Projekt NAPERDIV (FWF; Fördernummer I 5085) gefördert, das von BioDiversa (BioDivClim) im Rahmen des Horizon 2020 ERA-NET COFUND-Programms koordiniert wird.
Außerdem danken wir allen Naperdiv-Projektpartnern für die tolle Zusammenarbeit.

Adressen der Autoren

[1] Institute of Environmental Biotechnology, Graz University of Technology, Petersgasse 10, A-8010 Graz

[2] Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB), Max-Eyth Allee 100, D-14469 Potsdam

[3] Institute for Biochemistry and Biology, University of Potsdam, D-14476 Potsdam OT Golm

[4] School of Biological Sciences, Faculty of Environmental and Life Sciences, UK-SO17 1BJ Southampton

[*] Ansprechpartnerin: Kristina Michl, kristina.michl@tugraz.at

Anwendung des Grundstoffes Chitosan zur Reduktion des Echten Mehltaus an Schnittblumen

Potential of the basic substance chitosan in managing powdery mildew in ornamentals

Florian Wulf[1,2*], Jana Podhorna[1], Malgorzata Rybak[2], Carmen Büttner[1], Martina Bandte[1]

Einleitung

Durch die Anwendung von Grundstoffen bietet sich die Möglichkeit Pflanzenschutzstrategien im Gartenbau umwelt- und anwenderfreundlicher zu gestalten. Längst ist dies ein Ziel des modernen Pflanzenschutzes geworden. Das geringe Wissen um Wirkung und Verträglichkeit vieler Grundstoffe ist jedoch ein Problem für den Einsatz in der Praxis.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial und Versuchsanlage: Die Versuche zur Wirkung des Grundstoffes Chitosan wurden an Schnittrosen und Hortensien durchgeführt. Die Dauerkulturen wurden im Boden (Hortensie) oder im Substratsack (Rose) kultiviert. In der Versuchsanlage der Rosen wurden zwei Sorten alternierend aufgepflanzt. Die Versuchsglieder wurden vierfach wiederholt und Wiederholungen wurden entsprechend einer randomisierten Blockanlage verteilt.
Bonitur: Für die Bonitur wurde die befallene Blattfläche je Pflanze geschätzt. Die Datenerhebung erfolgte wöchentlich an n=28 bis 31 Rosen und n=27 bzw. 28 Hortensien. Die Bonitur des Echten Mehltaus an der Rose erfolgte getrennt nach Sorte. Zusätzlich zur Bonitur der befallenen Blattfläche, wurde die Pflanzenhöhe aufgenommen.
Versuchsglieder: In beiden Versuchsteilen diente eine Behandlung mit Wasser sowie die Anwendung von VitiSan (Zulassungsnr.: 007593-00, Wirkstoff: Kaliumhydrogencarbonat) als praxisüblicher Standard als Vergleich. Der Grundstoff Chitosan wurde in Form des Produktes ChiPro Plant (ChiPro GmbH, Bremen, DE) eingesetzt. Alle Anwendungen erfolgten wöchentlich mit handgeführter Düse. Die Infektion der Pflanzen mit Echtem Mehltau erfolgte natürlich.

Ergebnisse und Diskussion

Echter Mehltau an der Rose: Zu Versuchsbeginn war bereits in beiden Sorten ein deutlicher Befall mit Echtem Mehltau (*Podosphaera pannosa*) vorhanden. In der mit Wasser behandelten Kontrolle stieg die befallene Blattfläche im Versuchsverlauf weiter an. Die Behandlung in beiden Varianten, Kaliumhydrogencarbonat und Chitosan, führte in beiden Sorten zu einer leichten, jedoch signifikanten Reduktion der befallenen Blattfläche. Trotz der Behandlungen und daraus folgender Reduktion im Vergleich zur Wasser-Kontrolle, stieg die befallene Blattfläche im Versuchsverlauf an. Auch wenn eine signifikante Reduktion des Echten Mehltaus stattfand, führte der kurative Einsatz beider Stoffe Kaliumhydrogencarbonat und Chitosan, mit Blick auf die Praxis nicht zu einem zufriedenstellenden Ergebnis.
Echter Mehltau an der Hortensie: Im Versuch mit Hortensien erfolgte der Versuchsbeginn vor Infektionsstart. Ein deutlicher Anstieg der befallenen Blattfläche mit *Erysiphe polygoni* in der mit Wasser behandelten Variante wurde erst nach 21 bis 28 Tagen im Versuch erfasst. Die Anwendung der Stoffe Kaliumhydrogencarbonat und Chitosan führte zu einer signifikanten Reduktion des Befalls im Versuchsverlauf. Im protektiven Anwendungsfall zeigen die Daten im Versuch eine relevante Reduktion der Befallenen Blattfläche. Mit Blick in die Praxis ist damit ein Ansatz zur Nutzung von Chitosan als Baustein in einer Spritzfolge gesetzt.

Zusammenfassung

Grundstoffe bieten die Möglichkeit moderne Strategien im Pflanzenschutz Umwelt- und Anwenderfreundlicher zu gestalten. Aus diesem Grunde wurde die Wirkung des Grundstoffen Chitosan im Vergleich zur Anwendung von Wasser und einer im ökologischen Landbau zugelassenen, praxisüblichen Kontrolle zur Reduktion des Echten Mehltaus geprüft. An der Versuchspflanze Schnittrose erfolgte der

Einsatz kurativ und zeigte eine signifikante Reduktion der befallenen Blattfläche. Die Reduktion war jedoch aus unserer Sicht nicht ausreichend. An der Versuchspflanze Hortensie wurden die Stoffe protektiv eingesetzt. Beim Einsatz 21 Tage vor Infektionsbeginn führte die Anwendung ebenfalls zu einer signifikanten Reduktion der befallenen Blattfläche. Im Protektiven Einsatz bietet der Stoff Chitosan einen Ansatz zum Einbau in eine praxisrelevante Pflanzenschutzstrategie.

Abstract

Basic substances can be used to reduce the amount of synthetic plant protectants. In our study we investigated the foliar treatment of chitosan in comparison to water and potassium hydrogen carbonate intended to reduce the infected leaf area of powdery mildew. On roses the treatment of chitosan was done in a curative way and a significant reduction of the infected leaf area with *Podosphaera pannosa* could be shown. On French hydrangea the treatments were done 21 days before first infections occurred. In the protective use chitosan could reduce the infected leaf area as well. Regarding the use of the basic substance chitosan in practice, only the protective use can be recommended.

Literatur

WULF F, PODHORNA J, RYBAK M, BÜTTNER C, BANDTE M (2023): Studies on the potential of the basic substance chitosan in managing Podosphaera pannosa on cutting roses and Erysiphe polygoni on French hydrangea. In: Journal of Plant Diseases and Protection. DOI: 10.1007/s41348-023-00714-y

Adressen der Autoren

[1] Humboldt-Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Albrecht-Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Fachgebiet Phytomedizin, Lentzeallee 55-57, D-14195 Berlin

[2] Pflanzenschutzdienst Hamburg, Behörde für Wirtschaft und Innovation der Freien und Hansestadt Hamburg, Brennerhof 123, D-22113 Hamburg

[*] Ansprechpartner: Florian Wulf, florian.wulf@bwi.hamburg.de

Quantifizierung der viruziden Wirksamkeit mit MENNO Florades gegen das Tomato brown rugose fruit virus

Quantifying virucidal efficacy using a MENNO Florades against tomato brown rugose fruit virus

Shaheen Nourinejhad Zarghani[1*], Jens Ehlers[1], Merhan Monavari[2], Susanne von Bargen[1], Joachim Hamacher[3], Carmen Büttner[1], Martina Bandte[1]

Zusammenfassung

Das *Tomato brown rugose fruit virus* (ToBRFV) gehört zur Gattung *Tobamovirus* und ist in vielen Ländern, einschließlich Deutschland, ein reguliertes/Quarantäne-Pflanzenpathogen. Das Virus verursacht moderate bis schwere Symptome an Tomaten (*Lycopersicon esculentum*) und süßen Paprika (*Capsicum annuum*). Tobamoviren (einschließlich ToBRFV) gehören zu den schwerwiegendsten Bedrohungen für Tomaten weltweit, sind sehr stabil und bleiben mehrere Jahre infektiös außerhalb der Wirtszellen. Die monopartiten Virionen von Tobamoviren haben einen thermischen Inaktivierungspunkt von etwa 90°C und überleben in Pflanzensaft viele Jahre, was ihre Ausrottung aus infizierten Bereichen wie Gewächshäusern sehr schwierig macht. Nach dem Eintrag eines Quarantäne-/regulierten Pathogens müssen infizierte Pflanzen zerstört und das angebaute Gebiet (z.B. Gewächshaus) bis zum Ende der Anbausaison desinfiziert werden. Daher spielt die Auswahl eines wirksamen Desinfektionsmittels eine wichtige Rolle. Wir haben MENNO Florades gewählt, da es in Deutschland ein zugelassenes Pflanzenschutzmittel ist und sehr vielversprechende Ergebnisse bei der Deaktivierung von ToBRFV auf verschiedenen Oberflächen gezeigt hat (EHLERS et al. 2022a, 2022b). Mit der Verfügbarkeit unterschiedlicher Methoden zur Virusquantifizierung haben wir die Anwendung des quantitativen ELISA, der RT-qPCR und Biotest als Methoden zur Quantifizierung der Desinfektionsmittelwirksamkeit auf der Basis von viralen Proteinen, viralen Genomen bzw. Pathogenität untersucht (NOURINEJHAD ZARGHANI et al. 2022, 2023). Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass der Biotest die Wirksamkeit des Desinfektionsmittels mit zufriedenstellender Genauigkeit abschätzen konnte.

Abstract

Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) belongs to the genus *Tobamovirus* and is a regulated/quarantine plant pathogenic virus in many countries including Germany. The virus causes moderate to severe symptoms in tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) and sweet pepper (*Capsicum annuum*). Tobamoviruses (including ToBRFV) are among the most serious threats to tomatoes around the world and are very stable and remain infectious for serval years outside of the host cells. The monopartite virions of tobamoviruses have a thermal inactivation point of about 90°C and survive in plant sap for many years which makes their eradication from infected areas, like greenhouses, very difficult. After entry of a quarantine/regulated pathogen, infected plants shall be destroyed and the cultivated area (e.g. greenhouse) shall be disinfected by at least at the end of cultivating season. Therefore, the selection of an effective disinfectant plays an important role. We chose MENNO Florades since it is an authorized plant protectant in Germany and it showed very promising results in the deactivation of ToBRFV on different surfaces (EHLERS et al. 2022a, 2022b). With the availability of different methods for virus quantification, we investigated the application of quantitative ELISA, RT-qPCR, and bioassays as viral protein-, viral genome-, and pathogenicity-based methods for the quantification of disinfectant efficacy (NOURINEJHAD ZARGHANI et al. 2022, 2023). The results of this study showed that the bioassay could estimate the efficacy of disinfectant with satisfying accuracy.

Literatur

NOURINEJHAD ZARGHANI S, MONAVARI M, EHLERS J, HAMACHER J, BÜTTNER C, BANDTE M (2022): Comparison of Models for Quantification of Tomato Brown Rugose Fruit Virus Based on a Bioassay Using a Local Lesion Host. Plants 11, 3443.

NOURINEJHAD ZARGHANI S, EHLERS J, MONAVARI M, VON BARGEN S, HAMACHER J, BÜTTNER C, BANDTE M (2023): Applicability of Different Methods for Quantifying Virucidal Efficacy Using MENNO Florades and Tomato Brown Rugose Fruit Virus as an Example. Plants 12, 894.
EHLERS, J.; NOURINEJHAD ZARGHANI, S.; KROSCHEWSKI, B.; BÜTTNER, C.; BANDTE, M. 2022a. Cleaning of Tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV) from Contaminated Clothing of Greenhouse Employees. *Horticulturea.* 8, 751.
EHLERS, J.; NOURINEJHAD ZARGHANI, S.; KROSCHEWSKI, B.; BÜTTNER, C.; BANDTE, M. 2022b. Decontamination of Tomato Brown Rugose Fruit Virus-Contaminated Shoe Soles under Practical Conditions. *Horticulturea*, 8, 1210.

Adressen der Autoren

[1] Humboldt-Universität zu Berlin, Division Phytomedicine, Lentzeallee 55-57, D-14195 Berlin

[2] Federal Institute for Materials Research and Testing, Section S.3 eScience, Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin

[3] Universität Bonn, INRES - Plant Pathology, Nussallee 9, D-53115 Bonn

[*] Ansprechpartner: Dr. Shaheen NOURINEJHAD ZARGHANI, nourines@hu-berlin.de

Biologische Bekämpfung von Götterbaum auf landwirtschaftlich genutzten Flächen

Biological control of Tree of Heaven on agricultural used land

Benjamin Dauth*, Dragana Petrović, Oliver Maschek, Erhard Halmschlager

Einleitung

Der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) ist eine aus Südostasien stammende Baumart die im 18. Jahrhundert nach Europa eingeführt und in Folge u.a. als urbanes Ziergehölz, als Bienenweide, zur Faserproduktion und als schnell wachsendes Gehölz in Windschutzgürteln gepflanzt wurde. Bedingt durch seine Anspruchslosigkeit und hohe Konkurrenzkraft konnte sich der Götterbaum seit der Mitte des 20. Jahrhunderts, ausgehend von den städtischen Wärmeinseln, entlang von Bahn- und Leitungstrassen, Verkehrswegen und Hochwasserschutzdämmen invasiv ausbreiten (KOWARIK und SÄUMEL 2007). Ursprünglich vorwiegend auf Ruderalflächen beschränkt, konnte der Götterbaum mittlerweile in eine Vielzahl an Standorten vordringen und ist auch ein zunehmendes Problem auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Herkömmliche mechanische oder chemische Bekämpfungs-maßnahmen sind sehr zeit- und kostenintensiv und bringen oft nur partielle Erfolge (LIESZ und DRESCHER 2008). Seit 2011 wurde daher am Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz (IFFF) der Universität für Bodenkultur an einer biologischen Bekämpfung des Götterbaums, basierend auf dem Isolat Vert56 des Welkepilzes *Verticillium nonalfalfae* (Handelsname Ailantex®) geforscht (MASCHEK und HALMSCHLAGER 2017, 2018). Ursprünglich war die Anwendung nur für forstliche und urbane Flächen gedacht, aufgrund der hohen Nachfrage bestand jedoch das Interesse, die Indikation auf landwirtschaftlich genutzte Flächen auszuweiten. Da einige Isolate von *V. nonalfalfae* (vormals *V. albo-atrum* s.l.) jedoch als Welkeerreger an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bekannt sind, besteht die Notwendigkeit potenziell negative Auswirkungen des Isolats Vert56 auf Nicht-Ziel-Organismen zu testen (DAUTH et al. 2022).

Material und Methoden

Versuchszeitraum: Es wurden zwei Inokulationsversuche im Zeitraum März-Juli 2020 und April-August 2021 im Forschungsglashaus der Universität für Bodenkultur am Standort Türkenschanze durchgeführt.
Ausgewählte Arten und Sorten: Getestet wurden Aubergine (*Solanum melongena*) 'Teti F1', Erdbeere (*Fragaria x ananassa*) 'Senga Sengana', Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris*) 'Ferrari', Gartenrettich (*Raphanus sativus*) 'Wiener Runder Kohlschwarzer', Gurke (*Cucumis sativus*) 'Delikateß', Hopfen (*Humulus lupulus*) 'Celeia', Kartoffel (*Solanum tuberosum*) 'Ditta', 'Tosca' & 'Hermes', Weißkohl (*Brassica oleracea*) 'Brunswijker', Luzerne (*Medicago sativa*), Paprika (*Capsicum annuum*) 'Gelber Block' & 'Austrocapi', Petunie (*Petunia x hybrida*) 'Grandiflora Pacta Parade', Rote Rübe (*Beta vulgaris*) 'Forono', Spinat (*Spinacia oleracea*) 'Matador', Tomate (*Solanum lycopersicum*) 'Kremser Perle' & 'Corfu F1', Sellerie (*Apium graveolens*) 'Dolvi' & 'Cisko'.
Inokulation: Die Pflanzen wurden entweder aus Samen (bzw. Knollen) gezogen oder als Jungpflanzen bezogen. Für die Inokulation wurden die jeweils 30 besten Pflanzen ausgewählt und im Verhältnis 1:1 per Zufall der behandelten bzw. der Kontroll-Gruppe zugeteilt. Die Inokulation erfolgte mittels Wurzeltauchverfahren: Durch Abspülen wurden die Wurzeln der Pflanzen vollständig freigelegt und in Folge für 20 Minuten vollständig in eine Konidiosporensuspension ($5x10^6$ Konidien/ml) getaucht. Anschließend wurden die Pflanzen mit frischem Substrat eingetopft und eingegossen. Die Behandlung der Kontrollgruppe erfolgte auf gleiche Weise, als Inokulum wurde jedoch steriles Wasser verwendet.
Zur Kontrolle der Methode wurde sowohl eine behandelte als auch eine Kontroll-Gruppe von Götterbaum angelegt.
Bonitur: Die Pflanzen wurden über einen Zeitraum von zwei Monaten wöchentlich auf Symptome einer Verticillose (chlorotische und/oder welkende Blätter) mit folgendem Schema bonitiert: 0 = symptomlos, 1 = bis 20% der Pflanze betroffen, 2 = bis 40% der Pflanze betroffen, 3 = bis 60% der Pflanze betroffen, 4 = bis 80% der Pflanze betroffen, 5 = bis 100% der Pflanze betroffen).
Das Auftreten anderer Pathogene und Schädlinge wurde zusätzlich vermerkt.

Re-Isolierung des Erregers: Nach Abschluss der Bonitur wurden von allen Pflanzen Gewebeproben von Triebbasis, Triebmitte und Triebspitze entnommen und nach Oberflächensterilisation zur Re-Isolierung des Erregers auf 2% MEA Agarplatten aufgelegt. Die Platten wurden für 28 Tage bei 20°C im Dunkeln inkubiert. Morphologisch nicht eindeutig identifizierbare Kulturen wurden in Folge molekularbiologisch unter Anwendung der artspezifischen Primer NoF und NoNur untersucht (INDERBITZIN 2013).
Erhebung der Biomasse: Zur Erhebung der Gesamtbiomasse wurden von allen Pflanzen alle oberirdischen Teile, die nach Abschluss der Bonitur noch mit der Pflanze verbunden waren, geerntet und für 24 Stunden bei 105 °C getrocknet. Die in den Töpfen verbliebenen Wurzeln (und Knollen) wurden anschließend vollständig ausgewaschen und ebenfalls bei 105 °C für 24 Stunden getrocknet.
Auswertung: Die Einzeldaten der Bonituren wurden für jede Art/Sorte und Behandlungsgruppe gemittelt und als Kurve entlang der Zeitachse aufgetragen. Für jede Pflanze wurde außerdem die AUDPC (Area Under the Disease Progression Curve) berechnet. Die weitere statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 4.0.3). In Abhängigkeit der Ergebnisse der Vortests (Levene Test für Varianzhomogenität und Shapiro Wilk Test für Normalverteilung) wurden einfaktorielle Anova, Welch-Anova oder Wilcoxon Rangsummentest mit Dunn Test zur post-hoc Analyse als weitere Testverfahren ausgewählt.

Ergebnisse und Diskussion

Wie auch in vorherigen Versuchen beobachtet (MASCHEK und HALMSCHLAGER 2017, 2018; LECHNER et al. 2023) zeigten die behandelten Götterbäume starke Welke mit hoher Mortalität. Einzelne Individuen konnten gegen Ende des Versuchszeitraums an der Basis neu austreiben, was dem bekannten Muster entspricht. Aus allen Individuen konnte der Erreger re-isoliert werden. Die Kontrollgruppe blieb ohne Symptome.
Behandelte Pflanzen von Aubergine, Erdbeere, Hopfen, Kartoffel, Luzerne, Paprika und Tomate zeigten gegenüber der Kontrollgruppe keine oder nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der Entwicklung von Welkesymptomen. Der Erreger konnte aus diesen Arten aus über 50% der Versuchspflanzen erfolgreich re-isoliert werden, weshalb diese Arten als tolerant eingestuft wurden. Bei Aubergine, Erdbeere, Tomate und Paprika war im Versuchszeitraum von 8 Wochen jeweils eine geringfügig verminderte Biomasseproduktion in der behandelten Gruppe beobachtbar. Insbesondere bei Tomate war bei der Sorte 'Kremser Perle' im Zeitraum von drei Wochen nach der Inokulation verringertes Wachstum sichtbar. Bei Versuchsabschluss waren bei Tomate an der Triebbasis im Querschnitt zudem deutlich sichtbare Verfärbungen zu sehen. Dies deutet darauf hin, dass die Pflanzen die infizierten Gefäße durch Verthyllung verschlossen und den Erreger so eingeschlossen haben. Die Re-Isolierung bestätigte diese Vermutung: Diese war aus der Triebbasis bei allen Individuen möglich, aus der Triebmitte jedoch nur mehr bei vier von 15 Individuen. Aus der Triebspitze konnte der Erreger nicht isoliert werden. Unklar bleibt, ob infizierte Pflanzen das verringerte Wachstum im Laufe einer gesamten Vegetationsperiode ausgleichen hätten können und ob die Infektion in Folge zu einer verringerten Ernte geführt hätte. In diesem Zusammenhang muss jedoch erwähnt werden, dass die künstliche Inokulation eine natürliche Infektion (z.B. über kontaminiertes Erdreich) in ihrer Intensität weit übersteigt und die beobachteten Effekte möglicherweise nur bei künstlicher Inokulation zu sehen sind.
Bei Gartenbohne, Rettich, Roter Rübe, Sellerie und Weißkraut waren bei den Bonitur ebenfalls keine starken Abweichungen zwischen behandelter und Kontroll-Gruppe beobachtbar. Darüber hinaus konnte der Erreger bei diesen Arten nicht (Rettich, Rote Rübe, Sellerie) oder nur in sehr geringem Umfang (Gartenbohne, Weißkraut) re-isoliert werden, weshalb diese Arten als vermutlich resistent eingestuft werden. Da eine Resistenz gegenüber dem Erreger auch sortenabhängig sein könnte, sind weitere Testungen mit anderen Sorten dieser Arten notwendig, um das Ergebnis zu verifizieren.
Bei Petunie kam es in den ersten zwei Wochen nach der Inokulation zur starken Ausprägung von Welke (stark verringerter Blattturgor) und einer ausgeprägten Wuchsdepression (siehe Abb. 1). Nach 5 Wochen konnten sich einige Individuen erholen und teilweise neu austreiben. Am Ende des Boniturzeitraums war kein Individuum abgestorben, gegenüber der Kontrollgruppe waren die Pflanzen jedoch optisch erkennbar in deutlich schlechterem Zustand. Dies spiegelt sich auch in der erhobenen Trockenbiomasse wieder, die bei der behandelten Gruppe um rund 45% verringert war. Auch wenn die Pflanzen keine Mortalität zeigten wäre eine derartige Verticillose ein wirtschaftlicher Totalschaden, da betroffene Pflanzen nicht mehr vermarktungstauglich sind. In der Praxis dürfte die tatsächliche Gefahr jedoch nur eine untergeordnete Rolle spielen: Petunien werden üblicherweise in Kultursubstrat in Töpfen unter

geschützten Bedingungen produziert und in Folge als Topf- und Balkon- und Rabattenpflanze vermarktet. Ein Kontakt zum Erreger, ausgehend von inokulierten Götterbäumen, erscheint somit wenig wahrscheinlich.

Abbildung 1: **Petunie am 23. Tag nach Inokulation. Links ein Individuum der Kontrollgruppe, rechts ein Individuum der behandelten Gruppe.**

Bei Gurke kam es ebenfalls innerhalb der ersten beiden Wochen nach der Inokulation zur starken Ausprägung von Welke (stark verringerter Blattturgor) und deutlich reduziertem Wachstum (siehe Abb. 2). Ein zusätzlicher Befall mit *Pseudoperonospora cubensis* war bei allen Pflanzen beider Behandlungsgruppen im Verlauf des Boniturzeitraums beobachtbar. Die wöchentliche Behandlung mit Kupferhydroxid konnte die symptomatische Ausprägung eindämmen aber nicht verhindern. Am Ende des Boniturzeitraums waren 8 von 15 Pflanzen der behandelten Ggruppe abgestorben. Die restlichen Individuen zeigten starke Welkesymptome bzw. erhebliche Wuchsdepression, welche sich auch in der um rund 80% verringerten Trockenbiomasse gegenüber der Kontrollgruppe zeigte.

Abbildung 2: **Gurke am 15. Tag nach Inokulation. Links ein Individuum der Kontrollgruppe, rechts ein Individuum der behandelten Gruppe.**

Der negative Effekt der Infektion mit *Verticillium* ist bei Gurke evident, offen bleibt jedoch die Frage, welche Rolle der zusätzliche Befall mit *Pseudoperonospora* gespielt haben könnte. Die Bildung von pflanzeneigenen Abwehrstoffen (wie z.B. Phytoalexine (TJAMOS 1979)) steht in Abhängigkeit zur Photosynthese-Leistung. *Pseudoperonospora* befällt überwiegend die Blätter, wodurch die photosynthetisch aktive Oberfläche deutlich verringert wird, was im vorliegenden Fall die Abwehrleistung ge-

genüber *Verticillium* möglicherweise zusätzlich abgesenkt haben könnte. Eine Wiederholung des Versuchs mit Gurke, auch unter Einbeziehung weiterer Sorten, ist daher angeraten. Bis dahin sollte die Anwendung von Ailantex® in der Nähe von Gurkenanbauflächen jedenfalls unterbleiben.
Bei Spinat zeigten sich innerhalb kurzer Zeit deutliche Symptome einer Verticillose in Form chlorotischer Blätter, die rasch abwelkten. Die Symptome breiteten sich in kurzer Zeit über die gesamte Pflanze aus, weshalb der Versuch bereits 49 Tage nach Inokulation beendet wurde. Zu diesem Zeitpunkt waren 11 von 15 Pflanzen der behandelten Gruppe bereits abgestorben, die restlichen 4 kurz davor. Mit einer Durchschnittstemperatur von 25 °C waren die Bedingungen im Versuchsglashaus zudem nicht ideal für Spinat. Die Pflanzen der Kontrollgruppe begannen bereits im Versuchszeitraum zu blühen und zeigten anschließend erste Anzeichen von Seneszenz. Nichtsdestotrotz unterschied sich die gebildete Biomasse zwischen den beiden Behandlungsgruppen signifikant und war bei der behandelten Gruppe gegenüber der Kontrollgruppe um rund 75% verringert. Aufgrund des raschen symptomatischen Verlaufs und der hohen Mortalität wurde Spinat als vergleichbar anfällig wie Götterbaum eingestuft. Von einer Behandlung von Götterbäumen mit Ailantex® im Einzugsbereich von Spinatanbauflächen muss daher abgesehen werden.

Abbildung 3: **Spinat am 15. Tag nach Inokulation. Links ein Individuum der Kontrollgruppe, rechts ein Individuum der behandelten Ggruppe.**

Zusammenfassung

Der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) ist ein invasiver Neophyt, der sich zunehmend auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausbreitet. Das zur biologischen Kontrolle des Götterbaums eingesetzte Präparat Ailantex® (basierend auf dem Isolat Vert56 des Welkepilzes *Verticillium nonalfalfae*) hat sich bisher als hoch wirksam und stark wirtsspezifisch erwiesen. An den bisher getesteten Nicht-Ziel-Organismen (Gehölzpflanzen) zeigten sich keine unerwünschten Effekte wie Welke oder Mortalität. Da *V. nonalfalfae* jedoch ein bekanntes Pathogen einiger landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ist, müssen etwaige Auswirkungen auf diese Pflanzen vor dem Einsatz auf garten- und ackerbaulich genutzten Flächen genau abgeklärt werden. In zwei Inokulationsversuchen wurden 15 Arten, darunter der stark anfällige Hopfen, mit dem Isolat Vert56 inokuliert. Drei dieser Arten zeigten eine Anfälligkeit gegenüber dem Isolat Vert56: Petunie zeigte starke Welke mit erheblicher Wuchsdepression, jedoch keine Mortalität. Gurke zeigte starke Welke mit hoher Mortalität. Spinat zeigte starke Welke mit Mortalität aller behandelten Versuchspflanzen und war damit als einzige Art gleich stark betroffen wie der Zielorganismus Götterbaum. Alle anderen getesteten Arten wurden als tolerant bzw. resistent eingestuft. Diese Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Ailantex® auch auf landwirtschaftlich genutzten Flächen grundsätzlich möglich ist, beim Anbau anfälliger Arten jedoch räumliche und zeitliche Sicherheitsabstände eingehalten werden müssen. Weitere Untersuchungen zu möglichen Übertragungswegen und zur Persistenz des Erregers werden derzeit durchgeführt, um die Anwendungsbestimmungen genauer zu spezifizieren.

Abstract

Tree of Heaven (*Ailanthus altissima*) is an invasive neophyte that is increasingly spreading onto agricultural land. Ailantex® (based on *Verticillium nonalfalfae* isolate Vert56) used for biological control of *Ailanthus* has proven to be highly effective and fairly host adapted. No undesirable effects such as wilting or mortality were observed on tested non-target tree species so far. However, since *V. nonalfalfae* is a known pathogen of agricultural crops, any potential effects on these plants must be carefully examined before Ailantex® is used on agricultural sites. In two inoculation experiments, 15 species, including the highly susceptible species hop, were tested with isolate Vert56. Three of these species showed susceptibility: Petunia showed severe wilting with significant growth depression but no mortality; cucumber showed severe wilting with high mortality; spinach was as strongly affected as the target organism *Ailanthus* with severe wilting and mortality of all treated plants. The other tested species were considered tolerant respectively resistant. These results indicate that the use of Ailantex® on agricultural land is generally possible, but spatial and temporal safety distances must be maintained when cultivating susceptible species. Further investigations on possible ways of transmission and the persistence of the pathogen are currently conducted to specify the application regulations more precisely.

Literatur

DAUTH B, MASCHEK O, STEINKELLNER S, KIRISITS T, HALMSCHLAGER E (2022): Non-target effects of *Verticillium nonalfalfae* isolate Vert56 used for biological control of *Ailanthus altissima* on agricultural crops known to be generally susceptible to *Verticillium* spp.. Biol. Control 174, 105030.

INDERBITZIN P, DAVIS R M, BOSTOCK RM, SUBBARAO KV (2013): Identification and Differentiation of *Verticillium* Species and *V. longisporum* Lineages by Simplex and Multiplex PCR Assays. PloS one 8 (6), e65990.

KOWARIK I, SÄUMEL I (2007): Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst. 8 (4), 207–237.

LECHNER Y, MASCHEK O, KIRISITS T, HALMSCHLAGER E (2023): Further pathogenicity testing of *Verticillium nonalfalfae*, a biocontrol agent against the invasive Tree of Heaven (*Ailanthus altissima)*, on non-target tree species in Europe. Phytoparasitica 51, 113–130 (2023).

LIESZ N, DRESCHER A (2008): *Ailanthus altissima* spreading in the Danube National Park. NeoBiota (7), 84–95.

MASCHEK O, HALMSCHLAGER E (2017): Natural distribution of Verticillium wilt on invasive *Ailanthus altissima* in eastern Austria and its potential for biocontrol. For. Path. 47(5), e12356.

MASCHEK O, HALMSCHLAGER E (2018): Effects of *Verticillium nonalfalfae* on *Ailanthus altissima* and associated indigenous and invasive tree species in eastern Austria. Eur. J. For. Res. 137 (2), 197–209.

TJAMOS E C (1979): Induction of resistance to *Verticillium* wilt in cucumber (*Cucumis sativus*). Physiol. Plant Pathol. 15 (2), 223–227.

Adresse der Autoren

Universität für Bodenkultur, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Fortschutz, Peter Jordan Straße 82, A-1190 Wien

* Ansprechpartner: DI Benjamin DAUTH, benjamin.dauth@boku.ac.at

Schwefelgehalte im Raufutter von Praxisbetrieben aus Österreich

Sulfur contents of hay from Austrian dairy farms

Reinhard Resch[1*], Gerald Stögmüller[2]

Einleitung

Schwefel (S) ist ein wichtiger Baustein der essentiellen Aminosäuren Cystein und Methionin. In den letzten Jahren wurde in der Praxis die Behauptung laut, dass österreichische Grünlandflächen beim Schwefel nicht ganz bedarfsgerecht versorgt werden und dadurch auch die Rohproteingehalte im Futter unter den Erwartungen bleiben. Untersuchungen aus Bayern (DIEPOLDER und RASCHBACHER 2013) zeigten, dass diese Hypothese dort nicht zutraf, weil nur 2 % der analysierten Futterproben ein zu hohes Stickstoff-/Schwefel-Verhältnis (N/S) von mehr als 12:1 aufwiesen. Von den 32 % Futterproben mit Rohproteingehalten unter 150 g/kg TM konnten aus diesem Gesichtspunkt nur 6 % auf latenten Schwefelmangel zurückgeführt werden. Folglich wären zu geringe Rohproteingehalte in Bayern kaum durch Schwefelmangel erklärbar. In Österreich wird in den Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland (BMLRT 2022) wird davon ausgegangen, dass bei bedarfsgerechter, ertragsbezogener Grünlanddüngung mit Wirtschaftsdüngern, kein Ergänzungsbedarf für Schwefel besteht. Nach BÖHM (2013) und KIENDLER et al. (2017) konnten exakte Feldversuche bestätigen, dass die S-Gehalte im Futter durch S-Düngung erhöht werden können. Im LK-Heuprojekt 2022 wurden erstmals bundesweite Schwefelanalysen an insgesamt 456 Heuproben aus der Praxis durchgeführt, um das Wissen zum Thema Schwefel im Grünland zu erweitern.

Material und Methoden

Nachdem die Heu- und Grummetproben durch geschulte Probenzieher vom Heulager der teilnehmenden Praxisbetriebe gezogen wurden, erfolgte die Futteranalyse im Futtermittellabor Rosenau der LK Niederösterreich (www.futtermittellabor.at) anhand von Standardmethoden (VDLUFA 1976). Vom Organisationskomitee der LK-Grundfutterprojekte wurde im Vorfeld jeweils ein Mindestumfang für die Futtermittelanalyse festgelegt: Weender-Rohnährstoffe, Gerüstsubstanzen, Zucker und zusätzlich die Verpilzung (Feld- und Lagerpilzflora) von allen Heuproben untersucht (VDLUFA 2012a). Die Schwefeluntersuchung erfolgte in einem Partnerlabor nach VDLUFA-Methode 10.7.1 (1976).
Die statistischen Datenanalysen wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit der Software Statgrafics Centurion (Version XVII) und mit IBM SPSS Statistics (Version 28) durchgeführt. Für die mehrfaktoriellen Analysen wurde das GLM-Verfahren (Allgemeine lineare Modellierung) herangezogen. Die Mittelwertvergleiche wurden mit der Methode TUKEY-HSD (Honestly Significant Difference) durchgeführt. Die berechneten P-Werte beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 95 %.

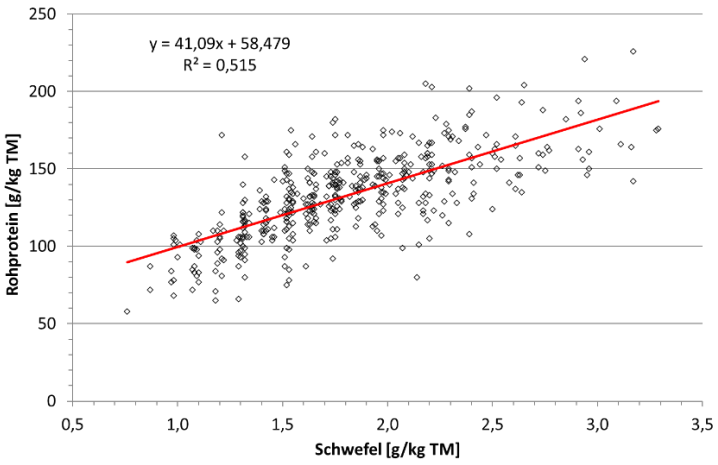


Abbildung 1: **Beziehung zwischen Rohprotein- und Schwefelgehalt in Heuproben (LK-Heuprojekt 2022)**

Ergebnisse und Diskussion

Die Regressionsanalyse in Abbildung 1 zeigt, dass rund 50 % der Datenvarianz der Schwefelgehalte durch den Rohproteingehalt erklärt werden können. Mit steigenden Rohproteingehalten stiegen in der Tendenz auch die Schwefelgehalte im Heu an. Neben der relativ engen Beziehung ist auch ersichtlich, dass bei einem bestimmten Rohproteingehalt die Schwefelgehalte eine Streuung von ca. 0,5 bis 1,5 g/kg TM aufwiesen.
Im Fragebogen 2022 wurde die Schwefeldüngung abgefragt. Insgesamt wurden zu 11,5 % der untersuchten Heupartien zusätzlich betriebsfremde schwefelhältige Düngemittel wie Sulfate (diAmmoniumsulfat, Calciumsulfat, Magnesiumsulfat), elementarer Schwefel u.a. verabreicht. Zwei Drittel der Schwefelanwender waren Biobetriebe, der Rest verteilte sich auf ÖPUL-Betriebe mit den Maßnahmen UBB oder Verzicht. Die Mengen an schwefelhältigen Düngern pro Hektar schwankten sehr stark von 20 bis 3.000 kg/ha. Eine differenzierte Auswertung der Art der Schwefeldünger war nicht möglich, da nur wenige Teilnehmer Angaben dazu machten.

Tabelle 1: **Faktoreneffekte auf den Schwefelgehalt von Heu im 1. Aufwuchs (LK-Heuprojekt 2022)**

Parameter [g/kg TM]	Statistik				P-Wert	P-Werte Management			P-Werte Covariablen			Mittelwerte Covariablen			Regressions-koeffizienten	
	Mittelwert	Standardfehler	Anzahl Proben	R^2	Bundesland	HKT (Siloverzicht)	Dauer der Feldphase	Trocknungsverfahren	Seehöhe	Erntedatum	Rohaschegehalt	Seehöhe	Erntedatum	Rohaschegehalt	Seehöhe (für 100 m)	Rohaschegehalt (für 1 g)
Schwefel (S)	**1,7**	0,16	155	42,0	**0,029**	0,119	**0,041**	**0,019**	0,686	0,099	0,069	798	26.5.	86	0,00	0,00

P-Werte bei 95 % Konfidenzniveau: < 0,01 = hoch signifikant, < 0,05 signifikant

Unter Einbeziehung von Covariablen und diversen Standort- sowie Managementfaktoren ergab die multifaktorielle Auswertung des Schwefelgehaltes von Heuproben mit einem linearen Modell (GLM), dass nur wenige Faktoren eine signifikante Wirkung ausübten (Tabelle 1). Nach RESCH und STÖGMÜLLER (2023) war der durchschnittliche S-Gehalt bei konstanter Seehöhe, Erntedatum und Rohaschegehalt in Niederösterreich (1,4 g S/kg TM) signifikant geringer als in Oberösterreich (1,9 g S/kg TM). Die Datenvarianz der Schwefelgehalte konnte in diesem GLM mit 42 % erklärt werden.

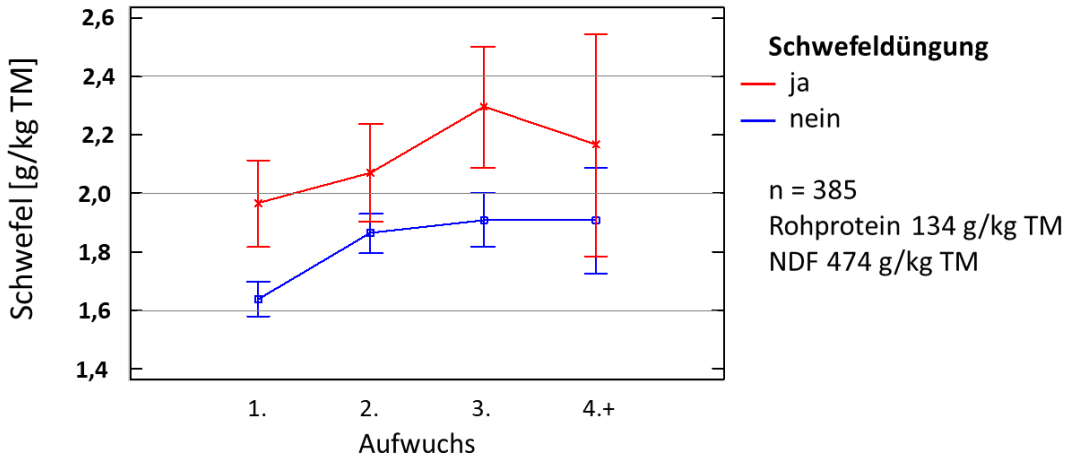


Abbildung 22: **Einfluss der Schwefeldüngung auf den Schwefelgehalt im Heu in Abhängigkeit des Aufwuchses (LK-Heuprojekt 2022)**

In einem reduzierten GLM wurden die Covariaten Rohprotein- und NDF-Gehalt sowie die Schwefeldüngung und der Aufwuchs einbezogen. Mit diesem GLM konnten 61 % der Datenvarianz erklärt werden. Ausgehend von einem adjustierten S-Mittelwert von 1,95 g/kg TM bewirkte die Rohprotein-

Zunahme um 10 g (Mittelwert 134 g XP/kg TM) eine Erhöhung des S-Gehaltes um + 0,13 g/kg TM. Im Vergleich dazu war der hoch signifikante Effekt der NDF-Zunahme um 10 g (Mittelwert 474 g NDF/kg TM) nur bei + 0,017 g S/kg TM.
Unter konstantem Rohproteingehalt lag der erste Aufwuchs mit durchschnittlich 1,78 g S/kg TM signifikant tiefer im S-Gehalt als der 3. Aufwuchs mit 2,01 g S/kg TM. Die Bewertung des Aspektes der Schwefeldüngung zeigte eine hoch signifikante Wirkung ($P < 0,01$), nämlich, dass mit einer zusätzlichen Schwefelgabe der S-Gehalt im Heu gegenüber keiner S-Düngung um durchschnittlich 0,24 g S/kg TM zunahm (Abbildung 2). Die Wechselwirkung zwischen Aufwuchs und Schwefeldüngung war nicht signifikant ($P = 0,412$), daher zeigen sich in Abbildung 2 die verhältnismäßig homogenen Differenzen der S-Gehalte über den S-Düngungseffekt.
Eine GLM-Analyse des Rohproteingehaltes (XP) von Raufutter unter Integration des Faktors Schwefeldüngung brachte keine signifikante Verbesserung ($P = 0,769$) des XP-Gehaltes durch eine S-Düngung. Der Rohproteingehalt ohne S-Düngung betrug 141 g/kg TM und mit S-Düngung 145 g/kg TM, die Differenz ist statistisch gesehen zufällig.

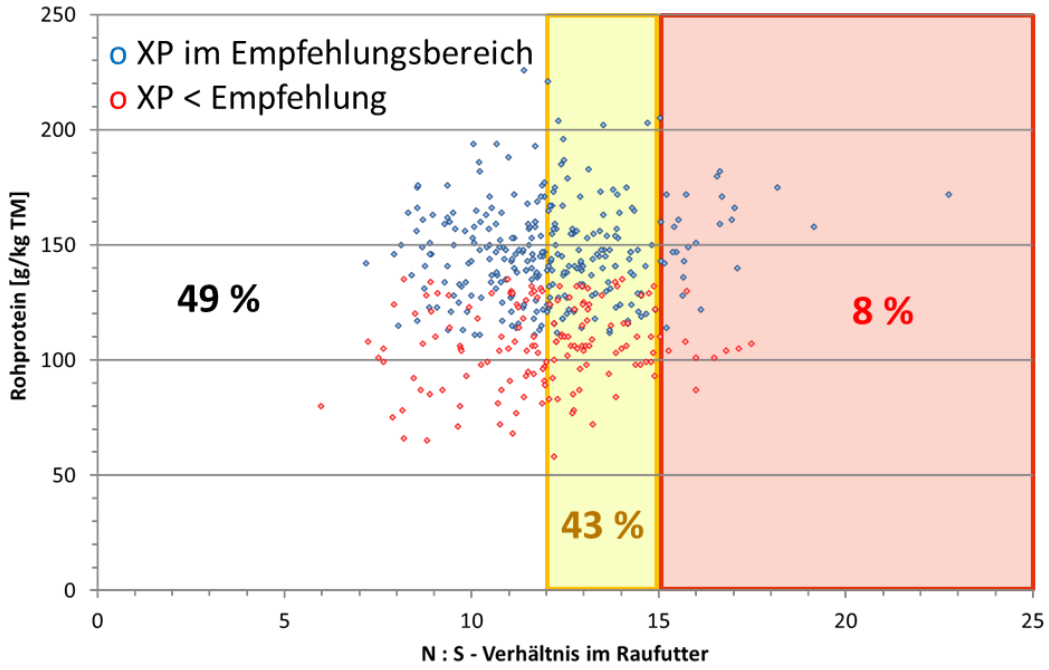


Abbildung 3: **Rohproteingehalt und N/S-Verhältnis von Heuproben aus der Praxis unter Berücksichtigung der Empfehlungen für Rohproteingehalte (LK-Heuprojekt 2022)**

Wenn man Heuproben als Grundlage für die Schwefelversorgung des Grünlandfutters hernimmt, dann würde in Österreich aufgrund des N/S-Verhältnisses bei 43 % eine latente und bei 8 % eine ertragswirksame Schwefelunterversorgung bestehen (Abbildung 3). Diese Interpretation verliert allerdings an Aussagekraft, wenn berücksichtigt wird, dass Proben mit möglichem S-Mangel dennoch höhere Rohproteingehalte als der Orientierungswert (OW) enthielten. In diesem Fall würden aufgrund des hohen N/S-Verhältnisses nur mehr 15 % einen latenten und 2 % einen ertragswirksamen S-Mangel aufweisen. Darüber hinaus besteht das Problem, dass 49 % der Proben mit niedrigem N/S-Verhältnis unterhalb 12:1 zwar als frei von S-Mangel interpretiert werden, allerdings geringere Rohproteingehalte als empfohlen aufweisen. Würde das N/S-Verhältnis in der Praxis Anwendung für eine S-Düngungsempfehlung am Grünland finden, dann wäre die Fehlerquote der Empfehlungen wahrscheinlich relativ hoch, daher muss diese Methode bei der S-Düngung von Grünlandflächen stark in Frage gestellt werden.
Da bei der Heuwerbung teils nicht unerhebliche Bröckelverluste entstehen (PÖLLINGER 2014), wäre es möglich, dass die Ergebnisse aus dem LK-Heuprojekt hinsichtlich N/S-Verhältnis gegenüber Grünfutter eine gewisse Verschiebung der Verhältnisse aufweisen. Eine Überprüfung der N/S-Verhältnisse von Grünfutterproben wäre sinnvoll, um die Erkenntnisse aus dem LK-Heuprojekt 2022 zu validieren. Im aktuellen DaFNE-Forschungsprojekt „SATGRASS“ (Projektleitung Dr. Schaumberger, HBLFA Raumberg-Gumpenstein) werden Grünfutterproben von mehr als 170 Grünlandflächen aus dem gesam-

ten Bundesgebiet über die gesamte Vegetationsperiode 2021 bis 2023 gesammelt und auf den Rohprotein- und Schwefelgehalt sowie auf die Artengruppenzusammensetzung an Gräsern, Leguminosen und Kräutern untersucht.
Die Gegenüberstellung von Schwefelgehalten und N/S-Verhältnissen in Heuproben wurde in Abbildung 4 differenziert durchgeführt. Jene Heuproben, welche Rohproteingehalte unterhalb der Empfehlungen aufwiesen (rote Punkte), zeigten deutlich geringere Schwefelgehalte, als jene Heuproben mit Proteingehalten über der Empfehlung (blaue Punkte). Bei einem N/S-Verhältnis von 12:1 würde ein Schwefelgehalt von weniger als ca. 1,45 g/kg TM einen latenten Schwefelmangel anzeigen. Ein ertragswirksamer Schwefelmangel würde demnach im Durchschnitt bei einem Schwefelgehalt unterhalb von ca. 1,15 g/kg TM auftreten, wenn das N/S-Verhältnis größer als 15:1 ist.
Die gleichzeitige Betrachtung von Rohprotein- und Schwefelgehalt, sowie dem N/S-Verhältnis von Futterproben ermöglichen somit eine etwas bessere Interpretation für eine Empfehlung zur Schwefeldüngung von Grünlandflächen.

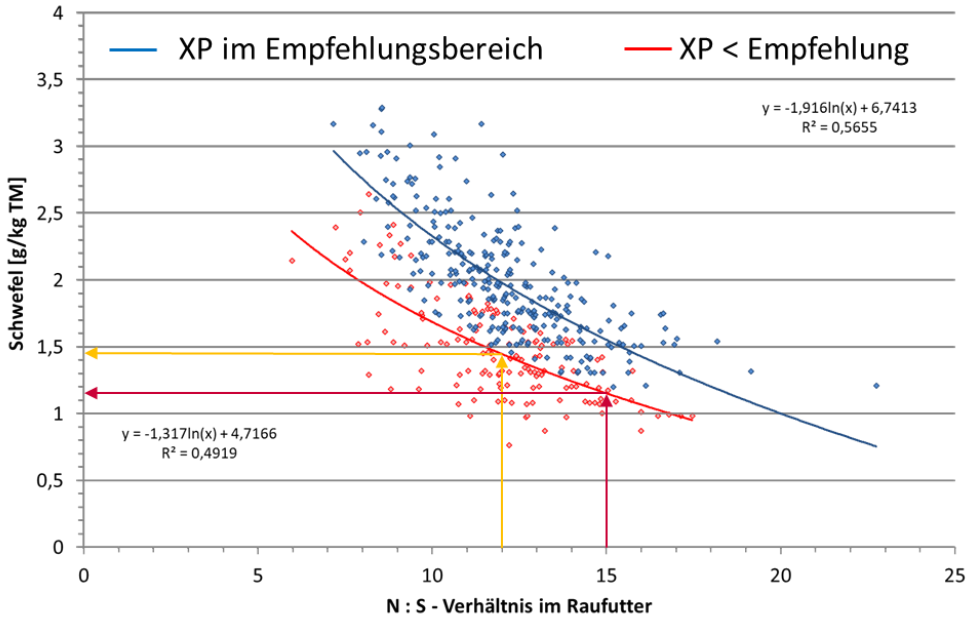


Abbildung 4: **Beziehung N/S-Verhältnis zum Schwefelgehalt von Heu unter Berücksichtigung der Empfehlungen für den Rohproteingehalt (LK-Heuprojekt 2022)**

Zusammenfassung

Im Rahmen des bundesweiten LK-Heuprojektes 2022 wurden an 456 Heuproben aus österreichischen Praxisbetrieben die Schwefelgehalte untersucht. Die S-Gehaltswerte reichten von 0,76 bis 3,29 g/kg TM, der mittlere Schwefelgehalt betrug 1,81 g/kg TM. Schwefelgehalte korrelieren positiv mit dem Rohproteingehalt. Die im Managementfragebogen erfasste Schwefeldüngung bewirkte im Durchschnitt einen signifikanten Anstieg des Schwefelgehaltes um 0,24 g/kg TM. Allerdings brachte die Schwefeldüngung nicht gleichzeitig einen Anstieg der Rohproteingehalte im Heu. Die alleinige Bewertung eines Schwefelmangels anhand des Stickstoff/Schwefel-Verhältnisses muss als ungünstig eingestuft werden, weil viele Heuproben mit N/S-Verhältnissen über 12:1 dennoch ausreichende Rohproteingehalte aufwiesen. Andererseits gab es viele Heuproben mit N/S-Verhältnissen kleiner 12:1, welche sehr niedrige Rohproteingehalte hatten. Eine Verbesserung der Aussagekraft des N/S-Verhältnisses ist unter Einbindung der Empfehlungswerte für Rohproteingehalte und des Schwefelgehaltes möglich. Es zeigte sich, dass bei zu geringen Rohproteingehalten im Heu die S-Gehalte kleiner 1,45 auf einen latenten S-Mangel und S-Gehalte kleiner 1,15 auf einen ertragswirksamen S-Mangel hinweisen könnten.

Abstract

As part of the nationwide LK hay project 2022, the sulfur contents (S) of 456 hay samples from Austrian practical farms were investigated. The S content values ranged from 0.76 to 3.29 g/kg DM, and the mean sulfur content was 1.81 g/kg DM. Sulfur contents correlate positively with crude protein content. Sulfur

fertilization, recorded in the management questionnaire, produced a significant average increase in sulfur content of 0.24 g/kg DM. However, sulfur fertilization did not simultaneously produce an increase in crude protein content in hay. The evaluation of a sulfur deficiency based on the nitrogen/sulfur ratio must be considered unfavorable, because many hay samples with N/S ratios above 12:1 nevertheless had adequate crude protein contents. On the other hand, there were many hay samples with N/S ratios less than 12:1, which had very low crude protein contents. An improvement of the significance of the N/S ratio is possible by including the recommended values for crude protein contents and the sulfur content. It was found that when the crude protein content of hay was too low, S contents less than 1.4 could indicate a latent S deficiency and S contents less than 1.2 probably could indicate a yield-effective S deficiency.

Literatur

BMLRT (2022): Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland, 8. Auflage 2022, Wien, 184 S.

BÖHM H (2013): Auswirkungen einer Schwefeldüngung auf den Ertrag und die Nährstoffzusammensetzung eines Kleegrasbestandes. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013, 216-219.

DIEPOLDER M, RASCHBACHER S (2013): Genug Schwefel im Grünland? Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 5 S.

KIENDLER S, STARZ W, PFISTER R, ROHRER H (2017): Auswirkungen einer Düngung mit elementarem Schwefel am Dauergrünland auf Ertrag und Futterqualität. Österreichische Fachtagung für Biologische Landwirtschaft 2017, Irdning-Donnerbachtal, 75-80.

RESCH R, STÖGMÜLLER G (2023): LK-Grundfutterprojekte als Basis für die Qualitätsentwicklung von Silagen und Heu in Österreich. 50. Viehwirtschaftliche Fachtagung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 123-155.

PÖLLINGER A (2014): Heutrocknungsverfahren im Vergleich. 1-10. In: GRUBER L, PÖLLINGER A, RESCH R, VELIK M, ADLER A (2014): Abschlussbericht Heuprojekt Nr. 2371, Einfluss des Konservierungsverfahrens von Wiesenfutter auf Nährstoffverluste, Futterwert, Milchproduktion und Milchqualität. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 66 S.

VDLUFA (1976): Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

VDLUFA (2012): Methode 28.1.2, Futtermitteluntersuchung - Bestimmung der Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. Methodenbuch III, 8. Ergänzung 2012, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Adressen der Autoren

[1] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal,

[2] Landwirtschaftskammer Niederösterreich, Futtermittellabor Rosenau, Wiener Straße 64, A-3100 St. Pölten

*Ansprechpartner: Ing. Reinhard RESCH, reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

Beispiele von Stoffbilanzen bei (Biogas-)Gülledüngung

Examples of element budgets in the course of (biogas-)manure fertilization

M. Sager, L. Doppelbauer, C. Reithofer, M. Bonell, E. Erhart

Die Anwendung organischer Dünger ist eine Schlüsselfrage, um nachhaltig zu wirtschaften, Kohlenstoff zu fixieren und die Abhängigkeit Europas von importierten Nährstoffen zu verringern. Während eines Jahres auf der landwirtschaftlichen Fläche stattfindenden Stoffumsätze umfassen den Entzug durch die Pflanze, die atmosphärische Deposition, den Austrag durch Grundwasserneubildung sowie Abschwemmung durch Bodenerosion. Flächenbezogene Stoffbilanzen können dazu dienen, den Austrag durch die geernteten Pflanzen mit den durch Düngung einzubringende Mengen zu vergleichen. Während die Pflanzenwurzeln mit Ausnahme von Hackfrüchten und Wurzelgemüse im Boden verbleiben, verlassen in den Spross transferierte Anteile die Fläche als Erntegut. Bei biologischer Bewirtschaftung muss der Stoffaustrag durch das Erntegut nicht durch Zusatz von Mineraldünger, sondern durch Zusatz von organischem Dünger oder Begrünungsbiomasse kompensiert werden, nebst Verwitterung von Bodenmineralen durch Bakterien und Pilze. Die Gabe von organisch gebundenem Stickstoff, Phosphor und Schwefel zeichnet sich im Vergleich zu Mineraldüngung durch geringere Auswaschungsrate, sowie langsamere Verfügbarkeit und aus, letzteres sollte sich bei Betrachtung einer Wachstumsperiode ausmitteln.

Im Falle von Kohlenstoff und Stickstoff findet zusätzlich Stoffaustausch über die Gasphase in Form von Assimilation und Nitrifikation, sowie Bodenatmung und Ammoniakverflüchtigung statt, der Eintrag anderer Elemente durch Regen und Staub ist vergleichsweise gering. Da Stickstoff weithin als wachstumslimitierender Faktor betrachtet wird, werden andere Stoffe, seien sie ebenfalls essentiell oder gar schädlich, in Feldversuchen kaum untersucht, wodurch Wachstumslimitierungen durch andere Stoffe unerkannt bleiben.

In dieser Arbeit soll an Hand von 3 Beispielen gezeigt werden, wie im biologischen Landbau versucht wurde, adequate Stickstoffversorgung durch Rückführung von Gülle oder Ernterückstände zu erreichen, und wie die Stoffbilanzen sämtlicher anderer Elemente aussehen. Die im biologischen Stoffkreislauf in der Fläche umsetzbaren Mengen müssen auch im Verhältnis zu den Gesamtgehalten bzw. den mobilisierbaren Gehalten des Oberbodens betrachtet werden. Dabei wird von einem geschätzten Masse des Oberbodens von 3500 Tonnen, einem Durchschnittsgehalt der Oberen kontinentalen Erdkruste (Pirkl et al. 2015), für Oberösterreich vom Medianwert für kalkfreie Molasse (Danneberg 1999) sowie einer Mobilität in verdünnter Essigsäure gefolgt von Oxalsäure aus Böden von Apfelkulturen (Sager 2016) ausgegangen.

Kooperation Ackerbaubetrieb – Milchviehbetrieb

Die Entkopplung von Ackerbau und Viehzucht bedingt durch die Spezialisierung des Maschinenparks wird vermehrt zum Abtausch von Mist/Gülle gegen Aufwuchs führen. Ein viehloser Biobetrieb in Neuhofen (Bez. Ried im Innkreis) baute Leguminosen an, um den Stickstoffgehalt seines Bodens zu erhöhen, und tauschte diese auf Basis vermutlich gleicher Stickstoffmenge mit Rinderexkrementen im Ort ab. Er bekam (bezüglich Trockenmasse) für 2,6 t/ha an 1. Schnitt und 3,5 t/ha an 3. Schnitt zusammen 5,0 t/ha Rindermist aus einem konventionellen Betrieb, sowie für 2,6 t/ha an 2. Schnitt gleich 0,8 t/ha Rindergülle aus einem Biobetrieb. Der Pflanzenbauer gewinnt Mengen sämtlicher untersuchter Elemente auf seine Fläche, außer Kalium (Tab. 1). Der konventionelle Rindermist bringt, vermutlich durch zugekaufte Futtermittel, höhere Frachten ein als die Rindergülle (Sager 2006). Die jährliche atmosphärische Deposition (Dep) und der Grundwasseraustrag (H_2O) sind nicht für alle untersuchten Elemente bekannt. Sie sind im Vergleich zu den in der Biomasse geernteten und aufgebrachten Frachten an diesem Standort gering, auch für Ca und Mg.

Tab. 1: **Vergleich der flächenbezogenen Frachten an Trockenmasse**

Element	1.Schnitt	2.Schnitt	3.Schnitt	Summe	Rindermist	Rindergülle	Summe	Dep.	H2O
	´kg/ha	‘kg/ha	‘kg/ha		‘kg/ha	‘kg/ha			
C	1097	1178	1477	3752	1942	329	2271		
N	72,5	43,8	97,7	224	92,5	33,6	126,1		
Na	0,77	0,16	1,04	1,97	12,56	2,27	14,83	0,023	0,50
K	84,5	96,5	113,8	295	140,2	43,2	183,4	0,128	0,48
Mg	6,76	5,75	9,10	21,6	37,5	5,9	43,4	0,046	6,8
Ca	27,6	17,2	37,1	81,9	92,4	16,5	108,9	0,151	28,1
Fe	0,44	0,81	0,59	1,84	14,3	1,52	15,82		
P	9,79	8,61	13,18	31,6	37,1	5,9	43,0	0,27	0,006
	`g/ha	`g/ha	`g/ha		`g/ha	`g/ha			
Li	0,49	2,11	0,66	3,26	17,7	1,44	19,4		
Sr	44	36	59	139	247	34	281		
Ba	17,6	18,3	23,8	59,7	221	23	244		
V	1,2	2,2	1,6	5,0	20,3	2,7	23,0		
Cr	0,5	2,5	0,7	3,7	22,4	3,2	25,6		
Mn	98	88	132	318	1309	213	1522		
Co	0,4	0,6	0,5	1,5	6,4	1,1	7,5		
Cu	20,5	16,8	27,6	64,9	213	43	256		
Zn	73	52	98	223	814	186	1000		
Pb	0,6	2,4	0,9	3,9	10,2	1,4	11,6		
B	24	22	32	78	X	X	X		

Tab. 2: **Vergleich mit dem Gehalt von Oberböden auf Basis 3500t/ha, geschätzt aus Mittelwerten der Erdkruste, Median für kalkfreie Molasse aus Königswasser bzw. Medianwerten mobilisierbarer Anteile aus 20 Oberböden Ostösterreichs mit verdünnter Essigsäure (HAc bzw. Oxalsäure (Ox).**

***C und N gemessen am Standort Meggenhofen (in der Nähe)**

Element	Erdkruste	Molasse	Kleegras	Mist/Gülle	Oberböden		Kleegras	Mist/Gülle
	`mg/kg		% Kruste	% Kruste	HAc mg/kg	Ox mg/kg	%(HAc+Ox)	%(Hac+Ox)
C*	15000		7,15	4,33				
N*	1700		3,76	2,12				
Na	24000		0,002	0,018	14,6	12,8	2,05	15,4
K	23000		0,37	0,23	253	118	22,7	14,1
Mg	15000		0,04	0,08	564	610	0,53	1,06
Ca	26000		0,09	0,12	10997	39	0,24	0,32
Fe	52000		0,001	0,009	2	1892	0,03	0,24
P	654		1,38	1,88	28,3	326	2,55	3,47
Li	41		0,002	0,013	0,204	0,54	0,13	0,74
Sr	320		0,012	0,025	22,0	0,98	0,17	0,35
Ba	628		0,003	0,011	11,6	11,1	0,08	0,31
V	106		0,001	0,006	0,04	6,46	0,02	0,10
Cr	73	38,6	0,001	0,010	<0,06	1,57	<0,06	0,45
Mn	774		0,010	0,056	68	151	0,04	0,20
Co	15	10,9	0,003	0,014	0,28	2,64	0,015	0,073
Cu	27	15,9	0,07	0,27	0,50	13,4	0,13	0,52
Zn	75	76,1	0,09	0,38	4,28	11,5	0,40	1,81
Pb	17	10,5	0,007	0,02	0,21	1,88	0,05	0,16
B	[10]		0,22		1,16	1,18	0,95	

Im Vergleich mit dem Gesamtgehalt des Oberbodens, genommen aus dem Mittelwert der Oberen kontinentalen Erdkruste, überschreiten nur die im Umlauf befindlichen Frachten von C, N und P die Grenze von 1% (S nicht untersucht), sowie K, Ca und B von 0,1%. Die mobilisierbaren Anteile sind durch die Chemie der unterschiedlichen Löslichkeiten von Ca und Fe Mineralen in Essigsäure bzw. Oxalsäure gegeben und wurden deshalb zusammengefasst unter der Annahme, dass beide Fraktionen im Verlauf einer Wachstumsperiode umsetzbar sind. Dabei bleibt der erwartbare Umsatz der Erdalkalien und der siderophilen Elemente tief mit Ausnahme von Mg, liegt hingegen bei K, Na, P und B im Prozentbereich.

Ausbringen von Rindergülle auf Wintergerste

Wintergerste wurde im November in Meggenhofen (Bez. Ried im Innkreis) angebaut, im Frühjahr (27. April) mit Rindergülle gedüngt, und die Gerste am 12.7. geerntet. Die Gülle wurde pur (V1 zu 0,62 t/ha), 1+1 verdünnt (V2 zu 0,277 t/ha) mit herkömmlicher Fahrgeschwindigkeit und 1+1 verdünnt mit geringerer Fahrgeschwindigkeit (V3 zu 0,357 t/ha) ausgebracht. Die aufgebrachte Menge wurde mit Wannen im Feld gemessen. Geerntet wurden 0,828 t/ha Korn + 2,274 t/ha Stroh in V1, 0,913 t/ha Korn + 2,407 t/ha Stroh in V2, sowie 0,915 t/ha Korn + 2,402 t/ha Stroh in V3. Die höhere Gülledüngung brachte etwas mehr N ein, als bei der Ernte entnommen wurde, war aber nicht ertragswirksam, und beeinflusste den Elementgehalt von Korn und Stroh nicht (Tab. 3). Geringere Fahrgeschwindigkeit erhöhte die N-Ausbringung. Ausgenommen bei Kohlenstoff, brachte die Gülledüngung von allen untersuchten Elementen mehr in die Fläche ein, als die Gerstenkörner enthielten. Auf der Fläche geerntetes Korn und Stroh enthielten zusammen generell weniger Na, Fe, V, Cr, Mn, Co, Zn und Pb, welche infolgedessen durch Gülledüngung im Boden angereichert wurden. Während bei der höheren Güllemenge mehr K, Mg und Ca auf die Fläche aufgebracht wurden, als Korn und Stroh zusammen enthielten, waren die Frachten bei der halben Menge etwa ausgeglichen. Der Austrag von P, Sr und Ba durch Korn und Stroh wurde nur bei der höheren Güllemenge ausgeglichen, bei der geringeren verlor die Fläche daran (Sager 2007). In anderen Worten, das Einarbeiten von Stroh ist für die Bilanz von P, K, Mg und Ca bedeutsam. Die höheren Mengen an Na, Fe, V, Cr, Mn, Co und Zn können aus Spurenelementzusätzen zu Futtermitteln stammen, oder auch vom Abrieb und Ablecken von Stahlbauteilen im Stall (Sager 2006, Sager 2011).

Vergleicht man die Gehalte von Mg, Ca und Fe in der Biomasse der Wintergerste mit den erwartbaren mobilisierbaren Anteilen im Boden, so sind diese vernachlässigbar. Bei Na, K und P sowie bei den durch die Gülle eingebrachten Spuren liegen diese im Bereich von 1%. Die atmosphärische Deposition war in allen bekannten Fällen (Na=0,02 kg/ha, K=0,11kg/ha, Mg=0,04 kg/ha, Ca=0,13 kg/ha, P=0,27 kg/ha) geringer als der Gülleeintrag. Der über den gesamten Aquifer gemittelte Austrag ins Grundwasser (Na=1,2 kg/ha, K=0,55 kg/ha, Mg=9,3 kg/ha, Ca=30,1 kg/ha, P=0,005 kg/ha) war für Mg und Ca höher als der Gülleeintrag, aber im Vergleich zum mutmaßlich löslichen Anteil gering. Der Karbonatgehalt im Boden betrug nur ≤ 0,4%.

Tab. 3: **Spurenelemente in Korn, Stroh und Gülle und geschätzte mobile Anteile in 3500 t Oberboden**

	Korn	Stroh	Summe	Gülle	Korn	Stroh	Summe	Gülle	Korn	Stroh	Summe	Gülle	HAc	Ox
	V1 (kg/ha)				V2 (kg/ha)				V3 (kg/ha)				`kg/ha	`kg/ha
C	378	1068	**1446**	**227**	416	1155	**1571**	**101**	417	1153	**1570**	**129**		
N	11,2	8,2	**19,4**	**27,0**	12,3	8,9	**21,2**	**12,8**	12,4	8,9	**21,3**	**16,2**		
Na	0,021	0,25	**0,27**	**2,57**	0,014	0,29	**0,30**	**1,29**	0,012	0,26	**0,27**	**1,64**	*51*	*45*
K	3,3	26,7	**30,0**	**55,5**	3,6	28,7	**32,3**	**26,1**	3,6	30,0	**33,6**	**35,2**	*886*	*413*
Mg	0,99	1,28	**2,37**	**4,29**	1,10	1,37	**2,47**	**2,12**	1,11	1,51	**2,62**	**2,77**	*1974*	*2135*
Ca	0,38	6,62	**7,00**	**12,02**	0,41	7,25	**7,66**	**6,54**	0,37	7,16	**7,53**	**8,11**	*<5600*	*137*
Fe	0,023	0,128	**0,151**	**2,82**	0,025	0,122	**0,147**	**1,22**	0,025	0,101	**0,126**	**1,56**	*8*	*6622*
P	2,66	1,31	**3,97**	**4,06**	3,03	1,38	**4,41**	**1,83**	3,03	1,73	**4,76**	**2,32**	*99*	*1141*
	V1 (g/ha)				V2 (g/ha)				V3 (g/ha)				*´g/ha*	*´g/ha*
Li	0,084	<0,05	**<0,13**	**3,09**	0,092	<0,05	**<0,14**	**1,55**	0,093	<0,05	**<0,14**	**1,91**	*0,71*	*1,89*
Sr	1,20	24,7	**25,9**	**26,6**	1,17	27,8	**29,0**	**14,6**	1,17	27,8	**29,0**	**14,6**	*77*	*3,43*
Ba	0,59	30,5	**31,1**	**22,0**	1,00	38,3	**39,3**	**10,7**	0,68	37,8	**38,5**	**13,1**	*41*	*39*
V	<0,1	0,1	**0,1**	**7,0**	<0,1	<0,1	**< 0,1**	**3,2**	<0,1	< 0,1	**< 0,1**	**3,6**	*0,14*	*22,6*
Cr	<0,1	0,46	**0,46**	**3,34**	<0,1	0,37	**0,37**	**1,57**	<0,1	0,35	**0,35**	**2,03**	*< 0,2*	*5,5*

Mn	11,0	32,8	**43,8**	**199,4**	13,0	39,5	**52,5**	**89,6**	11,5	32,1	**43,6**	**112,6**	*238*	*529*
Co	0,028	0,132	**0,160**	**1,37**	0,009	0,167	**0,176**	**0,53**	0,016	0,126	**0,142**	**0,73**	*0,97*	*9,24*
Cu	0,88	<	**0,88**	**17,59**	0,72	<	**0,72**	**7,41**	0,82	<	**0,82**	**10,25**	*1,75*	*47*
Zn	14,6	8,6	**23,2**	**64,9**	15,7	6,7	**22,4**	**33,1**	16,1	7,0	**23,1**	**39,2**	*15*	*40*
Pb	< 0,1	< 0,1	**< 0,1**	**1,9**	0,11	< 0,1	**0,1**	**1,0**	< 0,1	< 0,1	**< 0,1**	**1,3**	*0,74*	*6,6*
B	0,45	4,16	**4,61**	**X**	0,54	4,04	**4,58**	**X**	0,16	3,66	**3,82**	**X**	*4,1*	*4,1*

Düngung von Sommergerste mit abfrostender Begrünung und Biogasgülle

In diesem Versuch wurde der Einfluss des Einarbeitens abfrostender Begrünung mit und ohne Biogasgülledüngung auf flächenbezogene Fracht und Ertrag von Sommergerste untersucht. In der Nähe von Gars/Kamp in Niederösterreich betreibt eine viehlose Agrargemeinschaft eine Biogasanlage zur Gewinnung von Methan aus Pflanzen. Nach dem Erhalt des Abpresskuchens wurden insgesamt 15 m³/ha des flüssigen Rückstands, genannt Biogasgülle, entsprechend 0,412 t/ha, auf die Versuchsparzellen mit einer Zwischenbegrünung aus Kleegras am 18.8. und 23.9. 2020 aufgebracht. Parallel wurden eine Nullvariante ohne Aufbringung von Biogasgülle angelegt. In der gepflügten Variante wurde die Begrünung am 18.11.2020 eingearbeitet, in der ungepflügten mit einem Grubber am 27.3. 2021, und dann überall am 30.3.2021 Sommergerste gesät und am 13.7. 2021 geerntet. Der Boden war eine kalkhaltige Braunerde. Über den Winter verlor der biogasgüllegedüngte Mulch 28% und der ungedüngte Mulch 18% an Trockenmasse, sowie auch K, B, Mg, P und Zn an Fracht, während Fe und Cu zunahmen.

Während nach Eintrag der Biogasgülle der Stickstoffgehalt in Begrünungsbiomasse und Boden in beiden Varianten stiegen, wirkte sich dies im Ertrag und Zusammensetzung der Sommergerste in der gleichen Saison noch nicht aus, erhöht jedoch verfügbare Stoffmengen für die Folgejahre (Erhart et al. 2005). Pflügen belüftet den Boden, vermindert die Bodenmakrofauna und setzt so mehr Nitrat und CO_2 frei. Es erhöhte an diesem Standort in der ungedüngten Variante den Ertrag an Korn 49% und an Stroh um 29%, in der gedüngten Variante den Ertrag an Korn um 15% und an Stroh um 26%. Die zugehörigen Frachten an Trockenmasse pro Fläche sind in den Tabellen 4 und 5 wiedergegeben. Der Mulch enthielt immer höhere Mengen als das Getreide.

Theoretisch müsste die Fracht aus ungedüngter Begrünung und Biogasgülle die Fracht aus gedüngter Biogasgülle ergeben. Auswaschungen und Wechselwirkungen mit dem Boden erklären Abweichungen davon. Bei K, P, Ca, Sr und Ba enthielt der gedüngte Mulch etwa gleich viel oder mehr als ungedüngte Begrünung und Biogasgülle, nicht hingegen bei Na, Mg und Zn. Im Falle von Co, Cr, Cu, Fe, Li, Pb und V erhöhte die Biogasgülle die Fracht im Mulch nicht. Die Begrünung bzw. der daraus entstandene Mulch hatte mehr Masse und enthielt von allen untersuchten Elementen höhere Mengen als Korn und Stroh der Sommergerste zusammen. Die Biogasgülle enthielt trotz 1/10 ihrer Masse mehr Na- Absolutmenge als die Begrünung, in die sie eingetragen wurde. Die Masse an Stroh war etwa doppelt so hoch wie die Körner, es enthielt auch höhere Frachten von allen untersuchten Elementen, ausgenommen P und Mo. Ein Einarbeiten des Strohs würde daher dem Boden wieder wesentliche Mengen anorganischer Bestandteile zuführen.

Tab. 4: **Biomassen in Tonnen pro Hektar, sowie Frachten der Mengenelemente in kg/ha, ohne und mit Biogasgüllezusatz**

***Atmosphärische Deposition („Dep“) und Grundwasseraustrag (H_2O) in kg/ha.a**

			Begrünung	Korn	Stroh	Biogasgülle	Begrünung	Korn	Stroh	
t/ha	Masse	Pflug	4,94	1,482	3,03	0,412	5,92	1,506	3,05	
		Pfluglos	3,91	0,992	2,34		3,88	1,315	2,42	
*kg/ha	Dep.									H_2O
Na	0,017	Pflug	1,72	0,026	0,40	2,24	1,81	0,028	0,40	10,7
		Pfluglos	1,62	0,020	0,28		1,80	0,025	0,29	
K	0,014	Pflug	173	6,5	60	52,7	283	6,8	61	0,45
		Pfluglos	116	4,9	44		172	6,3	46	
Mg	0,012	Pflug	11,1	1,67	2,78	1,32	12,7	1,68	2,80	9,9
		Pfluglos	9,35	1,20	3,02		10,0	1,47	2,59	
Ca	0,05	Pflug	81,8	0,34	10,14	8,3	117,7	0,35	10,25	22,5
		Pfluglos	65,7	0,22	7,61		89,9	0,29	8,00	

Fe	x	Pflug	5,84	0,05	0,51	2,92	4,92	0,05	0,51	
		Pfluglos	8,96	0,03	0,44		7,42	0,04	0,27	
P	0,27	Pflug	20,9	4,85	1,58	2,72	28,8	4,96	1,69	0,0014
		Pfluglos	16,2	3,76	3,28		18,2	4,65	2,12	

Tab. 5: **Frachten der Mengenelemente in g/ha, ohne und mit Biogasgüllezusatz**

		g/ha	Begrünung	Korn	Stroh	Biogasgülle	Begrünung	Korn	Stroh
Li		Pflug	12,8	0,011	0,75	1,71	11,1	0,005	0,71
		Pfluglos	7,4	0,012	0,71		7,0	0,004	0,46
Sr		Pflug	164	1,3	22,3	23,2	224	1,0	21,9
		Pfluglos	121	0,7	17,8		149	0,8	16,9
Ba		Pflug	230	1,4	76,8	23,7	308	0,6	72,9
		Pfluglos	218	0,7	73,3		235	0,7	73,6
V		Pflug	12,9	< 0,1	1,1	1,2	10,1	< 0,1	1,1
		Pfluglos	20,9	< 0,1	1,1		16,9	< 0,1	0,6
Cr		Pflug	17,3	<0,05	1,43	5,6	16,6	<0,05	1,35
		pfluglos	26,5	<0,05	1,43		21,5	<0,05	0,85
Mo		Pflug	5,7	0,39	0,10	7,4	13,0	0,58	0,27
		Pfluglos	5,9	0,32	0,12		6,8	0,56	0,38
Mn		Pflug	276	18	84	91	309	19	87
		pfluglos	313	12	50		287	16	63
Co		Pflug	4,04	0,05	0,25	2,36	3,55	0,07	0,22
		pfluglos	5,11	0,03	0,21		4,27	0,04	0,12
Cu		Pflug	29,8	1,4	4,8	18,1	35,5	1,5	4,0
		pfluglos	40,9	2,0	3,0		36,7	1,4	2,4
Zn		Pflug	109	34	22	71	157	34	21
		pfluglos	112	27	31		123	32	24
Pb		Pflug	4,6	< 0,1	1,0	0,7	2,3	< 0,1	0,7
		Pfluglos	6,3	< 0,1	0,5		6,1	< 0,1	0,3
B		Pflug	141	1,6	7,1	X	200	1,4	6,8
		pfluglos	85	0.9	6,1		116	1,1	4,6

Zusammenfassung

Im biologischen Ackerbau müssen die mit dem Erntegut entfernten Nährstoffmengen wieder als organischer Dünger in die Fläche rückgeführt werden. Beim Ersatz etwa äquivalenter Stickstoffmengen durch Gülle wird der Boden mit sämtlichen Elementen angereichert, hingegen wird K entzogen. Biogasgüllegabe im Herbst erhöhte die Gehalte in Zwischenbegrünung und Sommergerste leicht, war aber im Folgejahr noch nicht ertragswirksam. Rückführung von Stroh verminderte die Entzüge wesentlich. Die in der Biomasse umgesetzten Stoffmengen liegen für essentielle Elemente im Prozentbereich erwartbarer mobiler Bodenfraktionen.

Abstract

In organic agriculture, element loads of the exported crops have to be replaced by organic amendments again. If an equivalent amount of nitrogen contained in green cuts gets replaced by manure, the land gets enriched with almost all elements, but depleted in K. Biogas residue applied in autumn enhanced the contents in intermediate crop and in subsequent summer barley, but did not increase the barley yield. Return of straw reduces export losses significantly. The amounts of turnover in the biomass range within the percent range of expectable mobile soil fractions

Literatur

DANNEBERG O.H., 1999. Hintergrundwerte von Spurenelementen in den landwirtschaftlich genutzten Böden Ostösterreichs. Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges. 57, 7-24
ERHART, E., HARTL W., PUTZ, B., 2005. Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. Europ. J. Agronomy 23, 305-314
ERHART, E., DOPPELBAUER, L., REITHOFER, C., MESSENBÖCK, K., BONELL, M., SAGER, M., KÖSTENBAUER, H., LEPSCHI, M., KAPPEL, M., HÖRZINGER, N., DAXBECK, H., BÖHM, M., 2022. Kreisläufe schließen am landwirtschaftlichen Betrieb. Bioforschung Austria Bericht
PAN, Y.P., LIU, B.W., CAO, J., LIU, J., TIAN, SH.L., DU E.Z., 2021. Enhanced atmospheric phosphorus deposition in Asia and Europe in the past two decades. Atmospheric and Oceanic Science Letters 14, 100051
PIRKL H., SCHEDL A., PFLEIDERER S., 2015. Geochemischer Atlas von Österreich. Archiv für Lagerstättenforschung Band 28
SAGER, M., 2006. Micro- and macro-element composition of animal feedstuffs sold in Austria. Ernährung/Nutrition 30 (11), 455 – 473. ISSN 0250-1554
SAGER, M., 2007. Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. Soil Biology and Biochemistry 39, 1383-1390. DOI 10.1016/j.soilbio.2006.12.015
SAGER, M., 2011. Input of accessory elements from various mineral and organic fertilizers to arable soils. International Journal of AgriScience Vol. 1(7): 403-428, December 2011; ISSN: 2228-6322© International Academic Journals
SAGER, M., 2016. A simplified extraction schema to for the analytical characterization of apple orchard soils. Journal of Soils and Sediments, 16(4), 1193-1202. DOI 10.1007/s11368-015-1234-z

Erträge und Verluste bei Prozessen der Bioraffinierung von Grünlandfutter

Yields and losses in grassland forage biorefining processes

Reinhard Resch[1*], Manuel Winter[2], Michael Mandl[3], Andreas Steinwidder[2], Joseph. B. Sweeney[4], Kevin McDonnell[4]

Einleitung

Der Bedarf an nachhaltigerer Futterproduktion und die Protein-Selbstversorgung werden wichtiger (EUROPEAN PARLIAMENT 2011), daher stößt in der Produktion von Proteinfutter auch die Fraktionierung von grüner Biomasse auf großes Interesse. Bioraffinerie ist nach KROMUS et al. (2004) ein nachhaltiges Processing von Biomasse in ein Spektrum von marktfähigen Produkten und Energie. Die Stickstoffverteilung zwischen Presskuchen und Proteinkonzentrat aus dem Presssaft ist stark von der Zusammensetzung des verwendeten Pflanzenmaterials (PIRIE 1987) und den Prozessparametern abhängig (COLAS et al. 2013). Nach RINNE et al. (2018) können mit einer Doppelschneckenpresse maximal 40 % des Rohproteins aus Grassilagen in den Presssaft transferiert werden. Im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes **Farm4More (LIFE18CCM/IE/001195)** wurde im Arbeitspaket C.5.1 Feldfutter in Rundballen einsiliert und nach der Vergärung mit einer praxiskonformen Schneckenpresse bioraffiniert. Mit der stofflichen Bilanzierung von TM und Inhaltsstoffen wurde eine flächenbezogene quantitative Bewertung von Stoffströmen vom Pflanzenbestand zum Zeitpunkt der Mahd, über Ernte- und Konservierungsverluste, Fraktionierung aus der Bioraffinierung (Presssaft und Presskuchen) bis hin zu weiteren Prozessverlusten durch erneute Silierung des Presskuchens durchgeführt.

Material und Methoden

Für die Bilanzversuche wurden zwei verschiedene Arten von vorgewelktem Grünlandfutter vom ersten Aufwuchs der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Bio-Außenstelle Lambach, Oberösterreich) verwendet: 1 – Gras/Kleegemenge, 2 – Rotklee. Der TM-Bruttoertrag der Futterbestände wurde mit einem Quadratmeterrahmen erhoben. Das Erntegut wurde in Ballen gepresst und diese wurden mittels Hubwagen-Waage (Typ Kern VHB, Teilung 1 kg) gewogen und anschließend nach Gumpenstein transportiert. Die Lagerungsdauer der Siloballen betrug mindestens 6 Wochen. Die mengenmäßigen Gärungsverluste wurden durch Wiegung der Siloballen vor deren Öffnung ermittelt. Vor der Pressung der Silagen wurde das Futter in einen Mischwagen mit Vertikalschneidwerk gegeben, dort 30 Minuten gemischt und auf ca. 5 cm theoretische Häckselläge zerkleinert. Von der Mischung wurde der TM-Gehalt mit der Mikrowellen-Methode nach LOSAND und WALDMANN (2003) bestimmt und die erforderliche Wassermenge zur Verdünnung auf 230 g TM/kg FM berechnet und das Wasser während des Mischvorganges in die Silage eingebracht.

Nach der Pressung mit einer Schneckenpresse (Typ: Bellmer/Kufferath Akupress X250) wurden jeweils ca. 45 kg vom frischen Presskuchen in 60 Liter Weithalsfässer (WHF) aus Kunststoff re-siliert. Die durchschnittliche Lagerungsdichte in den Fässern betrug 275 bis 281 kg TM/m³. Die Behälter wurden mit einem Kunststoffdeckel mit Metallspanner luftdicht abgeschlossen. Die Lagerung der befüllten Fässer erfolgte bei ca. +20 °C bis zur Siloöffnung. Die Lagerungsdauer betrug im Bilanzversuch (2021) 52 bis 56 Tage. Die Probeziehung an den Inhalten der geöffneten WHF-Behälter erfolgte vertikal von oben nach unten mittels Edelstahl-Stechzylinder (Durchmesser 5 cm) und 2 Einstichen je Behälter. Die Mischprobe jeder Variante (4 Fässer × 2 Einstiche) wurde sofort gekühlt. Anschließend erfolgte die weitere Probenvorbereitung je nach Analysenmethode. Die chemischen Analysen wurden nach VDLUFA-Methodenbuch III (1976) durchgeführt. Die validierten Daten wurde mit Hilfe des Statistikprogrammes Statgraphics Centurion XVII (Version 17.1) bzw. IBM SPSS Statistics (Version 28) varianzanalytisch verrechnet. Die Mittelwertvergleiche wurden mit der Methode Tukey-HSD (Honestly Significant Difference) auf einem Konfidenz-Niveau von 95 % angestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ertragserhebungen auf den Grünlandflächen ergaben für Kleegras 3.033 kg bzw. für Rotklee 2.795 kg TM-Bruttoertrag/ha für den 1. Aufwuchs. Die Erntebedingungen konnten als gut bezeichnet werden, daher wurden hier durchschnittliche Feldverluste von 3 % (STEINHÖFEL 2020) unterstellt. Bezogen auf ein Hektar Fläche waren die Feldverluste mit 84 bis 91 kg TM/ha zu beziffern. Die durchschnittlichen Fermentationsverluste betrugen bei Kleegras 322 kg und bei Rotklee nur 19 kg Trockenmasse (Abbildung 1) bzw. 10 % bei Kleegras und 1 % bei Rotklee (Abbildung 2).

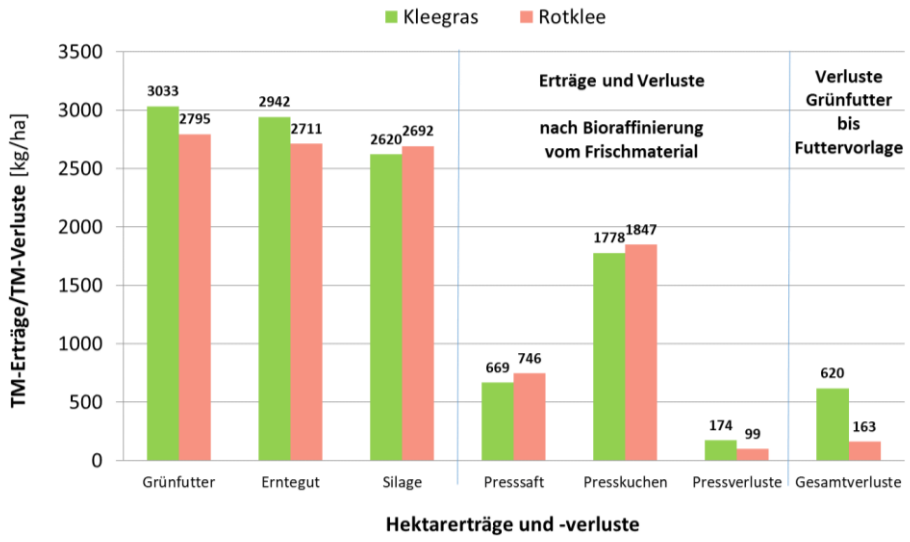


Abbildung 23: **Absolute Erträge/Verluste an Trockenmasse durch Futterernte, Silierung und Bioraffinierung**

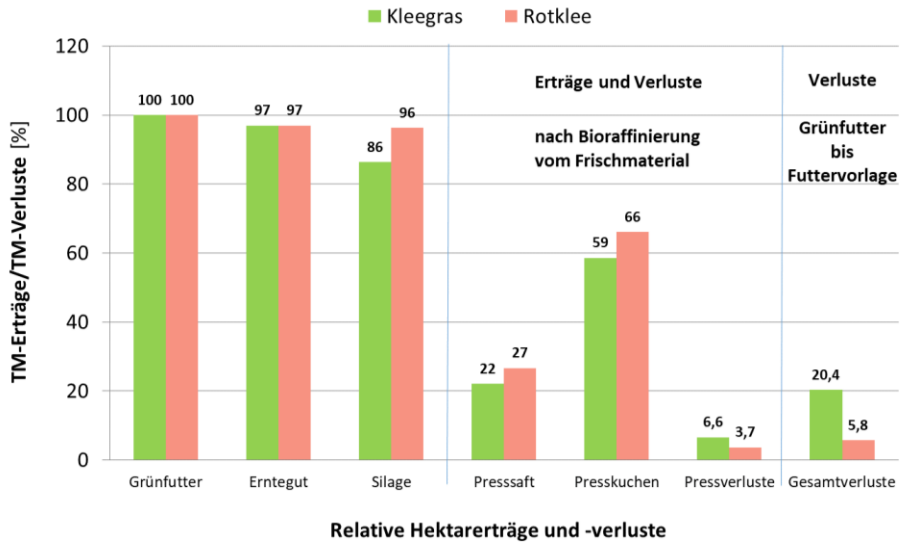


Abbildung 24: **Relative Erträge/Verluste an Trockenmasse durch Futterernte, Silierung und Bioraffinierung**

Bezugnehmend auf den Prozess der Bioraffinerung mit Pressung des Gärfutters in eine flüssige und eine feste Fraktion, wurden von einem Hektar Kleegras insgesamt 669 kg Presssaft und bei Rotklee 746 kg Presssaft unter den vorherrschenden Bedingungen erzeugt. Bezogen auf das Grünfutter am stehenden Bestand wäre das ein Saftertrag von 22 % bzw. 27 % (Abbildung 2). Auf die Grassilage bezogen machte die Saftausbeute 26 % bzw. 28 % aus. Bei der festen re-silierten Presskuchen-Fraktion konnten 68 % bei Kleegras bzw. 69 % bei Rotklee gewonnen werden. Somit ergaben sich TM-Verluste bei der Pressung von 174 kg TM/ha (6,6 %) beim Kleegras und 99 kg TM/ha (3,7 %) beim Rotklee. Die gesamten

TM-Verluste vom Grünfutter vor der Ernte bis zum fertigen Futtermittel betrugen insgesamt 620 kg TM/ha (20,4 %) bei Kleegras und 163 kg TM/ha (5,8 %) bei Rotklee.

Tabelle 7: **Hektarerträge, Gehaltswerte und Verluste bei Kleegras und Rotklee vom 1. Aufwuchs durch Silierung und Bioraffinierung (Fraktionierung durch Pressung)**

		Erntegut im Pressballen		Silage		Presssaft frisch		Presskuchen frisch		Verluste Pressung		Gesamt-verluste	
Parameter	Einheit	Kleegras	Rotklee	Kleegras	Rotklee	Kleegras	Rotklee	Kleegras	Rotklee	Kleegras	Rotklee	Kleegras	Rotklee
Trockenmasse	kg/ha	2942	2711	2620	2692	669	746	1778	1847	173	99	620	163
	%	*112,3*	*100,7*	*100*	*100*	*25,5*	*27,7*	*67,8*	*68,6*	*6,6*	*3,7*	*20,4*	*5,8*
	g/kg TM	142	162	146	159	204	208	116	126				
Rohprotein	kg/ha	419	440	382	427	136	155	206	233	39	39	107	68
	%	*109,6*	*103,0*	*100*	*100*	*35,7*	*36,3*	*54,0*	*54,5*	*10,3*	*9,2*	*24,0*	*14,8*
	g/kg TM	17,0	26,2	14,9	20,9	7,8	7,5	11,8	15,3				
Lysin	kg/ha	50	71	39	56	5	6	21	29	13	22	26	29
	%	*128,2*	*126,1*	*100*	*100*	*13,3*	*9,9*	*52,8*	*51,3*	*33,8*	*38,7*	*50,0*	*39,3*
	g/kg TM	8,2	12,2	7,1	10,2	2,9	3,2	6,4	7,3				
Methionin + Cystin	kg/ha	24	33	19	28	2	2	11	14	6	11	12	18
	%	*129,6*	*120,4*	*100*	*100*	*10,2*	*8,7*	*60,2*	*50,2*	*29,6*	*41,1*	*47,4*	*52,5*
	g/kg TM	361	310	390	343	0	0	499	447				
aNDFom	kg/ha	1063	841	1022	923	0	0	887	826	135	97	236	37
	%	*104,0*	*91,1*	*100*	*100*	*0,0*	*0,0*	*86,8*	*89,5*	*13,2*	*10,5*	*21,6*	*4,3*
	g/kg TM	104	109	107	111	77	186	77	83				
Rohasche	kg/ha	305	295	280	298	123	139	136	153	20	7	50	7
	%	*109,2*	*99,1*	*100*	*100*	*44,0*	*46,5*	*48,7*	*51,3*	*7,3*	*2,2*	*15,9*	*2,3*
	g/kg TM	2,9	3,0	3,0	3,0	6,6	6,4	1,5	1,6				
Phosphor (P)	kg/ha	8,61	8,07	7,92	8,17	4,42	4,73	2,72	3,01	0,77	0,41	1,71	0,80
	%	*108,7*	*98,8*	*100*	*100*	*55,8*	*57,9*	*34,3*	*36,9*	*9,9*	*5,3*	*19,4*	*9,5*
	mg/kg TM	6,7	8,4	7,0	8,6	6,1	7,1	7,4	9,2				
Kupfer (Cu)	g/ha	19,6	22,7	18,2	23,2	4,1	5,3	13,1	17,0	1,02	0,93	4,06	1,55
	%	*107,6*	*97,8*	*100*	*100*	*22,3*	*22,8*	*72,1*	*73,2*	*5,6*	*4,0*	*20,1*	*6,6*
	g/kg TM			59	86	133	192	26	39				
Gärprodukte	kg/ha			155	231	89	143	46	71	20	17		
	%			*100*	*100*	*57,4*	*61,9*	*29,7*	*30,8*	*12,9*	*7,3*		

Gärprodukte = Milchsäure + Essigsäure + Propionsäure + Buttersäure + Ethanol
Verluste Pressung = Masse Silage – Masse Presssaft – Masse Presskuchen frisch
Gesamtverluste = Bruttomasse vor Futterernte – Masse fertiges Futter (Presssaft, re-silierter Presskuchen) vor Futtervorlage

Vom gesamten Rohprotein (XP) aus der Silage konnten durch die Bioraffinierung rund 36 % in den Presssaft überführt werden und ca. 54 % verblieben im Presskuchen. Der frische Presssaft enthielt 204 bis 208 g XP/kg TM. Gegenüber der Silage büßte der Presskuchen ca. 30 g XP/kg TM ein. Die Pressung bedingte XP-Verluste von 9,2 bis 10,3 % (Tabelle 1). Bezogen auf die Hektarerträge gingen bei Kleegras 24 % XP und bei Rotklee 15 % XP bis zum fertigen Futter verloren.
Die Bilanzierung der essentiellen Aminosäuren Lysin, Methionin und Cystin wurde über den gesamten Prozess durchgeführt. Je Hektar wurden bei Lysin Bruttoerträge von 50 bis 70 kg festgestellt. Allein durch die Silierung betrugen die Verluste 22 %. Aufgrund der leichten Verderblichkeit des Presssaftes gingen durch die Bioraffinierung weitere 34 bis 39 % verloren, vorwiegend durch Deaminierung, sodass sich die Gesamtverluste bei Lysin auf 39 bis 50 % beliefen. Für die schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystin, die mengenmäßig ca. die Hälfte des Ertrages von Lysin brachten, war die Übertragung in den Presssaft etwas geringer und die Gesamtverluste mit 47 bis 53 % tendenziell höher als bei Lysin (Tabelle 1). Fazit, die wertvollen Aminosäuren wurden in unseren Bilanzversuchen durch Gärung und Bioraffinierung stark reduziert.
Neutrale Detergenzienfaser (aNDFom) nahm anteilsmäßig die größte Masse ein. Bis zum Ende der Gärung konnte eine geringfügige Reduktion festgestellt werden. In den Presssaft wurden keine Faserbestandteile aus der Silage überführt, daher verblieb die meiste Faser im Presskuchen. Der Effekt der Fraktionierung über die Futterpressung bewirkte im Presskuchen einen Anstieg der aNDFom-Gehalte

um ca. 100 g/kg TM gegenüber der Silage. Die Massenbilanz für aNDFom ergab einen Gesamtverlust von 22 % NDF für Kleegras und 4 % für Rotklee (Tabelle 1).
Die Rohaschegehalte (XA) im Feldfutter lagen zwischen 104 und 111 g/kg TM. Durch die Pressung der Silagen wurden 44 bis 47 % von XA in den Presssaft transferiert, während 2 bis 7 % an XA bei der Bioraffinierung verloren gingen. Im Presskuchen reduzierten sich die XA-Gehalte gegenüber der Silage um ca. 30 g/kg TM. Die gesamten Massenverluste an XA vom Grünfutter bis zum fertigen Futter betrugen 2 bis 16 %. Beim Phosphor (P) waren die Gehaltswerte im Futter, wahrscheinlich in Verbindung mit der biologischen Wirtschaftsweise, mit 2,9 bis 3,0 g/kg TM eher mäßig. Mit der Pressung gelangten 56 bis 58 % an P in den Presssaft und 5 bis 9 % gingen bei der Pressung verloren, sodass der Presskuchen nur mehr 1,5 bis 1,6 g P/kg TM enthielt. Die Gesamtverluste lagen zwischen 10 und 19 % P. Völlig anders verhielt sich die Situation beim Kupfer (Cu). Hier wurden im Zuge der Pressung nur rund 22 % Cu in den Presssaft überführt, sodass im Presskuchen die Kupfergehalte höher waren als in der Silage (Tabelle 1). Letztlich waren auch bei Kupfer gesamte Massenverluste zwischen 7 bis 20 % vorhanden.
In die Bilanzierung wurden zusätzlich noch die Fermentationsprodukte der Gärung, wie Milchsäure, flüchtige Fettsäuren und Ethanol einbezogen. Immerhin wurden je Hektar Futter zwischen 155 und 231 kg Gärungsprodukte erzeugt. Mit der Pressung wanderten 57 bis 62 % dieser Produkte in den Presssaft, wodurch dieser sehr hohe Gehalte von 133 bis 192 g Gärprodukte/kg TM enthielt. Im frischen Presskuchen wurden die Summengehalte an Gärprodukten hingegen mehr als halbiert. Die Re-Silierung der Presskuchen initiierte eine neuerliche Milchsäuregärung, wodurch nach RESCH et al. (2022) die Gärproduktgehalte im re-silierten Presskuchen um das doppelte bis 3-fache anstiegen und eine sehr gute Gärqualität aufwiesen.

Zusammenfassung

In Arbeitspaket C5.1 des Forschungsprojektes „Farm4More“ (LIFE18CCM/IE/001195) wurden die silierten Grundfuttermittel Kleegras und Rotklee vom 1. Aufwuchs 2021 mittels Schneckenpresse in eine flüssige und feste Phase fraktioniert. Vom Feld bis zum fertigen Futtermittel wurden die Massen erhoben, um die Stoffströme und Prozessverluste abbilden zu können. Wir konnten nachweisen, dass allein die Vergärung zu Silage die essentiellen Aminosäuren (Lysin, Methionin und Cystin) um ca. 20 % und TM sowie Rohprotein um bis zu 10 % gegenüber dem Grünfutter reduzierten. Die Pressung der angewässerten Silagen (TM 230 g/kg FM) bewirkte eine stoffliche Übertragung von 26 bis 28 % TM in den Presssaft, wobei verschiedene Stoffe unterschiedlich stark in die Flüssigfraktion transferiert wurden: Kupfer ca. 22 %, Rohprotein ca. 36 %, Rohasche 44-46 %, Phosphor (P) 56-58 %, Gärprodukte 57-62 %. Im leicht verderblichen Saft ging ein guter Teil der wertvollen Aminosäuren durch Deaminierung verloren. Im Presskuchen veränderten sich die Nähr- und Mineralstoffgehalte gegenüber der Silage signifikant: z.B. 30 g weniger Rohprotein, 100 g mehr aNDFom/kg TM. Die Massenbilanzierung zeigte uns, dass sich vom Grünfutter bis zum fertigen Futtermittel Verluste summierten: bei Rotklee 5,8 % TM, 15 % Rohprotein und 39-53 % weniger Aminosäuren; bei Kleegras 20,4 % TM, 24 % Rohprotein und 47-50 % weniger Aminosäuren. Insofern muss bei der Bioraffinierung besonderes Augenmerk auf eine rasche Konservierung oder Eindampfung des leicht verderblichen Pressaftes und auf eine Optimierung der Prozesse gelegt werden, um die stofflichen Verluste zu reduzieren.

Abstract

In work package C5.1 of project "Farm4More" (LIFE18CCM/IE/001195), the ensiled grass/clover mixture and red clover from the first growth 2021 were fractionated into a liquid and solid phase using a screw press. The masses were recorded from the field to the finished feed in order to be able to map the material flows and process losses. We observed that fermentation to silage reduced the essential amino acids (lysine, methionine and cystine) by about 20 % and DM as well as crude protein by up to ca. 10 % compared to green forage. The pressing of the watered silages (DM 230 g/kg FM) caused a material transfer of 26 to 28 % DM into the pressed juice, whereby different substances were transferred to the liquid fraction to varying degrees: copper about 22 %, crude protein about 36 %, crude ash 44-46 %, phosphorus (P) 56-58 %, fermentation products 57-62 %. In the perishable juice, a good part of the valuable amino acids was lost through deamination. In the press cake, the nutrient and mineral contents changed significantly compared to the silage: e.g. 30 g less crude protein, 100 g more aNDFom/kg DM. The mass balance showed us that losses from the green forage to the finished conserves

added up: for red clover 5.8 % DM, 15 % crude protein and 39-53 % less amino acids; for grass/clover mixture 20.4 % DM, 24 % crude protein and 47-50 % less amino acids. However, special attention must be paid in biorefining to rapid preservation or evaporation of the perishable press juice and to optimising the processes in order to reduce the material losses.

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Beteiligung der Europäischen Union zum Life-Projekt „LIFE Farm4More - Future Agricultural Management for multiple outputs on climate and rural development“ mit der Projektnummer LIFE 18 CCM /IE/001195 Farm4More.

Weitere Infos zum Projekt über www.farm4more.eu

Literatur

COLAS D, DOUMENG C, PONTALIER PY, Rigal L (2013): Green crop fractionation by twin-screw extrusion: Influence of the screw profile on alfalfa (Medicago sativa) dehydration and protein extraction. Chemical engineering and processing: Process Intensification, 72, 1-9.
EUROPEAN PARLIAMENT (2011): Report A7-0026/2011 4.2.2011. The EU protein deficit: What solution for a long-standing problem? (2010/2011(INI)) Committee on Agriculture and Rural Development, Rapporteur: Marin Häusling.
KROMUS S, WACHTER B, KOSCHUH W, MANDL M, KROTSCHEK C, NARADOSLAWSKY M (2004): The green biorefinery Austria-development of an integrated system for green biomass utilization. Chemical and biochemical engineering quarterly, 18(1): 7-12.
LOSAND B, WALDMANN B (2003). Mit der Mikrowelle auf der richtigen Spur. Dlz, Tierhaltung (3) 2003: 126-128.
PIRIE NW (1987): Leaf protein and its by-products in human and animal nutrition. Cambridge University Press.
RINNE M, TIMONEN P, STEFANSKI T, FRANCO M, VAINIO M, WINQUIST E SIIKA-AHO M (2018): Grass silage for biorefinery – Effects of type of additive and separation method. XVIII International Silage Conference, Bonn, Germany, July 2018, 182-183.
RESCH R, WINTER M, MANDL M, STEINWIDDER A, SWEENEY J, McDONELL K (2022): Futter- und Gärqualität von resilierten Presskuchen aus der Bioraffinierung von verschiedenen Grassilagen. 76. ALVA-Jahrestagung, Steiermarkhof, 30.-31. Mai 2022, Graz, 159-161.
STEINHÖFEL O (2020): Konservierung von Futtermitteln, In: JEROCH H, DROCHNER W, RODEHUTSCORD M, SIMON A, SIMON O, ZENTEK J (Hg.): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 3. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, 310-335.
STØDKILDE L, LASHKARI S, ERIKSEN J JENSEN SK (2021): Enhancing protein recovery in green biorefineries through selection of plant species and time of harvest. Animal Feed Science and Technology, 278, 115016.
VDLUFA (1976): Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Adressen der Autoren

[1] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

[2] tbw research GesmbH, Schönbrunner Str. 297, A-1120 Wien

[3] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

[4] University College, Belfield, Dublin 4, Ireland

*Ansprechpartner: Ing. Reinhard RESCH, reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

Isotopen-Methoden zur Analyse der Wasserdynamik bei Zuckerrübe

Isotope methods for analyzing water relations in sugar beet

Gernot Bodner[1], Sabrina Santos Pires[1,3], Stefan Geyer[2], Herbert Eigner[2], Christine Stumpp[3]

Einleitung

Wasserknappheit stellt auch im pannonischen Produktionsgebiet im Osten Österreichs, einer Übergangsregion in den semi-ariden kontinentalen Klimaraum, für die Nutzpflanzenproduktion den wichtigsten Ertrag-limitierenden Faktor dar. Darüber hinaus ist mit dem Klimawandel mit einer Zunahme an Trocken- und Hitzeperioden zu rechnen, für die es pflanzenbaulicher und züchterischer Anpassungen bedarf.

Die Zuckerrübe stellt durch ihr tiefreichendes Wurzelsystem und eine hohe Fähigkeit zur osmotischen Anpassung eine an diesen Klimaraum sehr gut angepasste Kulturpflanze dar, die potenziell die gespeicherten Wasserressourcen auf den tiefgründigen Lössböden des Weinviertels sehr gut nutzen kann. Dennoch steht die Zuckerrübe in diesen wasserlimitierten Produktionsräumen im Vergleich zu humideren Gebieten in Österreich und Europa unter Druck. Für die Erhaltung einer ausreichenden heimischen Produktion auf den ostösterreichischen Rübenflächen, jedoch allgemein für die Anpassung in kontinentalen Anbaugebieten Mittel- und (Süd)Osteuropas, sind daher besondere Anstrengungen erforderlich, um effiziente Maßnahmen zur Optimierung der Resilienz gegenüber Trockenheit zu entwickeln.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung verschiedener Managementoptionen zur Ertragssicherung von Zuckerrübe im pannonischen Raum und im speziellen die Nutzung von isotopenbasierten Methoden zur Bewertung der Wasserdynamik im Boden-Pflanze-Kontinuum.

Material und Methoden

Feldversuche: In Feldversuchen an den Standorten Oberhausen (Marchfeld, Grauer Auboden) und Guntersdorf (Weinviertel, Schwarzerde) wurden in den Jahren 2020 und 2021 folgende Versuchsfaktoren getestet: Sorte (Vandana *vs.* Heston), Abdeckung (mit *vs.* ohne Hackschnitzel), Beregnung (voll *vs.* reduziert; nur Standort Oberhausen), Zwischenfrucht (Begrünung + Mulchsaat *vs.* Schwarzbrache + Pflug) sowie Düngung (70 *vs.* 140 kg N ha^{-1}). Die Versuche waren als Spaltanlage angelegt.

Untersuchungen: Neben Ertrags- und Qualitätsparametern der Zuckerrübe wurden Oberbodenfeuchte, Bodentemperatur, Blatttemperatur, stomatäre Leitfähigkeit sowie Kohlenstoffisotope (^{13}C) an allen Parzellen gemessen. An ausgewählten Parzellen wurde an Bodenproben die Tiefenverteilung der Wasserisotope ^{2}H und ^{18}O untersucht. Die Auswertung der Isotope erfolgt dabei immer über eine Verschiebung des natürlichen Isotopenverhältnisses im Vergleich zu einer Verschiebung in der Probe, was auf Fraktionierungsprozesse hinweist (FARQUHAR et al. 1989; STUMPP et al., 2009). Bei C kommt es zu einer Anreichung des schwereren ^{13}C bei Trockenstress, bei H und O gibt die Anreicherung unter anderem Hinweise auf eine höhere Evaporation.

Auswertung: Die Datenauswertung erfolgte in SAS mittels Varianzanalyse (PROC MIXED) zur Bestimmung signifikanter Einflussfaktoren auf die Messparameter sowie über Regressionsanalyse (PROC

REG), um Zusammenhänge zwischen Messgrößen zu untersuchen. Hier werden neben der Darstellung der dominanten Einflussgrößen auf den Ertrag vor allem die Ergebnisse der Isotopenanalyse gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Ertragseffekte: Abbildung 1 zeigt die wichtigsten ertragsbestimmenden Managementfaktoren mit signifikanten Effekten. Diese waren am Standort Oberhausen erwartungsgemäß die Beregnung (vor allem im Versuchsjahr 2020 mit einer Trockenphase im Juli) sowie die Sorte, die jedoch nur im Jahr 2020 signifikante Unterschiede brachte. An beiden Standorten wurde über die Abdeckung mit Hackschnitzel konsistent eine signifikante Ertragssteigerung im bereinigten Zuckerertrag erzielt.

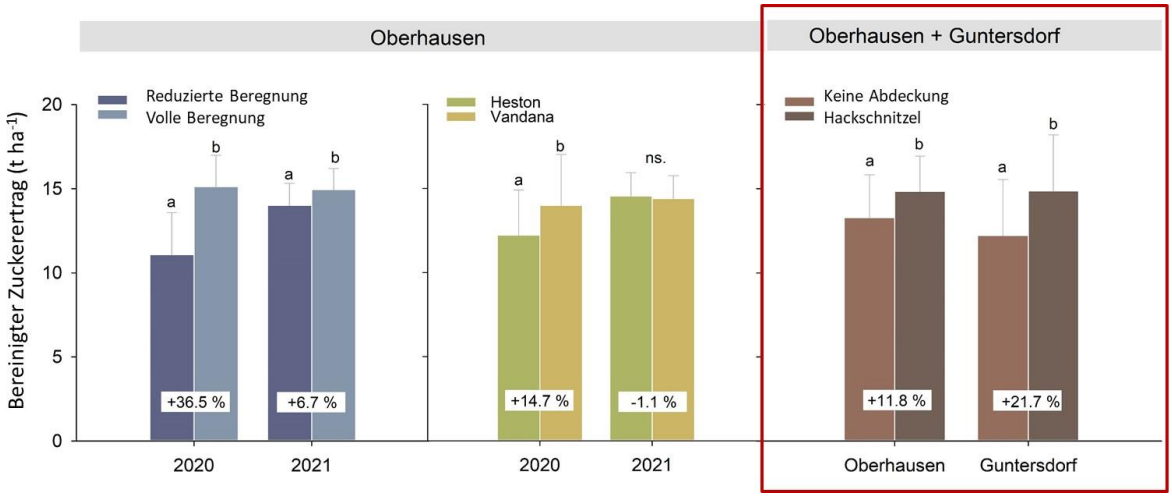


Abbildung 1: **Einfluss der Managementfaktoren Bewässerung, Sorte und Bodenabdeckung auf den bereinigten Zuckerertrag.**

Wirkung der Blatttemperatur: Abbildung 2 zeigt, dass der Ertrag wesentlich vom Öffenungszustand der Stomata beeinflusst wurde, der über die Blatttemperatur effizient auch im Feld erfasst werden kann. Dabei zeigte sich, dass jene Parzellen, an denen die Blatttemperatur zu Reihenschluss niedriger war (also die Pflanzen durch bessere Wasserversorgung weiterhin CO_2 assimilierten und damit auch ihre Blätter über die gekoppelte Verdunstung kühler waren) höhere Erträge aufwiesen. Zur Ernte jedoch war der Zusammenhang umgekehrt, was darauf hinweist, dass hier geringere Veratmungsverluste durch geschlossene Stomata der dominante Mechanismus waren.

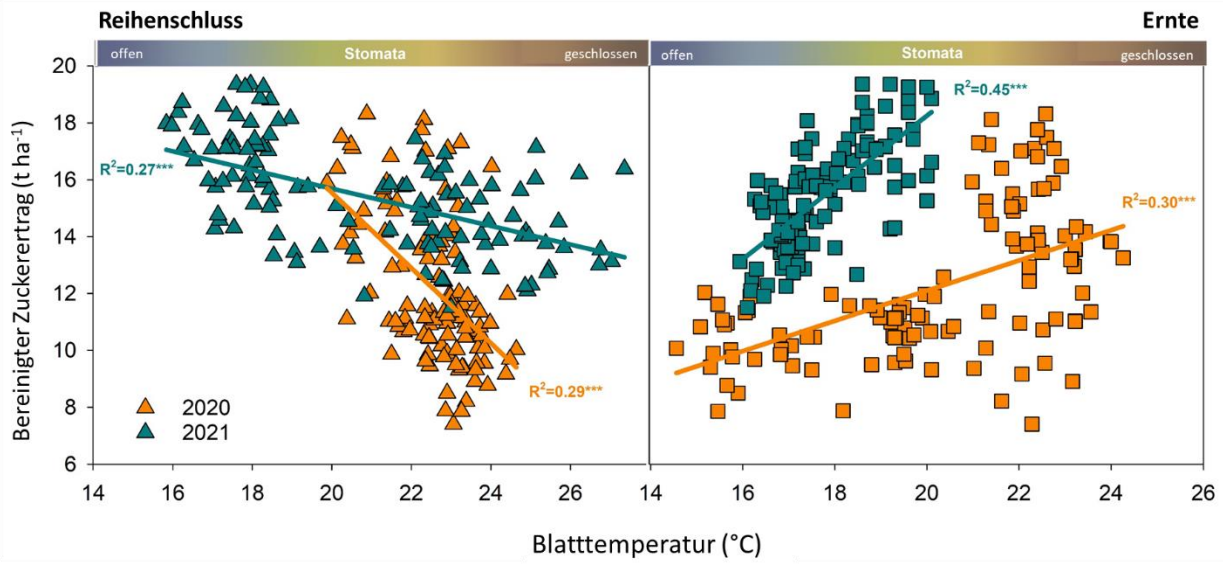


Abbildung 2: **Zusammenhang von Blatttemperatur als indirekte Messgröße für die Stomataöffnung und bereinigtem Zuckerertrag zum Zeitpunkt Reihenschluss und Ernte an beiden Versuchsstandorten.**

Isotopen: Abbildung 3 zeigt die Kohlenstoffisotop-Diskriminierung für den Faktor Sorte, wo es zu einer signifikanten Differenzierung zwischen den Sorten kam. Konsistent über beide Standorte und Jahre zeigte Vandana durchgängig eine höhere Diskriminierung des ^{13}C-Isotopes. Dies weist auf einen besseren Wasserversorgungszustand dieser Sorte und damit eine höhere Stomataleitfähigkeit hin, was auch mit dem im Jahr 2020 signifikant höherem Ertrag konsistent ist.

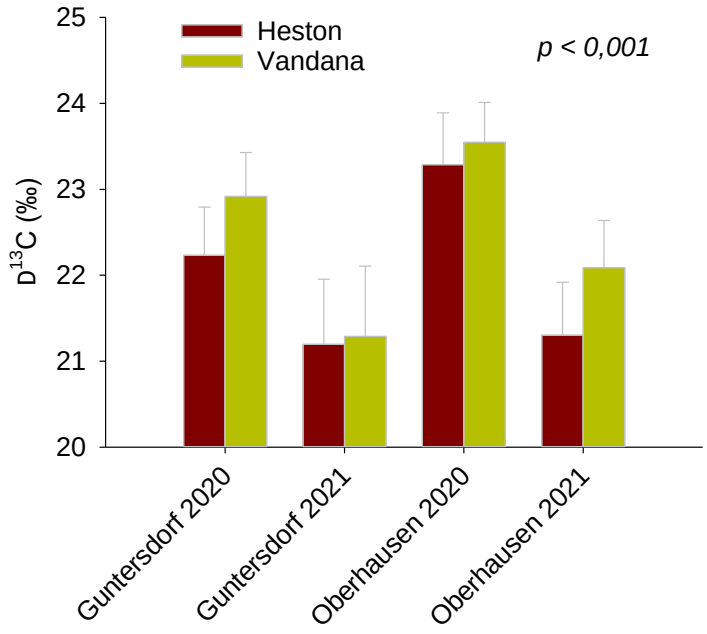


Abbildung 3: **Kohlenstoffisotop-Diskriminierung als Indikator für Sortenunterschiede im Wasserversorgungszustand bei Zuckerrübe.** ***(Der Sorteneffekt ist im Mittel der Standorte und Jahre hoch signifikant; die Interaktionen Sorte x Jahr und Sorte x Standort sind nicht signifikant).***

Abbildung 4 zeigt die Unterschiede in der Wasserisotopen-Zusammensetzung für die Varianten Bodenabdeckung und Sorte. Bei der Abdeckung unterschied sich ^{2}H signifikant im Oberboden, was auf die Evaporationsreduktion durch die Hackschnitzel hinweist. Der Sorteneffekt zeigte sich deutlich im ^{18}O, was auf Unterschiede in der Wassernutzung im Oberboden hinweist. Dies lässt auf unterschiedliche Wasseraufnahmestrategien als Grund für die im ^{13}C gezeigten Differenzen in der Stresssituation der Sorten schließen.

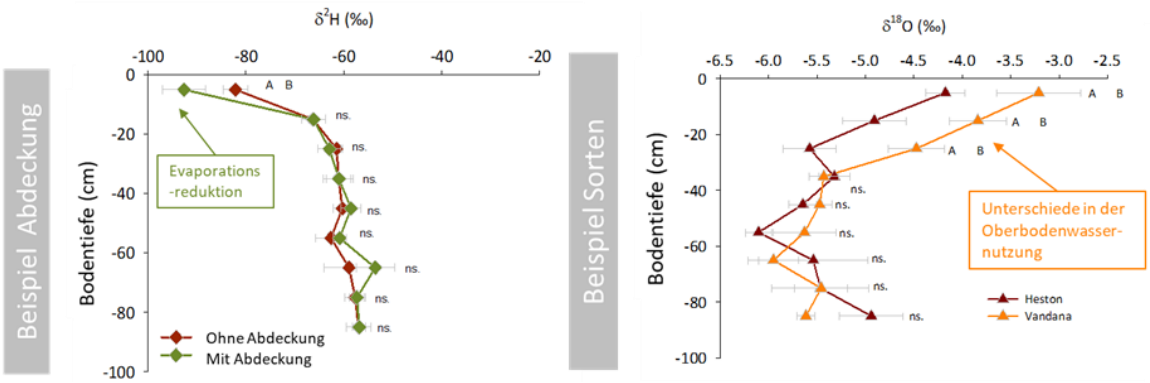


Abbildung 4: **Einfluss der Abdeckung (links) und Sorte (rechts) auf die Zusammensetzung der Wasserisotope. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei der Abdeckung im ^{2}H und bei der Sorte im ^{18}O.**

Zusammenfassung

Neben der Bewässerung, stellt eine ausreichende Bodenabdeckung zur Reduktion der unproduktiven Bodenverdunstung eine wesentliche Maßnahme zur Klimawandelanpassung des Zuckerrübenanbaus im pannonischen Raum dar. Durch Sortenunterschiede in der Stresstoleranz kann die Züchtung über Optimierung der Bodenwassernutzung einen wichtigen Beitrag zur Sicherung des Zuckerrübenanbaus im Trockengebiet leisten. Die Verwendung von Isotopen-Markern in Pflanze und Boden stellt dazu ein interessantes Hilfsmittel dar, durch das physiologische Anpassungsprozesse besser verstanden und damit für die Bewertung effektiver Managementmaßnahmen und die Prüfung der Sorteneignung für das Trockengebiet genutzt werden können.

Abstract

In addition to irrigation, sufficient soil cover to reduce soil evaporation is an essential measure for climate change adaptation in sugar beet cultivation in the pannonian region. Due to variety differences in stress tolerance, breeding towards an optimization of soil water use can contribute to securing sugar beet cultivation in semi-arid areas. The use of isotopic markers in plants and soil is an interesting tool that can be used to better understand physiological adaptation processes and thereby evaluate effective management measures and cultivar suitability for water-limited production areas.

Literatur

FARQUHAR GD, EHLERINGER JR, HUBICK KT (1989). Carbon isotope discrimination and photosynthesis. Annual review of plant biology, 40(1), 503-537.
STUMPP C, MALOSZEWSKI P, STICHLER W, FANK J (2009). Environmental isotope (δ18O) and hydrological data to assess water flow in unsaturated soils planted with different crops: Case study lysimeter station "Wagna"(Austria). Journal of Hydrology, 369(1-2), 198-208.

Danksagung
Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „Optibeet: Pflanzenbauliche und züchterische Strategien zur Optimierung der Wassernutzungseffizienz von Zuckerrüben" (GZ BMNT-LE. 1. 3. 2/0047-PR/8/2019), das vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus gefördert wird.

Adressen der Autoren

[1]Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, 3430 Tulln

[2] Agrana Research & Innovation Center, Reitherstr. 21-23, 3430 Tulln an der Donau

[3]Institut für Bodenphysik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien, Muthgasse 18,1190 Wien

[*]Ansprechpartner: Gernot BODNER gernot.bodner@boku.ac.at

Pflanzenschutzmittelreduktion mittels Drohnen-Anwendung: Spot Spraying – punktgenaue Unkrautbekämpfung durch ein Hybrid System aus Drohnen, künstlicher Intelligenz und Pflanzenschutzspritze

Crop protection product reduction by means of drone application: Spot spraying - pinpoint weed control using a hybrid system of drones, artificial intelligence and crop protection sprayer

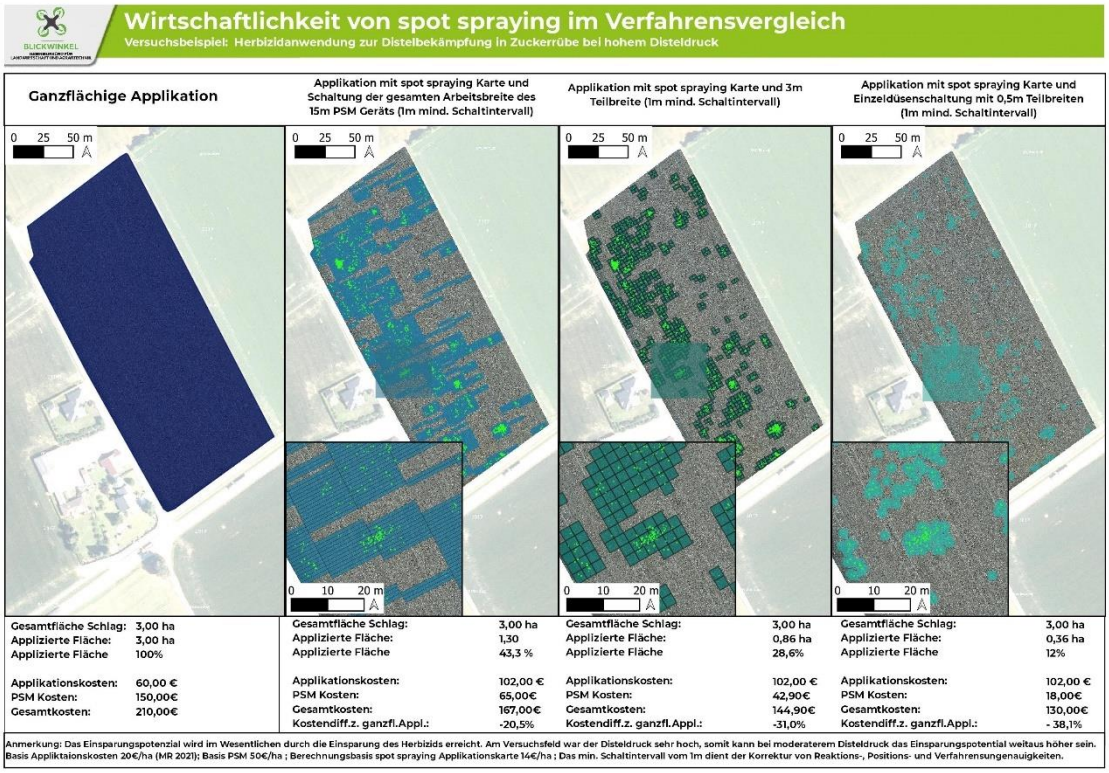
Michael Treilmeier

Als die EU-Vorgaben zum Green Deal präsentiert wurden folgte vielfach staunen und auch etwas Kopf schütteln. Die Reduktion nach pauschalen Kriterien kann in dieser Form fachlich nicht nachvollzogen werden, da die Anforderungen der Praxis eine viel differenziertere Betrachtungsweise verlangen.
Dennoch ist hinter der Ausgestaltung dieser Vorgaben ein klares Ziel zu erkennen: Reduktion des PSM-Einsatzes. Neben der Diskussion zu den pauschalen Grenzen gibt es auch aktuell bereits praxisreife Lösungen, die in der breiten Landwirtschaft angeboten werden und dieser Zielerreichung sehr dienlich sind, sofern es gelingt diese Systeme auch für die Betriebe attraktiv zu machen.

Spot spraying - die punktuelle PSM-Applikation von einzelnen Unkräutern ist via Rückenspritze oder dem manuellen Betätigen bei Sichtung von Zielunkräutern im Prinzip nichts Neues. In einem Verfahren, dass vom Ingenieurbüro BLICKWINKEL aus Kirchdorf am Inn und dem Maschinenring Oberösterreich angeboten wird, erfolgt die Detektion der Zielunkräuter nun durch Drohnen. Ein System basierend auf künstlicher Intelligenz sucht in den erfassten Daten Zielunkräuter und erstellt daraus Applikationskarten für PSM-Spritzen. Einzelne Pflanzenschutzgeräte Hersteller bieten vergleichbare Systemansätze auch als online Lösung am Spritzbalken an. Dabei wird Detektion und unmittelbare Applikation in Echtzeit durchgeführt. Die drohnenbasierte Lösung ist im Vergleich zu online Detektion flexibler im Einsatz und nach Hektartarif auch günstiger. So stehen hier ca. 25-65€/ha mittels Drohne (Dienstleistung) gegenüber (ab) 60.000€ für online Systeme. Bei der drohnenbasierten Lösung ist es dem Landwirt möglich seine bestehende Pflanzenschutztechnik zu verwenden. Die Anforderungen, um die Applikation spot genau durchführen zu können sind bei der drohnenbasierten Lösung vergleichsweise gering. So muss die PSM-Spritze lediglich section control tauglich sein (TC-SC Freischaltung).

Wie exakt nun PSM auf Unkräuter gezielt appliziert werden können hängt zum einen von der Detektionsgenauigkeit und zum Zweiten von der verwendeten Applikationstechnik ab.
Je nach technischer Ausstattung der PSM-Spritze können entweder Teilbreitensegmente oder Einzeldüsen geschaltet werden. In einer Potentialanalyse konnten die Einsparungspotentiale dieser Technologie sehr gut veranschaulicht werden. Die Ergebnisse machen deutlich, dass der Hebel der Einsparungen enorm sein kann.

Auf einem Zuckerrübenschlag wurde eine drohnenbasierte Detektion auf Distelpflanzen durchgeführt. Aus den Ergebnissen konnten anschließend die Anzahl und Verteilung abgeleitet werden.



In der Versuchsanordnung wurde das Einsparungspotential auf drei verschiedene Genauigkeiten analysiert. Dabei wurde angenommen, dass die jeweils vorhandene Technik genutzt wird und entweder die gesamte Arbeitsbreite (15m), eine Teilbreite (3m) oder die Einzeldüse (0,5m) angesteuert und dort ein bzw. ausgeschaltet wird, wo sich Distelpflanzen befinden.

In der Praxis wenden Betriebe dieses Verfahren oft durch manuelles Schalten der gesamten Arbeitsbreite oder Teilbreite bei Sichtung von Unkräutern an. Selbst bei hoher Aufmerksamkeit des Fahrers ist die Qualität nicht mit einer automatischen Schaltung vergleichbar, da diese viel exakter Arbeiten kann. Zum einen ist das visuelle Erkennen der Unkräuter durch den Fahrer nur bis zu einer bestimmten Arbeitsbreite möglich und zum anderen ist auch die Reaktionszeit bei automatischen Systemen geringer. Der erste untersuchte Versuchsparameter war die applizierte Fläche, also jene Fläche, auf der im Vergleich zur ganzflächigen Anwendung tatsächlich PSM ausgebracht werden. Bei der Variante mit 15m reduzierte sich diese Fläche bereits auf nur mehr 43,3%, was bereits einer deutlichen Einsparung von 57,7% entspricht. Reduziert man das Schaltintervall auf eine Teilbreite mit 3m so reduziert sich die Applizierte Fläche auf nur mehr 28,6%, bei der Einzeldüsenabschaltung auf nur mehr 12%. So konnte in diesem Beispiel eine theoretische PSM-Einsparung von 88% nachgewiesen werden. In der praktischen Anwendung der Applikationskarte wurde in diesem Beispiel auch eine 1m breite Pufferzone um die Detektionsergebnisse (Disteln) gesetzt, um auch eventuelle Positionsungenauigkeiten und Regelungszeiten der PSM-Spritze auszugleichen. Wie hoch in der Praxis die Einsparungspotentiale tatsächlich sind hängt neben der Technik in erster Linie von Anzahl und Verteilung der Distel bzw. Zielunkräuter auf der Fläche ab. So kann auch keine generell gültige Aussage getroffen werden, da diese Parameter in der Natur sehr vielfältig sein können.

Neben der applizierten Fläche wurde auch das wirtschaftliche Einsparungspotential des drohnenbasierten Spot sprayings ermittelt. So fallen neben den PSM-Ausbringungskosten auch Kosten für den Drohnenflug an. Die in der Berechnung verwendeten Werte stammen aus 2020 und sind in einigen Bereichen nicht mehr aktuell. In der Versuchsannahme wurden die Kosten für die Applikationskarte (Befliegung und Datenberechnung) mit 14€/ha angesetzt. Dieser Wert ist aufgrund der generellen Preisentwicklung aktuell in den meisten Fällen nicht mehr realistisch und würde sich eher um 25€ pro ha für Flug und Auswertung bewegen. Bei den PSM-Kosten wurde für ein Clopyralid Produkt 50€/ha eingesetzt. Auch hier hat sich der Preis nach oben entwickelt. In der Betrachtung wurde im Versuch nicht die ha Ersparnis, sondern die Ersparnis am Gesamtschlag (3ha) verglichen. Im Vergleich zur ganzflächigen Applikation konnte ein ökonomisches Einsparungspotential von minus 20,5% bei 15m Abschaltung, minus 31% bei 3m Abschaltung und minus 38,1% bei 50cm Abschaltung erreicht werden.

Ein weiterer, sehr wesentlicher Einsparungsparameter, der in der obigen Berechnung nicht beinhaltet ist, ist die Information über die zu applizierende Fläche, die bereits im Vorfeld zur Verfügung steht. Diese Information eröffnet nochmals erhebliches Einsparungspotential, da der Anwender die PSM-Applikation sehr exakt planen kann und die notwendige Füllmenge zur Anwendung daraus ableiten kann. Restmengen können dadurch auf ein Minimum reduziert werden und auch Mindermengen, verbunden mit erneutem Befüllen gänzlich vermieden werden.
Fasst man nun beide Aspekte, jene der Reduktion der flächigen Anwendung und jene der wirtschaftlichen Einsparung zusammen ist das Potential nicht nur in der Theorie, sondern auch in der Praxis enorm.
Eine oft gestellte Frage, ob Landwirte die Befliegung auch selbst mit eigenen Drohnen durchführen können, kann von zwei Perspektiven beantwortet werden. Theoretisch ja, praktisch ist es aber meist nicht zielführend. Um eine ausreichende Detektionsgenauigkeit zu erreichen ist eine sehr hohe Auflösung der Bilddaten notwendig, dies bedeutet wiederrum, wenn gängige Consumer Drohnen eingesetzt werden, sehr niedrige Flughöhe bei gleichzeitig langsamer Fluggeschwindigkeit woraus beträchtliche Datenmengen entstehen, die nachfolgend auch hohe Rechenleistungen im post processing voraussetzen. Hinzu kommt eine gewisse technische Affinität zum Drohneneinsatz des Landwirts die vorausgesetzt werden muss. Je nach Fläche, die beflogen werden soll, erreicht man hier schnell einen wirtschaftlichen Break-Even Point in dem der Zeitaufwand aus praktischer Perspektive in dem meisten Fällen zu hoch wird. Die Berechnung der Daten und die Erstellung der Applikationskarten ist nur mit KI-Systemen (künstl. Intelligenz) möglich und somit in den meisten Fällen auch in der Hand von professionellen Dienstleistern. Softwarelösungen zur Erkennung werden aktuell vereinzelt angeboten, sind aber preislich mit Kosten verbunden, die für einzelnen Betriebe oft schwer wirtschaftlich abbildbar sind. Vergleichbar mit anderen landwirtschaftlichen Maschinen können solche Systeme je nach Flächenauslastung vertretbar amortisiert werden, sofern die Auslastung sichergestellt werden kann.
Die dargestellten Versuche laden, anhand er hohen Einsparungspotentiale, zur Euphorie ein. So hat das System natürlich aber auch seine Grenzen. Die Detektion von Unkräutern ist aus technischer Sicht grundsätzlich möglich. Praktisch anwendbar sind diese Systeme aber aktuell nur für größere und punktuell auftretende Unkräuter wie Ampfer, Distel, Stechapfel,u.v.m. Für eine ausreichende Detektion ist eine gewisse Mindestgröße von etwa 5-10cm oder mehr notwendig. So gibt es auch für die Befliegung ein begrenztes Zeitfenster. Sind die Zielunkräuter größer kann die Detektion bessere Ergebnisse erzielen, gleichzeitig sinkt auch die Anforderung and die Qualität der aufgenommenen Bilddaten. Zur Erkennung kleinerer Unkräuter gibt es bereits einzelne Start-Ups die diesen Anforderungen durch spezielle Sensorsysteme erfüllen werden. In diesem Segment ist zukünftig noch mit weiteren Entwicklungen zu rechnen.
Ein weiterer begrenzender Faktor sind Hindernisse am Feld wie etwa Strommasten. Niederspannungsleitung stellen in diesem Aspekt keine Hindernisse dar, da diese auch ohne Probleme überflogen werden. Mittel- und Hochspannungsleitungen oder etwa Windräder können für die Befliegung zum Problem werden. So sind es gerade die Stromleitungen, die oftmals in jener Flughöhe die Felder und auch die Flugbahn der Drohne queren. Aufgrund des geringen Durchmessers sind sie auch für Hinderniserkennungssysteme an den Drohnen schwer zu erfassen. Windräder hingegen sind gut im Vorfeld erkennbar, so lässt sich auch die Flugplanung danach ausrichten. Die Luftverwirbelung die jedoch auf der windabgewandten Seite entstehen können den Drohnenflug zu einem sehr riskanten Unterfangen machen.
Resümierend kann das Thema spot spraying mittel- und langfristig sehr optimistisch betrachtet werden. Die aktuell zur Verfügung stehenden Systeme können bei punktuell auftretenden Unkräutern erhebliche Einsparungspotentiale eröffnen und sind auch aus ökonomischer Perspektive eine äußerst interessante Art der Herbizid Anwendung. Sofern sich künftig rechtliche Rahmenbedingungen für die Herbizidausbringung mit Drohnen ändern, rückt die Behandlung von größeren spots (Nester) per Sprühdrohne in praxisreife Nähe.

Adresse des Autors

BLICKWINKEL digital service Ingenieurbüro für digitale Landwirtschaft, 4943 Kirchdorf am Inn

Ansprechpartner: DI Michael Treiblmeier, info@blickwinkel.pro

Evaluierung der Arbeitsqualität von In-Row Hacksystemen mittels Computer Vision Methoden

Evaluation of work quality of in-row hoeing systems using computer vision methods.

Peter Riegler-Nurscher*, Elias Eder, Marie Wenzlaff, Thomas Turic

Einleitung

Mechanische Beikrautbekämpfung innerhalb der Pflanzenreihen ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Landwirtschaft. Ziel ist es, den Einsatz von Herbiziden zu reduzieren und gleichzeitig die Wirksamkeit der Beikrautregulierung zu erhöhen. Die Ergebnisse der Validierung können auch dazu beitragen, die gängigen Praktiken und Technologien für die mechanische Beikrautbekämpfung zu verbessern, um den Bedürfnissen der Landwirte und der Umwelt gerecht zu werden.

Material und Methoden

Die vorliegende Methode nutzt sogenannte Panoptic Segmentation (WU 2019) basierend auf Convolutional Neural Networks (CNNs) um in RGB Bildern unterschiedliche Bodenbedeckungsklassen (Boden, tote organische Masse (toM), lebende organische Masse (loM) und Steine) sowie einzelne Nutzpflanzen (derzeit Mais und Zuckerrübe) zu erkennen. Zur Bestimmung der absoluten Flächenanteile wird ein auf Referenzmarkern basierter Rahmen verwendet, der in den Bildaufnahmen automatisiert weiterverarbeitet werden kann. Dabei werden die Referenzmarker im Bild automatisiert erkannt. Durch die 2D Koordinaten der Marker im Bild und die bekannte 3D Geometrie des Rahmens kann das Bild unter Integration der Kameraparameter rektifiziert werden.
Neben der punktuellen Anwendung kann die Methode mit hochaufgelösten Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Aufnahmen vollflächig genutzt werden.
Zur Validierung des Arbeitsergebnisses eines Hackvorgangs werden dabei an ausgewählten Punkten mit Rahmen oder vollflächig mit UAV vor und nach der Bearbeitung RGB Bilder aufgenommen. Die Methode liefert im Zuge der Bildauswertung die 2D Bodenbedeckungs-Anteile sowie die Anzahl und 2D Bedeckung der Nutzpflanzen. Das CNN basierende Modell kann unter www.soilcover.at mit eigenen Aufnahmen frei getestet werden.

Ergebnisse und Diskussion

Zur Veranschaulichung der Methodenanwendung ist in Abbildung 1 eine Beispielaufnahme mit Rektifizierungs- sowie Segmentierungsergebnis dargestellt. Dieses Bild wurde vor einem Hackvorgang aufgenommen. Eine zweite Aufnahme nach dem Hackvorgang, ermöglicht es den Hackprozess zu beurteilen.

Abbildung 1: **Links: Original Bildaufnahme; rechts oben: rektifizierter Bildbereich; rechts unten: Segmentierungsergebnis des rektifizierten Bildbereichs**

Tabelle 8: **Ergebnis der Messung aus Abbildung 1**

Klasse	**Erde**	**lebend organische Masse**	**tote organische Masse**	**Steine**	**Zuckerrübe #**		**Zuckerrübe 1**	**Zuckerrübe 2**	**Zuckerrübe 3**
Label									
prozentuell	85,14 %	4,08 %	2,07 %	0,0 %	8,71 %	3	5,10 %	1,80 %	1,82 %
absolut	2620,7 cm^2	125,6 cm^2	63,6 cm^2	0 cm^2	268,1 cm^2	3	156,9 cm^2	55,3 cm^2	55,9 cm^2

In Tabelle 1 wird das Ergebnis der Auswertung von Abbildung 1 numerisch dargestellt. Dabei wurde ein prozentueller als auch ein absoluter Bedeckungswert berechnet. Mit ca. 85% ist die Kategorie Erde am stärksten repräsentiert, gefolgt von Zuckerrübe mit ca. 8,7%. Im Bild wurden keine Steine erkannt. Die drei hellgelben Stufen zeigen jeweils eine Zuckerrübenpflanze an.

Tabelle 9: **Auswertungsergebnisse auf das Benchmark Datenset Zuckerrübe (STEININGER 2023)**

	fp Mio.	**fn** Mio.	**tp** Mio.	**tn** Mio.	**acc** %	**prec**	**rec**	**f1**	**spec**	**iou**
Erde	6,7	14,1	2360	104	99,17	0,9972	0,9941	0,9956	0,9402	0,9913
lebende org. Masse	3,1	6,6	6,4	2469	99,61	0,6715	0,4917	0,5677	0,9987	0,3963
Zuckerrübe	15,8	4,9	93,4	2371	99,17	0,8553	0,9502	0,9003	0,9934	0,8186

Um das Model zur Zuckerrüben-Segmentierung zu validieren wurde das in (STEININGER 2023) veröffentlichte CropAndWeed Datenset nach Bildern, die das Label Zuckerrübe, jedoch kein anderes Label einer Ackerkultur, enthalten, aussortiert. Durch diese Auswahl wurden 1190 Bilder selektiert, dabei wurden insgesamt knapp 2,5 Milliarden Pixel zur Validierung herangezogen. Dieses Datenset wurde nicht im Training verwendet. In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Auswertung dargestellt, wobei hier die Anzahl an False Positive (fp), False Negative (fn), True Positive (tp) und True Negative (tn) Pixel ermittelt und daraus die Werte für Accuracy (acc), Precision (prec), Recall (rec), F1-Score (f1) und Specificity (spec) errechnet wurden. Die Intersection over Union (iou) beschreibt die Überlappung der erkannten Bildbereiche zu den tatsächlich annotierten. Der in der Tabelle angeführte F1-Score ist besonders für stark unausgeglichene Datensets ein wichtiger Indikator für die Güte der Validierung. Aufgrund der überrepräsentierten Klasse Boden, die ca. 95,5% aller Pixel ausmacht, wurde der F1-Score berechnet. Lebende organische Masse erreicht dabei einen geringen F1 Score. Dieser kann durch Diskrepanzen zwischen Benchmarkdatenset und Trainingsdatenset erklärt werden. In Abbildung 2 etwa, sind im manuell annotierten Ground-Truth-Bild die Stängel der Pflanze als lebend organisch markiert, welche das Modell jedoch als tote organische Masse segmentiert. Da angenommen wurde, dass tote organische Masse als Boden annotiert wurde, erzeugt diese unterschiedliche Interpretation einen Fehler in der Validierung.

Abbildung 2: **Vergleich des Originalen Bildes (links) mit der manuell annotierten Ground Truth (mitte) und dem Ergebnis (rechts)**

Zusammenfassung

Die Validierung mechanischer Beikrautbekämpfung basiert derzeit auf manueller Bonitierung. Um diesen Bonitierungsprozess zu automatisieren können Computer Vision basierte Methoden verwendet werden. Die vorgestellte Methode nutzt sogenannte Panoptic Segmentation (WU 2019) basierend auf Convolutional Neural Networks (CNNs) um aus RGB Bildern unterschiedliche Bodenbedeckungsklassen sowie einzelne Nutzpflanzen zu segmentieren. Zur Vermessung der Bildbereiche wird ein Referenzrahmen verwendet. Eine Validierung der Methode basierend auf dem Datenset von (STEININGER 2023) ergab einen F1 Score für Zuckerrüben von 0,90.

Abstract

Validation of mechanical weed control is currently done manually. Computer vision based methods can be used to automate this process. The presented method uses so called Panoptic Segmentation (WU 2019) based on Convolutional Neural Networks (CNNs) to segment different soil cover classes and individual crops from RGB images. A reference frame is used to measure the classified image regions accurately. A validation of the method based on the dataset of (STEININGER 2023) resulted in an F1 score for sugar beet of 0.90.

Literatur

Steininger, D., Trondl, A., Croonen, G., Simon, J., & Widhalm, V. (2023). The CropAndWeed Dataset: A Multi-Modal Learning Approach for Efficient Crop and Weed Manipulation. In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (pp. 3729-3738).

Wu, Y., Kirillov, A., Massa, F., Lo, W.-Y., & Girshick, R. (2019). Detectron2. Retrieved from https://github.com/facebookresearch/detectron2

Adresse der Autoren

Josephinum Research, Rottenhauser Straße 1, A-3250 Wieselburg

* Ansprechpartner: Dr. Peter Riegler-Nurscher, p.riegler-nurscher@josephinum.at

Aktuelle Feldrobotik in der Landwirtschaft

Current field robotics in Agriculture

Michael Haider*, Franz Handler

Einleitung

Mangelnde Arbeitskräfte, strengere Vorgaben für die Düngung, Pflanzenschutz, Nachhaltigkeit und Dokumentation der Tätigkeiten stellen für die Landwirtschaft derzeit eine große Herausforderung dar. Nach Gil et al. (2023) kann der Einsatz von Feldrobotern und die damit verbundene Automatisierung der Arbeitsgänge sowie Erfassung von Daten zur Lösung dieser Herausforderungen wesentlich beitragen. Allerdings äußerten in einer in Frankreich, Griechenland, Niederlande und Spanien durchgeführten Studie die Mehrheit der befragten Landwirte Befürchtungen hinsichtlich zu hoher Investitionskosten, mangelnder Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie Schwierigkeiten beim Einsatz in kleinen Betrieben (Tamirat et al. 2023). Die Mehrheit der Landwirte erwartet Einsparungen bei Arbeitskräften, beim Kraftstoff und bei Herbiziden. Im Gegensatz dazu erwartet die überwiegende Anzahl der Landwirte keine Einsparungen bei Mineraldünger, Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren.
Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Robotik für die Landwirtschaft ist aktuell sehr dynamisch. Alleine 2021 wurden weltweit über 7.000 wissenschaftliche Artikel zum Thema Agrarroboter veröffentlicht (Cheng et al. 2023).
Dieser Beitrag gibt einen Überblick über das Angebot an Feldrobotern für die verschiedenen Einsatzbereiche sowie deren Entwicklungsstand.

Material und Methoden

Für die Marktanalyse wurde eine Internetrecherche durchgeführt. Weiters wurden im Rahmen von Workshops und Praxisvorführungen mit Vertretern von Herstellern und Entwicklern Interviews geführt. Die zentralen Aspekte der Recherchen und Interviews waren:

- Bauart bzw. Kategorie
- Zeitpunkt der Firmengründung
- Nationalität der Hersteller
- Einsatzbereich
- Kulturen
- Entwicklungsstand (Technology Readiness Level - TRL)
- Vertriebsmodelle
- Masse
- Antrieb

Im Zeitraum von 3. November 2022 bis 20. Februar 2023 wurden die Daten von insgesamt 176 Robotermodellen von 134 Herstellern in unterschiedlichen Entwicklungsstadien erfasst und anschließend mittels deskriptiver Statistik ausgewertet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Einteilung der Roboter erfolgt grundsätzlich in folgende Kategorien:

- Autonome Traktoren und Antriebeinheiten
- Autonome Geräteträger
- Spezialroboter für einzelne Tätigkeiten

Moderne Traktoren sind heute oftmals mit satellitenbasierten Lenksystemen ausgestattet. Diese ermöglichen das automatische Lenken des Traktors am Feld und die Fahrerin/der Fahrer übernimmt nur mehr das Wenden am Feldende sowie das Einstellen und Überwachen der Arbeitsgeräte. Bei entsprechender Ausstattung wird sogar der Wendevorgang automatisiert und somit bleibt für die Bedienperson, nach wenigen anfänglichen Arbeitsschritten, nur mehr die Überwachungstätigkeit. Würde die Person nun die Kabine verlassen, so könnte die Maschine selbstständig weiterarbeiten. Allerdings würde dieser „Roboter“ in seiner Umgebung nichts erkennen und das ist vor allem ein sicherheitstechnisches Problem. Durch die Ergänzung von Sensoren zur Umgebungserkennung kann somit aus einem modernen Traktor

„schnell“ ein Roboter werden. Allerdings geht aber durch den Wegfall der Bedienperson auch die Einstellung und Überwachung des Arbeitsgerätes verloren. Deshalb arbeiten Gerätehersteller daran traktorbetriebene Geräte durch den Einsatz von mechatronischen Systemen und Machine-Learning-Lösungen zu befähigen, sich selbst einzustellen sowie ihre Arbeitsqualität und Funktion selbst zu überwachen und auch die erforderliche Kommunikation mit dem Traktor zu führen (Ruckelshausen 2023). Die gleichen Anforderungen an Geräte stellen auch autonome Antriebseinheiten und autonome Geräteträger.

Autonome Antriebseinheiten ähneln Traktoren und sind teilweise kabinenlos, die autonom oder im sogenannten Platooning-Betrieb eingesetzt werden. Dabei werden mehrere fahrerlose Maschinen an ein mit einer Bedienperson besetztes Führungsfahrzeug virtuell gekoppelt. Sie können wie der Traktor mit verschiedenen Geräten gekoppelt werden.

Autonome Geräteträger sind Mehrzweckroboter, die in der Regel mit einem 3-Punkt-Anbaurahmen ausgestattet sind um verschiedene Arbeitsgeräte im Zwischenachsanbau aufnehmen zu können.

Spezialroboter für einzelne Tätigkeiten werden beispielsweise für die Saat, die Beikrautregulierung, das Pflanzenmonitoring oder die Ernte von Spezialkulturen eingesetzt.

Alle Roboter können nach dem Vorbild natürlicher Schwärme zu **Roboterschwärmen** verbunden werden. Die Gesamtsystemleistung entsteht durch das geplante und optimierte Zusammenwirken der Einzelroboter.

Autonome Antriebseinheiten Autonome Geräteträger Spezialroboter

Abbildung 1: **Verschiedene Kategorien von Feldrobotern**

Bei den recherchierten Robotern dominieren die Spezialroboter für einzelne Tätigkeiten mit einem Anteil von 58 %. Die restlichen sind autonome Antriebseinheiten (inkl. autonomer Traktoren) und autonome Geräteträger.

Der überwiegende Anteil der Hersteller kommt aus den USA (26 %), Deutschland (13 %), Frankreich (11 %), Niederlande (10 %), Israel (4 %), Großbritannien (4 %) und Australien (4 %).

Etablierte Marken großer Konzerne präsentieren seit einigen Jahren immer wieder Konzepte zur autonomen Landwirtschaft. Die ersten sind auch mit serienreifen Produkten am Markt. Die überwiegende Anzahl der Feldroboter kommt aber von Startups. Rund 80 % der recherchierten Firmen, die Feldroboter herstellen, wurde erst nach dem Jahr 2000 gegründet und 75 % erst nach 2010.

24% der Hersteller setzen auf die Multifunktionalität ihrer Roboter und damit auf die Kombination von angepassten marktgängigen traktorangetriebenen Geräten mit dem Roboter (siehe Abbildung 2). Die deutliche Mehrheit konzentriert sich aber auf Roboter für genau einen bestimmten Einsatzzweck. Dies resultiert vor allem aus dem hohen technischen Aufwand, der für die Autonomisierung der Arbeitsgeräte bzw. Arbeitswerkzeuge erforderlich ist (Käthner et al. 2023).

Zwei Themen liegen im Fokus der Entwickler von Spezialrobotern: Nachhaltigkeit und Reduktion manueller Tätigkeiten. Gesellschaft und Politik fordern eine Reduktion bzw. den Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel, aber auch die Zunahme von Resistenzen bei Beikräutern treiben die Entwicklungen voran. Daher ist es wenig verwunderlich, dass mechanischer und chemischer Pflanzenschutz die beiden wichtigsten Einsatzbereiche der Spezialroboter sind. Durch den Einsatz von Bildverarbeitung und künstlicher Intelligenz (KI) wird nicht mehr „blind“ über den Acker gefahren, sondern die Beikrautpflanzen werden einzeln bekämpft. Dabei reichen die Methoden vom „klassischen“ Ausreißen bzw. Verschütten bis zum Besprühen mit heißem Pflanzenöl oder Verbrennen mittels Laserstrahl. Auch beim chemischen Pflanzenschutz geht es weg von der vollflächigen Applikation hin zur Einzelpflanzenbehandlung und somit zur Reduktion der Aufwandmengen.

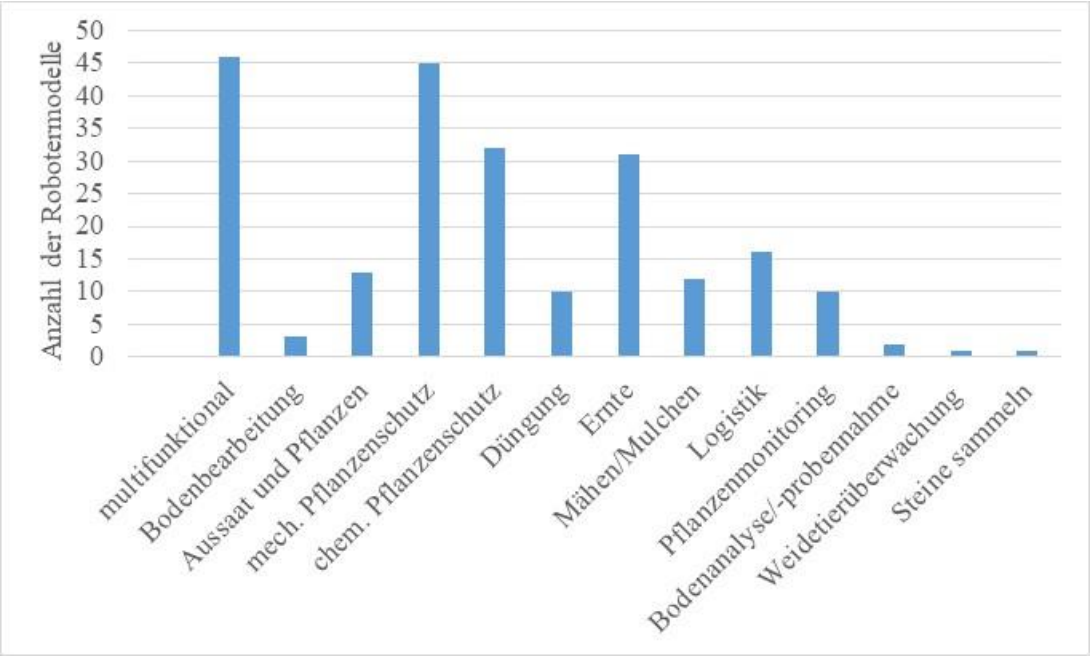


Abbildung 2: **Verteilung der Roboter nach Einsatzbereichen**

Der zweite wesentliche Innovationstreiber in der Agrarrobotik ist die Reduktion von Handarbeit. Auch in diesem Zusammenhang ist der mechanische Pflanzenschutz (Hacken) im Biolandbau (Jungwirth et al. 2022) und in Sonderkulturen von zentraler Bedeutung. Aber auch bei der Ernte können Roboter zur Reduktion des Handarbeitszeitbedarfes beitragen. Lediglich drei Ernteroboter sind für den Mähdrusch bzw. die Grünfutterernte gedacht. Alle anderen sind wegen des höheren Potentials zur Arbeitszeiteinsparung in den Bereichen Obst- und Gemüsebau angesiedelt. Da die Roboter die Früchte zwischen den Blättern erkennen und zwischen reifen und unreifen unterscheiden müssen, sind sie in der Regel nur in einer bis maximal zwei Kulturen einsetzbar. Des Weiteren erfordert der Robotereinsatz oftmals auch eine angepasste Anbauweise. So erleichtert beispielsweise der Erdbeeranbau in Hydrokulturen mit seitlich herunterhängenden Früchten die Sichtbarkeit und die Zugänglichkeit für den Roboter enorm. Im Apfelanbau können durch eine andere Schnittweise ebenfalls die Sichtbarkeit und Zugänglichkeit der Früchte verbessert werden.

Relativ häufig werden Roboter auch für die Logistik eingesetzt. Ihre Einsatzgebiete sind beispielsweise der Transport und die Positionierung von Pflanzen im Gartenbau, der Transport von gepflückten Früchten zu Sammelplätzen innerhalb der Plantage oder von Ballen an den Feldrand.

Nur rund 19 % der recherchierten Roboter sind am Markt erhältlich (siehe Abbildung 3). 71 % der Roboter sind noch nicht über das Prototypenstadium hinausgekommen.

Bei den Vertriebsmodellen dominiert mit 60 % der Verkauf der Roboter. Wobei für die Nutzung der Onlineplattform, die für die Kommunikation zwischen Roboter und Bedienperson erforderlich ist, jährliche Nutzungsentgelte verrechnet werden. 26 % der Hersteller bieten die Roboter als Dienstleistung an. Ein Beispiel hierfür ist das Hacken von 5 ha Zuckerrüben. Die Dienstleistung umfasst die Bedienung, Wartung und Ausführung der Arbeit mit einer vereinbarten Qualität. Der Vertrag kann für ein Jahr oder mehrere Jahre abgeschlossen werden. 3 % der Hersteller bieten eine Kombination aus Verkauf und Dienstleistung an. 11 % der Hersteller vermieten den Roboter für einen bestimmten Zeitraum. Die Bedienung des Roboters erfolgt durch den Mieter. Verkauf und vermieten werden auch von Gil et al. (2023) als die wichtigsten Vertriebsmodelle bezeichnet.

Alle recherchierten Roboter dürfen unter den aktuellen technischen und verkehrsrechtlichen Rahmenbedingungen noch nicht autonom auf öffentlichen Straßen den Schlag wechseln. Sie müssen für das Umstellen am Dreipunkt eines Traktors angebaut oder auf ein Transportfahrzeug verladen werden. Die Bedeutung des dafür erforderlichen Arbeitszeitbedarfes ist umso größer, je kleiner die Schläge und je höher die Flächenleistung der Roboter ist (Handler et al. 2022, Maritan et al. 2023). Cheng et al. (2023) weisen in diesem Zusammenhang auch darauf hin, dass auf Grund der raschen Entwicklung weitgehend eindeutige rechtliche Vorschriften und Normen bezüglich Sicherheit fehlen, wodurch die Markteinführung behindert wird.

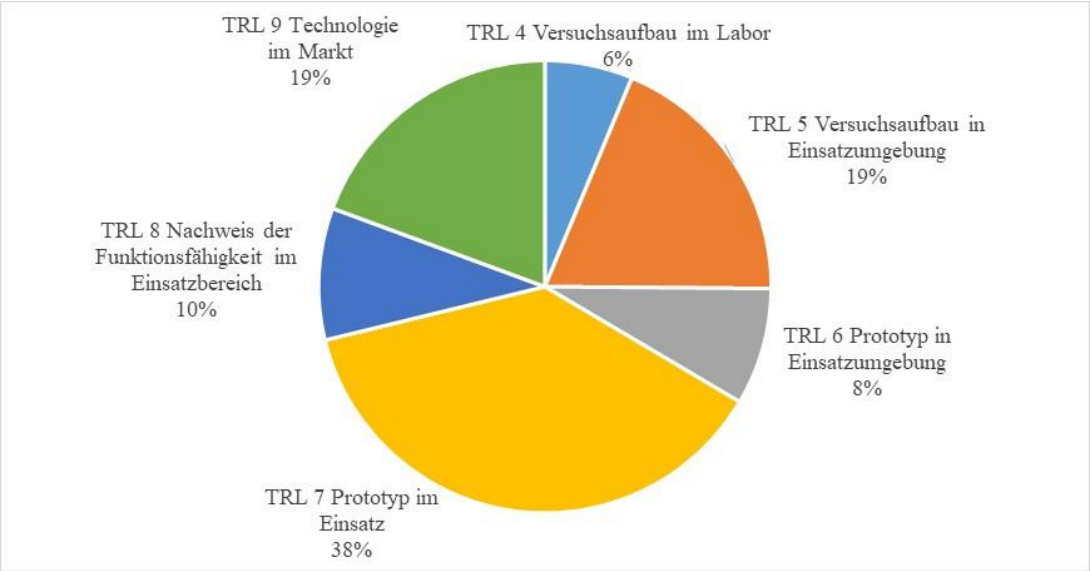


Abbildung 3: **Verteilung der Roboter nach Entwicklungsstand**

Zusammenfassung

Die Feldroboter können in autonome Traktoren und Antriebseinheiten, autonome Geräteträger sowie Spezialroboter für einzelne Tätigkeiten unterteilt werden. Letztere dominieren mit einem Anteil von 58 % bei den recherchierten Feldrobotern. Die meisten Hersteller kommen aus den USA (26 %), Deutschland (13 %), Frankreich (11 %) und den Niederlanden (10 %). Die überwiegende Anzahl der Feldroboter entwickeln Startups, die zu 75 % nach dem Jahr 2010 gegründet wurden. 24% der Hersteller setzen auf die Multifunktionalität und damit auf die Kombination von angepassten marktgängigen traktorangetriebenen Geräten mit dem Roboter. Die deutliche Mehrheit konzentriert sich aber auf Roboter für genau einem bestimmten Einsatzzweck. Die Entwickler fokussieren auf die Themen Nachhaltigkeit und Reduktion von Handarbeit. Demgemäß werden die meisten Feldroboter in den Bereichen mechanischer und chemischer Pflanzenschutz, Ernte von Obst und Gemüse sowie Logistik entwickelt. Nur rund 19 % der recherchierten Roboter sind am Markt erhältlich. Bei den Vertriebsmodellen überwiegt der Verkauf der Roboter. 26 % der Hersteller bieten die Arbeit der Roboter als Dienstleistung an. 11 % der Hersteller vermieten den Roboter für einen bestimmten Zeitraum. Im Bereich der Antriebstechnik ist mit 57 % der Trend zum reinen Elektroantrieb ganz deutlich.

Abstract

The field robots can be divided into autonomous tractors and drive units, autonomous implement carriers and robots for special tasks. The last mentioned design dominates with a share of 58% of the investigated field robots. The majority of manufacturers come from the USA (26%), Germany (13%), France (11%) and the Netherlands (10%). The vast majority of field robots are developed by start-ups, 75% of which were founded after 2010. 24% of the manufacturers rely on the multifunctionality. These multifunctional robots are used in combination with tractor-driven implements available on the market. However, the clear majority of the developers concentrates on robots for exactly one specific purpose. Above all, these purposes meet the requirements for sustainability and reduction of manual labour. Accordingly, most field robots are developed in the fields of mechanical and chemical crop protection, fruit and vegetable harvesting and logistics. Only around 19% of the investigated robots are available on the market. In the business models, the sale of robots predominates. 26% of the manufacturers offer the work of the robots as a service. 11% of manufacturers rent the robots for a certain period. In the field of drive technology, the trend towards purely electric drives is very clear.

Literatur

CHENG C., FU J., SU H., REN L. (2023): Recent Advancements in Agriculture Robots: Benefits and Challenges. Machines, 2023; 11(1):48, https://doi.org/10.3390/machines11010048

GIL G., CASAGRANDE D. E., PÉREZ CORTÉS L., VERSCHAE R. (2023): Why the low adoption of robotics in the farms? Challenges for the establishment of commercial agricultural robots. Smart Agricultural Technology, Volume 3, 2023, ISSN 2772-3755, https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100069
HANDLER F., BLUMAUER E. (2022): Working time requirement of operators and process-related idle time of semiautonomous field robots. Proceedings of International Conference of Technologies and Solutions for Efficient and Sustainable Agriculture - Sima Agritech Day 5th Edition, p. 63 - 72, Axema Promotion & Services, 2022, ISBN : 978-2-491070-03-8
JUNGWIRTH, M., HANDLER, F. (2022): Arbeitswirtschaftliche Aspekte am Beispiel eines teilautonomen Feldroboters beim Säen und Hacken von Biozuckerrüben. In: Gandorfer, M., Hoffmann, C., El Benni, N., Cockburn, M., Anken, T. & Floto, H. (Hrsg.), 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (S. 147-152)
KÄTHNER J., KOCH K., HÖFNER N., DWORAK V., SHOKRIAN ZEINI M., SHAMSHIRI R., FIGURSKI W., WELTZIEN C. (2023): Review of agricultural field robots and their applicability in potato cultivation. In: Hoffmann C., Stein A., Ruckelshausen A., Müller H., Steckel T., Floto H. (Hrsg.), 43. GIL-Jahrestagung, Resiliente Agri-Food-Systeme. Bonn: Gesellschaft für Informatik e. V. (S. 137-148)
MARITAN E., LOWENBERG-DEBOER J., BEHRENDT K., FRANKLIN K. (2023): Economically optimal farmer supervision of crop robots. Smart Agricultural Technology, Volume 3, 2023, ISSN 2772-3755, https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100110
RUCKELSHAUSEN, A. (2023): Robotik und Sensortechnik. Informatik Spektrum 46, 8 - 14 (2023). https://doi.org/10.1007/s00287-022-01517-5
TAMIRAT T. W., PEDERSEN S. M., ØRUM J. E., HOLM S. H. (2023): Multi-stakeholder perspectives on field crop robots: lessons from four case areas in Europe. Smart Agricultural Technology, Volume 4, 2023, ISSN 2772-3755, https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100143

Adresse der Autoren

HBLFA Francisco Josephinum, BLT Wieselburg, Rottenhauser Straße 1, A-3250 Wieselburg

* Ansprechpartner: Ing. Michael HAIDER, m.haider@josephinum.at

Holistischer Ansatz für moderne Nutztiermedizin

Holistic approach to modern farm animal medicine

Peter M. Roth[1,*], Sylwia Koy[2], Julia Ernst[2], Oleksandr Pietukhov[2], Bernd Wachmann[2]

Einleitung

Die Kernaufgabe der österreichischen Nutztierhaltung ist die gesicherte Versorgung der Bevölkerung mit gesunden und qualitativ hochwertigen Lebensmitteln tierischer Herkunft. Hierzu ist die veterinärmedizinische Versorgung ein wichtiger Pfeiler, wobei in der Nutztiermedizin in der Regel ein kurativer Ansatz verfolgt wird. D. h. bei Feststellung einer Akutsituation wird vor Ort eine Intervention durchgeführt. Parallel dazu gibt es zunehmend, aber auch präventive Ansätze mit dem Ziel, durch permanentes Monitoring einzelner Tiere oder der gesamten Herde, die allgemeine Tiergesundheit zu verbessern (U-NOLD et al. 2020, DA SILVA SANTOS et al. 2023). Dadurch kann auch die Anzahl vermeidbarer Akutfälle reduziert werden, wobei Notfälle wie Knochenbrüche, Schwergeburten oder verletzungsbedingte Infektionen nicht mit eingerechnet sind. Für das Monitoring kommen unterschiedliche Sensortechnologien zum Einsatz, die Daten 24/7 erheben und speichern.

Während seitens der Landwirtschaft ein großes Interesse an neuen innovativen Technologien besteht (KEYQUEST 2021), steht die Tierärzteschaft diesen oft skeptisch gegenüber (POSPISCHIL 2022). Dies resultiert oft auch aus einem mangelnden Wissensstand zu diesem Thema (KRISTOF 2021, WATSON et al. 2019). Während z. B. Telemedizin in der Humanmedizin schon lange diskutiert wird (BOYDELL 2000, WOOTTON et al. 1999, WOOTTON und BONNARDOT 2015, ZACH 1996) und auch in Österreich praktisch zum Einsatz kommt (HANSAK 2021, LASCHKOLNIG 2021), ist dies in der Veterinärmedizin noch nicht der Fall.

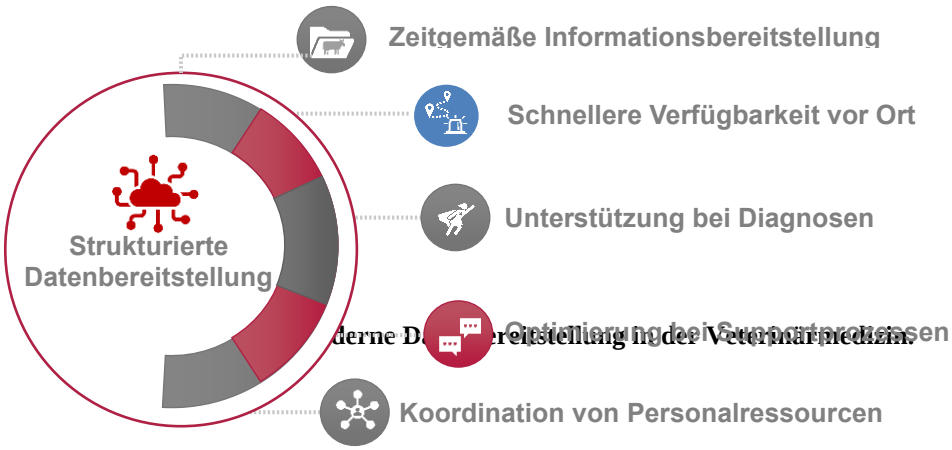
Zwar gibt es zu diesem Thema zahlreiche Studien (DEVI et al. 2015, ROCA und MCCARTHY 2019, VOYER und JORDAN 2018, WARREN et al. 2003, WIDMAR et al. 2020), jedoch hat Telemedizin im Veterinärwesen (noch) nicht den Stellenwert wie in der Humanmedizin. Während diese z. B. in Ländern wie den USA, Deutschland, Frankreich, China oder Chile bereits erlaubt ist und zum Einsatz kommt (HWANG et al. 2021), ist insbesondere in Österreich die Gesetzeslage (TIERÄRZTEGESETZ 2021) strenger, wobei eine „persönliche und unmittelbare Berufsausübung“ vorgesehen ist. Offizielle Empfehlungen der Federation of Veterinarians of Europe (FVE 2020) sehen allerdings in der Telemedizin ein wichtiges zukunftsträchtiges Tool in vier Säulen (Beratung, Diagnose, Verschreibung und Verwendung von medizinischen Daten aus Sensoren). Dieses kann z. B. bei einer digitalen Kommunikation zwischen Tierärzt:innen und Landwirt:innen von Vorteil sein kann. In diesem Rahmen gibt es daher unterschiedliche Möglichkeiten, um über digitale Kommunikationswege eine verbesserte tierärztliche Versorgung zu gewährleisten (HUANG und CHUEH 2021, SPRINGER et al. 2021, WEICH, 2021). Zusätzlich können so zusätzliche Informationen gewonnen werden (z. B. über Langzeitbeobachtungen, Sensoren um, am und im Tier), die eine frühzeitige Diagnose und Behandlung ermöglichen.

Daher ist es in der Praxis durchaus sinnvoll, neben traditionellen kurativen Ansätzen zusätzlich auch präventive Maßnahmen und Methoden aus dem Herden-Monitoring (BERCKMANS et al. 2022) zu berücksichtigen. Diese können jedoch auch für allgemeinere veterinärmedizinische Diagnosen unterstützend genutzt werden. Da unterschiedliche Herangehensweisen zusammengeführt werden, wird dieser Ansatz in weiterer Folge als *holistisch* bezeichnet. Damit soll mittelfristig nicht nur die Nutztiergesundheit verbessert werden, sondern auch eine Tätigkeit in der Nutztierpraxis moderner und attraktiver gestaltet werden. Dies wird einerseits dadurch erreicht, dass durch Nutzung moderner Technologien die tägliche Arbeit erleichtert und interessanter gestaltet werden kann, andererseits aber auch eine bessere Planbarkeit und zeitliche Flexibilisierung der Arbeit ermöglicht wird.

Material und Methoden

Der wesentliche Aspekt, um diese Ziele in der Praxis einsetzen zu können, ist der Einsatz und die Weiterentwicklung moderner Technologien. Dies inkludiert neben dem Auslesen, Speichern und Analysieren von Daten von unterschiedlichen Sensoren (z. B. Kameras, Akzelerometer , Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmesser, RFID) auch die geeignete, strukturierte Darstellung und Bereitstellung dieser Daten. Durch eine zeitgemäße Informationsbreitstellung können so notwendige Informationen schneller

abgerufen werden. Dadurch wird einerseits eine datengetriebene Unterstützung bei Diagnosen ermöglicht, andererseits kann aber auch in Notfällen auf notwendige Informationen vor und während der Intervention am Tier in Echtzeit zugegriffen werden.
Zusätzlich ermöglichen digitale Technologien eine bessere Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien. Dadurch können Behandlungen/Interventionen besser geplant werden, und so z. B. Fahrtstrecken und damit Zeitaufwand (Reduzierung der Anzahl unnötiger Anfahren, bessere Routenplanung, etc.) reduziert werden (APPLEGATE et al. 2007). Dies ermöglicht in weiterer Folge auch neue Arbeitszeitmodelle bzw. eine höhere Lebensqualität, vor allem im ländlichen Raum. In Summe soll durch die Nutzung digitaler Technologien und die Verfügbarkeit einer breiteren Datenbasis auch die Nutztierpraxis attraktiver gestaltet werden (ANDRUS et al. 2006). Dies ist in Abbildung 1 illustriert.



derne Da ereitstellung in der Veterinärmedizin.

Um diese Konzepte evaluieren zu können, werden auf der Vetfarm der Veterinärmedizinische Universität Wien die Technologien entwickelt und getestet, wobei die geplanten Prozesse in einer Laborumgebung getestet werden können. Am Standort Kremesberg befindet sich ein Laufstall für ca. 80 Milchkühe, wohingegen am Standort Medau ein Stall ca. 1500 Schweine unterschiedlichen Alters und Kategorien beherbergt (140 Sauen, 20 Jungsauen, 2 Eber, 720 Ferkel und 600 Mastschweine). Die Stalleinrichtung kann für Forschungszwecke verändert werden, womit auch die Durchführung von Forschungsarbeiten ermöglicht wird, ohne die Lehre und/oder die Produktion auf dem Hof zu beeinträchtigen. Hierzu wird eine Testumgebung aufgesetzt, in der die vorhandenen Daten gesammelt und strukturiert aufbereitet werden können. Auf diese Art und Weise kann der Betrieb des Systems simuliert und evaluiert werden, und dieses in weiterer Folge in geeigneten ausgewählten Praxen ausgerollt werden.

Eine wesentliche Applikation, die mittels der so gewonnen und dargestellten Daten in der Praxis realisiert werden soll, ist die Schaffung einer modernen tierärztlichen Notversorgung für den Nutztierbereich. Den Tierhalter:innen soll so – auch außerhalb der regulären Praxiszeiten – ein prompter 24/7-Zugang zu tierärztlichen Dienstleistungen ermöglicht werden. Die Grundidee ist, wie in Abbildung 2 illustriert, ein zentrales/dezentrales Vermittlungskonzept, ähnlich wie es in der Humanmedizin (Notfallnummern 144 und 1405) schon lange etabliert ist, umzusetzen.

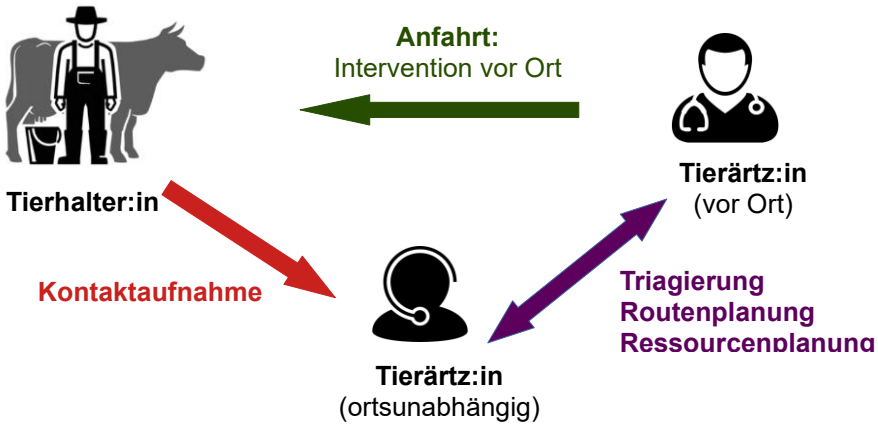


Abbildung 2: **Zentrales/dezentrales Vermittlungskonzept: Die Kontaktaufnahme erfolgt durch eine zentrale Stelle, wodurch die verfügbaren Ressourcen besser koordiniert und eingesetzt werden können.**

Außerhalb der regulären Praxiszeiten erfolgt die Kontaktaufnahme über eine zentrale Stelle, die mit erfahrenen Nutztierpraktiker:innen besetzt ist. Hierbei werden Anfragen nach einem wissenschaftlich fundierten Triageprozess, der zusätzlich zu medizinischen Aspekten auch geografischen Gegebenheiten und den verfügbaren Ressourcen berücksichtigt, bearbeitet. Bei Notwendigkeit werden Nutztierpraktiker:innen vor Ort kontaktiert, die dann die entsprechenden Betriebe anfahren und die erforderlichen Interventionen durchführen können.
Durch eine zentrale Koordination ergeben sich mehrere Vorteile: (a) Nutztierpraktiker:innen können in ihrer Arbeit entlastet werden, weil Dokumentations- und Koordinationsaufwand ausgelagert werden. (b) Vorhandene Ressourcen (Personal, Infrastruktur, etc.) können effizienter genutzt werden. (c) Fahrtzeiten und -wege können reduziert werden: Es bleibt mehr Zeit für die eigentliche Behandlung von Tieren. (d) Es ergeben sich Möglichkeiten neuer Beschäftigungsformen (z. B. Teilzeit, Telearbeit, etc.), auch mit dem Ziel, mehr Personen mit facheinschlägiger Ausbildung im Beruf halten oder reaktivieren zu können. In Summe kann dies zu einer (Re-)Attraktivierung der Tätigkeit in der Nutztierpraxis führen.

Zusammenfassung

In der Nutztiermedizin wird primär ein kurativer Ansatz verfolgt, in dem bei Feststellung einer Akutsituation vor Ort eine Intervention durchgeführt wird. Parallel dazu gibt es aber zunehmend auch präventive Ansätze mit dem Ziel, durch permanentes Monitoring einzelner Tiere oder der gesamten Herde, die allgemeine Tiergesundheit zu verbessern und so die Anzahl vermeidbare Akutfälle zu reduzieren. Wir stellen daher ein Gesamtsystem vor, das es durch den Einsatz und die Weiterentwicklung moderner Technologien ermöglicht, sowohl die Tiergesundheit und damit das Tierwohl zu verbessern, als auch die vorhanden Ressourcen in der veterinärmedizinische Versorgung besser nutzbar machen. Einerseits weil auch in Notfällen auf notwendige Informationen vor und während der Intervention am Tier in Echtzeit zugegriffen werden kann, andererseits weil durch digitale Technologien eine bessere Zusammenarbeit bzw. Planbarkeit der Tätigkeiten erzielt werden kann. In Summe soll so auch durch moderne technische Möglichkeiten und zeitgemäße Arbeitszeitmodelle der Beruf Nutztierpraktiker:in attraktiviert werden.

Abstract

In farm animal medicine, a curative approach is basically followed, in which an intervention is carried out when an acute situation is detected on site. In parallel, however, there are also increasingly preventive approaches with the aim of improving the general animal health through permanent monitoring of individual animals or the entire herd and thus reducing the number of avoidable acute cases. We therefore present an overall system which, through the use and further development of modern technologies, allows both to improve animal health and thus animal welfare and to make better use of the existing resources in veterinary care. On the one hand, because necessary information can be

accessed in real time before and during the intervention on the animal, and on the other hand, because digital technologies can improve cooperation and the ability to plan activities. Overall, the profession of livestock practitioner is to be made more attractive through modern technical possibilities and contemporary working time models.

Danksagung

Die in dieser Arbeit vorgestellten Resultate wurden durch das vom Land Niederösterreich geförderte Projekt *HOLSTEIN: Holistischer Ansatz zur nachhaltigen Sicherstellung der Nutztiergesundheit in Niederösterreich* ermöglicht.

Literatur

ANDRUS DM, GWINNER KP, PRINCE JB (2006): Job satisfaction, changes in occupational area, and commitment to a career in food supply veterinary medicine. Journal of the American Veterinary Medical Association, 228(12), 1884–1893.
APPLEGATE DL, BIXBY RE, CHVÁTAL V, COOK WJ (2007): The Traveling Salesman Problem: A Computational Study. Princeton University Press.
BOYDELL P (2000): Telemedicine — A vision of the future? InPractice, 22(7), 409–413.
BERCKMANS D, OCZAK M, IWERSEN M, WAGENER K (Hrsg.) (2022): European Conference on Precision Livestock Farming.
DEVI S, SINGH RD, GHASURA RS, SHARMA MK, SHARMA MC (2015): Telemedicine: A new rise of hope to animal health care sector-A Review. Telemedicine: A new rise of hope to animal health care sector-A Review, 36(2), 153–158.
FVE (2020): FVE position and recommendations on the use of telemedicine. Federation of Veterinarians of Europe.
HANSAK P (2021): Telemedizin Steiermark: Ein Pilotprojekt als Antwort auf eine sich verändernde Primärversorgung. Rettungsdienst, 44(9), 12–17.
HUANG DH, CHUEH HE (2021): Chatbot usage intention analysis: Veterinary consultation. Journal of Innovation & Knowledge, 6, 135–144.
HWANG S, SONG Y, KIM J (2021): Evaluation of AI-Assisted Telemedicine Service Using a Mobile Pet Application. Applied Sciences, 11, 2707.
KEYQUEST MARKTFORSCHUNG (2021): Technologisierung & Digitalisierung in der Landwirtschaft. LFI Österreich.
KRISTOF B (2021): Veterinary Goes Digital – Chancen und Risiken der Digitalisierung. Vetjournal, 74(2), 12–16.
LASCHKOLNIG A (2021): Telemedizin in Österreich. Gesundheit Österreich GmbH (im Auftrag des Bundesministeriums für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz).
POSPISCHIL C (2022): Nutztierpraxis 4.0: Digitalisierung, Automatisierung und Daten in der Nutztierpraxis. Veterinärmedizinische Universität Wien.
ROCA RY, MCCARTHY RJ (2019): Impact of Telemedicine on the Traditional Veterinarian-Client-Patient Relationship. Topics in Companion Animal Medicine, 37, 100359.
DA SILVA SANTOS A, DE MEDEIROS VWC, GONÇALVES GE (2023): Monitoring and classification of cattle behavior: A survey. Smart Agricultural Technology, 3, 100091.
SPRINGER S, LUND TB, SANDØE P, CORR SA, KRISTENSEN AT, GRIMM H (2021): Digital opportunities to connect and complain – the use of Facebook in small animal practice. VetRecord Open, 2022;9:e29.
TIERÄRZTEGESETZ (2021): §15 Abs (1).
UNOLD O, NIKODEM M, PIASECKI M, SZYC K, MACIEJEWSKI H, BAWIEC M, DOBROWOLSKI M, ZDUNEK M (2020): IoT-Based Cow Health Monitoring System. International Conference on Computational Science.
VOYER J, JORDAN T (2018): Veterinary Telemedicine: A System Dynamics Case Study. Systems, 6(1), 6.

WARREN S, NAGL L, SCHMITZ R, YAO, J, HILDRETH T, ERICKSON H, POOLE D, ANDRESEN D (2003): A Distributed Infrastructure for Veterinary Telemedicine. Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2, 1394–1397.
WATSON K, WELLS J, SHARMA M, ROBERTSON S, DASCANIO J, JOHNSON JW, DAVIS RE, NAHAR VK (2019): A survey of knowledge and use of telehealth among veterinarians. BMC Veterinary Research, 15, 474.
WEICH KL (2021): Chat with your vet! Covid 19 and veterinary tele-medicine. EurSafe Congress.
WIDMAR NO, BIR C, SLIPCHENKO N, WOLF C, HANSEN C, OUEDRAOGO F (2020: Online procurement of pet supplies and willingness to pay for veterinary telemedicine. Preventive Veterinary Medicine, 181, 105073.
WOOTTON R, BONNARDOT L (Hrsg.) (2015): Telemedicine in Low-resource Settings.
WOOTTON R, CRAIG J, PATTERSON V (Hrsg.) (1999): Introduction to Telemedicine. Royal Society of Medicine.
ZACH S (1996): Telemedicine overview and summary. Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 409–412.

Adressen der Autoren

[1] Veterinärmedizinische Universität Wien, Institut für Computational Medicine, Veterinärplatz 1, 1210 Wien, Austria

[2] Veterinärmedizinische Universität Wien, Digitale Innovation, Veterinärplatz 1, 1210 Wien, Austria

[*] Ansprechpartner: Peter M. Roth, peter.m.roth@vetmeduni.ac.at

Vergleich von Apfelsorten auf stark- und schwachwüchsigen Unterlagen unter Bioanbaubedingungen mit Blühstreifeneinsaaten

Comparison of apple varieties on vigorous and dwarfing rootstocks under organic cultivation conditions with seeds of herbs

Lothar Wurm

Einleitung

Der Apfel ist mit knapp 7700 ha, trotz eines leichten Rückgangs der Anbauflächen, nach wie vor die dominierende Kultur im österreichischen Obstanbau. Die Vermarktung am Frischmarktsektor ist schwierig, da einerseits der Apfelkonsum auf ca. 20kg pro Kopf und Jahr (Inlandsproduktion: durchschnittlich ca. 180000 t) gesunken ist und andererseits die Preise stagnieren oder sogar fallende Tendenz aufweisen (STEINBAUER 2017, MUSTER 2019). Der Anstieg der Bioapfelflächen, - mit ein Grund dürften sicher auch die besseren Vermarktungsbedingungen sein-, ist in vielen Ländern der EU bemerkbar (GOTTARDI 2020), in Österreich fällt dieser Anstieg aber überdurchschnittlich hoch aus. Für den konventionellen Apfelanbau mit Großhandelsvermarktung ohne Regionalbezug gab es vor Corona im Wesentlichen nur die Optionen die Kosten zu senken, Nischen zu suchen oder einen geordneten Ausstieg zu planen (STEINBAUER 2011). Einige Betriebe haben beispielsweise auf maschinell geschnittene und maschinell ausgedünnte Fruchtwandsysteme umgestellt, die im Vergleich zu europäischen Nachbarländern hohen Lohnkosten für händische Ausdünnung und Ernte sind aber kaum weiter reduzierbar. Auch ein Ausbau der Direktvermarktung ist etwa im Hauptproduktionsgebiet des Apfels, der Steiermark, leichter gesagt als getan und ein geordneter Ausstieg aus der Produktion ja nicht gerade eine optimistische Zukunftsperspektive. Ob eine weitere Ausweitung des ohnehin stark gestiegenen Bio-Apfelanbaues sinnvoll und für den Markt verträglich ist, wird kontrovers diskutiert (EBERHÖFER und CASTILIOGNI 2017)

Material und Methoden

Um die Entwicklung verschiedener Apfelsorten auf starkwüchsigen und schwachwüchsigen Unterlagen als Fruchtwand unter Biobedingungen zu testen, wurde im Frühjahr 2017 am Klosterneuburger Versuchsgut Haschhof eine Versuchsanlage erstellt. Die alten Apfelsorten Ilzer Rosen, Gravensteiner, Steirischer Maschanzker, Roter Berlepsch, Goldparmäne, Roter Boskoop, Cox Orange, Winterbanane, Kronprinz Rudolf sowie die aktuellen Marktsorten Rubinette Rosina, Braeburn Maririred und Elstar Standard wurden jeweils auf die starkwüchsigen Unterlagen MM111 und M7 sowie die schwachwüchsigen Unterlagen B9 und CG 11 veredelt. Die starkwüchsigen Sorten-Unterlagenkombinationen werden als Multi Leader-Fruchtwand mit einer Reihenweite von 3,1m und einem Abstand von 2m in der Reihe, die schwachwüchsigen als Spindel-Fruchtwand (3,1m Reihenweite x 1m Pflanzabstand) mit maschinellem Schnitt und maschineller Ausdünnung unter Biobedingungen verglichen. Weiters werden in Kooperation mit Raumberg Gumpenstein (Dr. Krauzer und Team) in dieser Anlage Blüheinsaaten untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

<u>Ertragsentwicklung der Sorten:</u>
Die signifikant höchsten Erträge, berechnet als kumulierter Baumertrag in kg von 2019 bis 2022 bezogen auf einen m² Standfläche, erzielten Braeburn (9,4), Winterbanane (7,8), Roter Boskoop (7,4) und Rubinette (7,0), die signifikant niedrigsten Cox Orange (3,6, Roter Berlepsch (3,9) und Maschanzker (4,4). Interessanterweise zeigt sich nach vier Ertragsjahren noch kein signifikanter Unterschied im kumulierten Baumertrag pro m² Standfläche zwischen den vier Unterlagen MM 111 (5,6), B 9 (5,7), M7 (6,0) und CG11 (6,1). Die höhere Fruchtbarkeit der schwachwüchsigen Unterlagen B9 und CG11 hatte trotz offensichtlich unzureichender maschineller Ausdünnung zu Alternanz geführt, während diese bei den stärkerwüchsigen Unterlagen MM111 und M7 weniger stark in Erscheinung trat (Abb.1).

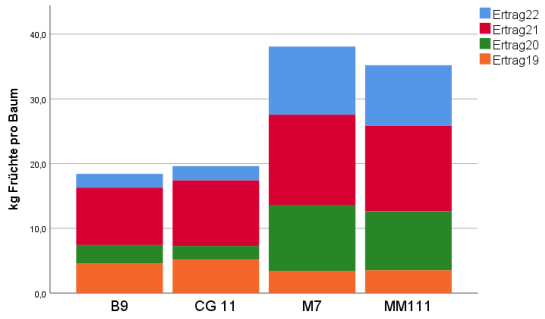


Abbildung 1: **Kg Früchte pro Baum im Durchschnitt aller Sorten von 2019 bis 2022 gruppiert nach Unterlagen** (Standfläche pro Baum B9 und CG 11: 3,1m²; Standfläche pro Baum MM111 und M7: 6,2m²)

Auch eine Wechselwirkung zwischen den Unterlagen und Sorten lässt sich nachweisen. Die bisher hinsichtlich Fruchtertrag leistungsstärkste Sorte Braeburn alterniert wenig und fruchtet auf den starkwüchsigen Unterlagen M7 und MM111 überdurchschnittlich gut. Maschanzker hingegen fruchtet auf den schwachwüchsigen Unterlagen signifikant besser als auf den starkwüchsigen Unterlagen (Abb.2). Am stärksten alternieren die Sorten Cox Orange, Gravensteiner, Roter Berlepsch, Maschanzker und Goldparmäne. Vergleichsweise ausgeglichene Erträge bringen Braeburn und Winterbanane, aber auch alternanzempfindliche Sorten wie Elstar, Roter Boskoop, Kronprinz Rudolf oder Rubinette.

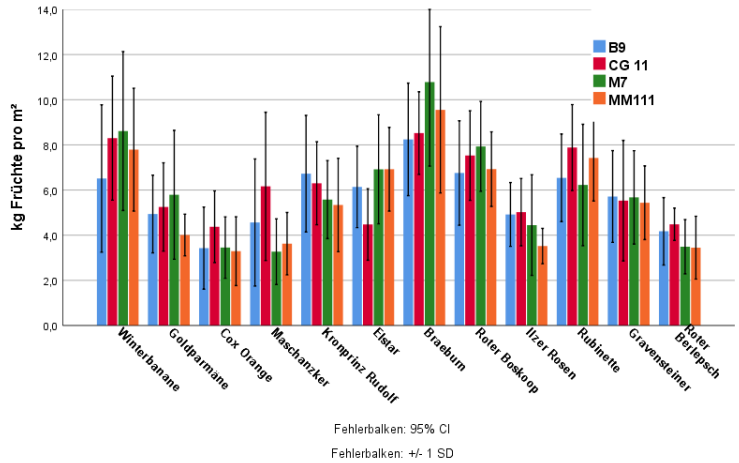


Abbildung 2: **Kg Früchte pro m² Standfläche von 2019 bis 2022 gruppiert nach Sorten und Unterlagen**

Qualitätsklassen:

Hinsichtlich äußerer Fruchtqualität lag der Anteil von beinahe schalenfehlerfreien, ausreichend großen und ausgefärbten Früchten (Klasse 1) 2021 mit ca. knapp 40% bis 75% im Bereich früher Bioversuche. Ursachen für Schalenfehler waren, ebenso wie in früheren Apfelanbauversuchen auf der Grundlage Biologischer Produktion, in erster Linie Fraßschäden durch diverse um die Blütezeit auftretende Raupen wie Frostspanner oder Eulenraupen, sowie Schäden durch Rüsselkäfer, Apfelsägewespen oder physiologische Erkrankungen wie Stippe. In diesem Versuchsjahr verursachte zudem Hagel Schäden an den Früchten. Pilzinfektionen, etwa durch Schorf oder Mehltau, konnten durch vorbeugende Maßnahmen und direkte Behandlungen weitgehend verhindert werden. Der signifikant höchste Anteil von Früchten der Klasse 1 wurde 2021 bei Maschanzker (75%), Roter Boskoop (72%), Ilzer Rosen (67%), Cox Orange (66%) und Kronprinz Rudolf (62%) festgestellt. Mit 39% bzw. 39,1% schnitten Gravensteiner und Roter Berlepsch am signifikant schlechtesten ab. Die Unterlagen übten keinen Einfluss auf den Anteil Früchte der Klasse 1 aus. Neben der Sortenanfälligkeit spielt auch der Alternanzrhythmus einer Sorte für das Sortierergebnis eine entscheidende Rolle. In Jahren mit hohem Fruchtansatz können Früchte mit Schalenfehlern ausgedünnt werden ohne dass der Ertrag sinkt, während in Jahren mit unterdurchschnittlichem Fruchtansatz fehlerhafte Früchte nicht entfernt werden und so der Anteil von Früchten der Klasse 1 sinkt. Erst die Sortierergebnisse weiterer Versuchsjahre werden daher sichere Aussagen über den realisierbaren Klasse 1 Anteil einer Sorte zulassen.

Zusammenfassung

Nach vier Ertragsjahren unter Bioproduktionsbedingungen brachten die Sorten auf den starkwüchsigen Unterlagen MM111 und M7 als Multi-Leader System überraschenderweise ähnlich hohe Erträge pro m² Standfläche eines Baums wie die Sorten auf den schwachwüchsigen Unterlagen B9 und CG11. Auf diesen Unterlagen fruchteten die Sorten zwar 2019 signifikant stärker, fielen aber dadurch auch stark in Alternanz. Für die weitere Entwicklung der Versuchsanlage, speziell auf diesen schwachen Unterlagen, wird es daher entscheidend sein, die Alternanz durch effiziente maschinelle Ausdünnung zu durchbrechen.

Abstract

Surprisingly, after four years of yield under organic production conditions, the varieties on the vigorous rootstocks MM111 and M7 as a multi-leader system produced similarly high yields per m² as the varieties on the dwarfing rootstocks B9 and CG11. On these rootstocks, the varieties fruited significantly more in 2019, but also fell heavily into alternation. For the further development of the trial orchard, especially on these dwarfing rootstocks, it will therefore be crucial to prevent the alternation through efficient machine thinning.

Literatur

EBERHÖFER G und CASTIGLIONI W (2017): Wieviel BIO verträgt der Markt. Obstbau Weinbau 6: 65-9

GOTTARDI S (2020): Aktueller Stand des Bio-Anbaus in Südtirol. Obstbau Weinbau 10: 19-22

MUSTER H (2019): Heimische Apfelproduktion im Umbruch. Besseres Obst 12: 4-5

STEINBAUER L (2011): Was erwartet die Obstwirtschaft in der Zukunft? In: Haidegger Perspektiven [online]. Ausgabe 01 2011 [Zugriff am 02.05.2023] Verfügbar unter: https://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/12733030_13888112/3d46ecc6/2011-01.pdf

STEINBAUER L (2017): Obstkonsum entwickelt sich problematisch! In: Haidegger Perspektiven [online]. Ausgabe 01 2017 [Zugriff am 27.04.2023] Verfügbar unter: https://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/12732975_13888112/2a532de4/Perspektiven%202017-01.pdf

Adresse der Autoren

Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Dipl. Ing. Dr. Lothar WURM, lothar.wurm@weinobst.at

Erste Erfahrungen mit dem Anbau von neuen Mandelsorten

First experiences with the cultivation of new almond varieties

Mirjam Weißmann

Einleitung

Die Mandel, *Prunus dulcis*, gehört zu den ältesten Kulturpflanzen des Mittelmeerraumes. Ihre Heimat stammt aus Vorder- und Zentralasien. Seit 812 ist diese Kulturart in Mitteleuropa bekannt. Die Mandel ist mit dem Steinobst Pfirsich verwandt. Die klimatischen Bedingungen sind somit recht ähnlich. Nicht zu harte Winter und möglichst lange regenarme Sommer mit niedriger Luftfeuchtigkeit sind für Mandeln optimal. (PIRC 2015) Die Mandeln haben also keine besonderen Bodenansprüche und können sich bestens an das Weinbauklima anpassen. Deswegen werden sie meistens als die typischen Obstpflanzen am Rand eines Weingartens verwendet. Botanisch kann man die Mandeln in drei Variationen unterschieden: Varietät *Sativa* (Stein- oder Süßmandel), Varietät *Amara* (Bittermandel) und Varietät *Fragilis* (Krachmandel). (WURM et al. 2010)
Der Mandelanbau in Österreich ist noch ziemlich neu. Es gibt recht wenige heimische Betriebe, die Mandeln kultivieren. Somit sind auch nicht viele Sortenunterschiede bekannt.

Material und Methoden

Versuchsanlage, Sorten: Die Versuchsanlage steht am Obstversuchsgut Haschhof. Beim Versuch werden verschiedene Süßmandeln getestet und untersucht. Die neun Sorten (*Genco, Filippo Ceo, Supernova, Marta, Antonetta, Ferragnes, Tuono, Lauranne Avijor* und *Pentacebas*) wurden im Jahr 2019 in 3 Reihen gepflanzt. Der Reihenabstand liegt bei 3,5m und der Baumabstand liegt bei 1,5m. Als Unterlage wurde der Pfirsichmandelbastard INRA GF 677 verwendet.
Ernte: Je nach Sorte wurde von Mitte August bis September geerntet. Sobald sich die grüne Schale öffnet, kann man die Mandeln vom Baum pflücken. Jeder Baum pro Sorte wird einzeln dokumentiert und gewogen. Nach der Ernte werden die grünen Fruchtschalen entfernt und flachschichtig aufgeteilt, damit sie trocknen können. Danach wird das Baumgewicht der Mandeln mit der harten, holzigen Schale gemessen. Als nächster Schritt werden diese aufgeknackt und das Gewicht der süßen, essbaren Kerne der Mandelfrucht gemessen.
Verkostung: Für den sensorischen Sortenvergleich wurde eine Verkostung am 01.02.2023 durchgeführt. Diese bestand aus einer Blindverkostung von drei Wiederholungen pro Serie mit fünf Verkosterinnen und Verkoster. Insgesamt gab es acht Serien. Es wurden die Sorten *Genco, Filippo Ceo, Supernova, Marta, Antonetta, Ferragnes, Tuono* und *Lauranne Avijor* verkostet. Bei der Sorte *Pentacebas* gab es leider zu wenige Kerne für eine statistische Auswertung. Die Verkosterinnen und Verkoster waren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilung Obstbau und Obstverarbeitung der HBLA und BA Klosterneuburg.
In jeder Kosterstube gab es einen Spuckbecher und ein Glas Wasser, das man jederzeit wieder auffüllen konnte. Auf den unskalierten Kosterzettel soll man die drei Wiederholungen pro Serie nach den Parametern „Bitterton“, „Marzipanton“, „Geschmack“ und „Gesamturteil“ markieren.
Bonitur: Es wurde eine Bonitur für die Frostschadenbestimmung durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler des dritten Jahrgangs der HBLA und BA Klosterneuburg haben dabei geholfen. Pro Sorte wurden von drei unterschiedlichen Bäumen drei Triebe genauer betrachten. Jede einzelne Blüte der ausgesuchten Triebe wurde untersucht. Mithilfe eines Messers oder mit dem Fingernagel wurden die Fruchtknoten der Blüten geöffnet und analysiert, ob diese noch gesund oder einen Frostschaden aufweisen. Wenn der Fruchtknoten grün ist, ist die Blütenknospe auch vital, wenn aber der Fruchtknoten braun bis schwärzlich ist, hat die Blütenknospe einen Frostschaden. Die Bonitur wurde am 17.04.2023 durchgeführt. Mandeln sind in der Winterruhe frostbeständig. Sie können bis zu -20°C aushalten. (WURM et al. 2010) Offene Blüten hingegen können schon bei Temperaturen von -2,2°C erfrieren. Da die Blütezeit schon im Februar und März ist, sind Mandeln recht Spätfrost gefährdet. (PIRC 2015) Dieses Jahr 2023 hat man am Haschhof Anfang April unter -4°C in einer Nacht gemessen. Aufgrund dessen wurden die Frostbonituren bei den Mandeln und Marillen durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Verkostung: Es wurden acht Mandelsorten mit den Parametern „Bitterton“, „Marzipanton“, „Geschmack“ und „Gesamturteil“ verkostet. Man kann Sortenunterschiede erkennen. Die Sorte *Genco* hat am besten abgeschnitten. Bei den vier gefragten Parametern waren ebenfalls die Sorten *Marta* und *Tuono* sehr hoch eingestuft. Die Sorten *Supernova, Tuono* und *Genco* ist der „Marzipanton“ deutlich zum Herausschmecken. Bei dem Parameter „Bitterton“ sind die Sorten *Antonetta* und *Supernova* am besten. Sie werden somit bei den Verkosterinnen und Verkoster als sehr süß wahrgenommen.

	Marta	*Supernova*	*Lauranne Avijor*	*Tuono*	*Ferragnes*	*Antonetta*	*Genco*	*Filippo Ceo*
Bitterton	65,33	71,13	69,40	62,27	68,00	69,60	57,73	66,73
Marzipanton	47,07	57,07	38,07	60,47	31,8	38,13	66,47	32,00
Geschmack	58,00	58,53	54,33	67,13	54,73	53,73	67,13	51,00
Gesamturteil	57,67	61,20	59,13	63,60	61,13	60,13	64,07	52,93

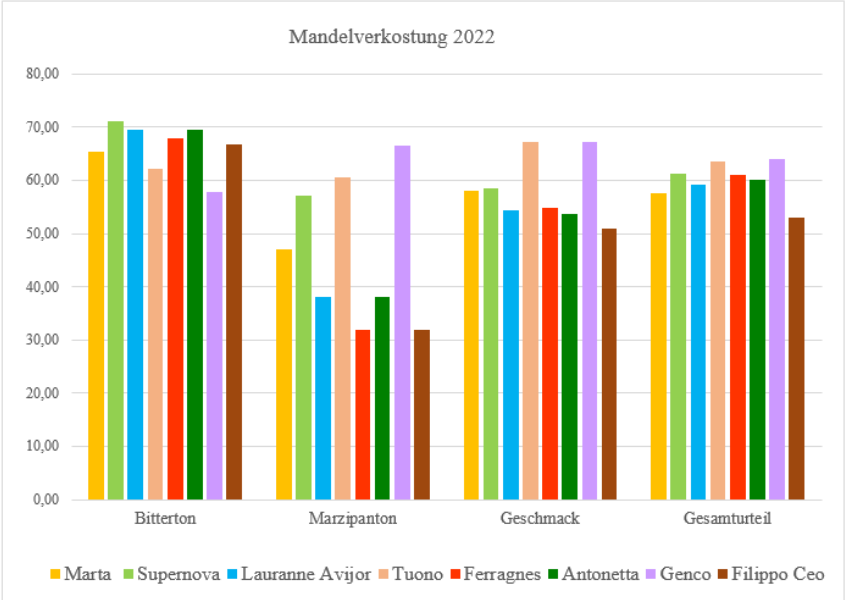


Abbildung 1: **Auswertung der Blindverkostung der acht Mandelsorten am 01.02.2023 mithilfe von Excel**

Die Verkostung wurde mithilfe des Microsoft-Programms Excel und SPSS ausgewertet. Die Sorten unterscheiden sich bei „Bitterton“, „Geschmack“ und „Gesamturteil“ nur zufällig. Nur bei dem Parameter „Marzipanton“ hat es einen signifikanten Unterschied gegeben. Die Koster unterschieden sich in ihrer Bewertung immer signifikant.

Marzipanton

Tukey-HSD[a,b]

		Untergruppe		
Sorte	N	1	2	3
Ferragnes	15	31,80		
Filippo Ceo	15	32,00		
Lauranne	15	38,07	38,07	
Antonetta	15	38,13	38,13	
Marta	15	47,07	47,07	47,07
Supernova	15		57,07	57,07
Tuono	15		60,47	60,47
Genco	15			66,47
Sig.		,437	,059	,157

Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 404,550.

a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 15,000

b. Alpha = 0,05

Abbildung 2: **statistische Auswertung der Blindverkostung anhand des Parameters „Marzipanton“ mithilfe von SPSS**

Ernte: Nach der Ernte wurden bei den Mandeln das Gewicht und die Größe gemessen. Die Sorten Ferragnes, Supernova und Marta wiegen ohne Schale am meisten. Die Sorte Ferragnes wiegt 121g bei einer Stückzahl von 100 Kernen. Die Sorte Supernova hat ein Gewicht von 74,4g bei einer Stückanzahl von 100 Kernen. Bei der Sorte Marta wurde bei einer Stückzahl von 100 Kernen ein Gewicht von 95,7g gemessen. Beim Größenvergleich waren keine großen Unterschiede erkennbar. Die Kerngröße beträgt zwischen zwei und drei Zentimeter.

Bonitur: Es wurde eine Bonitur für die Frostschadenbestimmung durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler des dritten Jahrgangs der HBLA und BA Klosterneuburg haben dabei geholfen. Die Sorte *Genco* hatte einen Ausfall von 76,24%. Das ist von allen neun Sorten der größte Ausfall. Bei den Sorten *Supernova* und *Marta* liegt der Ausfall bei 50%. Alle anderen Mandelsorten ist der Frostschadenausfall bei unter 25%.

	Pentacebas	Marta	Supernova	Lauranne Avijor	Tuono	Ferragnes	Antonetta	Genco	Filippo Ceo
Ausfall in %	0,64	47,87	50,66	16,28	8,19	26,32	4,58	76,24	2,22

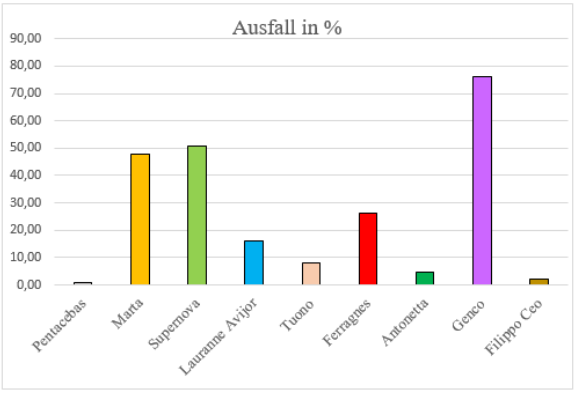


Abbildung 3: **Auswertung der Bonitur für die Frostschadensbestimmung am 17.04.2023 mithilfe von Excel**

Die Frostbonitur wurde mithilfe des Microsoft-Programms Excel und SPSS ausgewertet. Die Sorte *Genco* weist eine hohe Signifikanz auf.

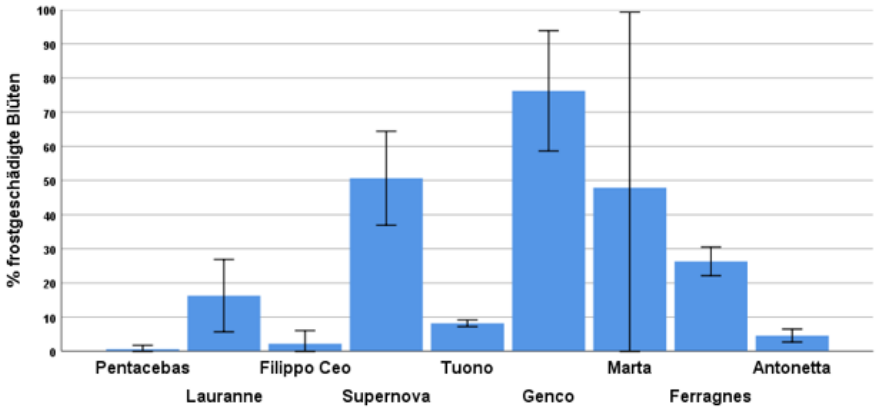


Abbildung 4: **statistische Auswertung der Bonitur für die Frostschadensbestimmung am 17.04.2023 mithilfe von SPSS**

Zusammenfassung

Mandeln sind recht unkompliziert zu kultivieren. Sie haben keine besonderen Bodenansprüche und gedeihen schön in einem Weinbauklima. Die Sorten weisen Unterschiede in der Verkostung, Gewicht und

Frostbeständigkeit auf. Die Sorte *Genco* kommt geschmacklich besonders gut bei den Verkosterinnen und Verkoster an. Aber auch die Sorten *Marta* und *Tuono* haben bei der Verkostung gut abgeschnitten. Vom Gewicht her sind die Sorten *Ferragnes, Supernova* und *Marta* am schwersten. Am meisten Frostschäden weist die Sorte *Genco* auf. Die Sorten *Supernova* und *Marta* sind auch nicht sehr frostfest. Alle anderen Sorten haben den Frost im April besser ausgehalten.

Abstract

Almonds are quite uncomplicated to cultivate. They have no special soil requirements and thrive beautifully in a viticultural climate. The varieties show differences in the tasting, weight and frost resistency. The variety *Genco* is particularly well received by the tasters in terms of taste. However, the varieties *Marta* and *Tuono* also did well in the tasting. In terms of weight, the varieties *Ferragnes*, *Supernova* and *Marta* are the heaviest. The variety *Genco* has the most frost damage. The varieties *Supernova* and *Marta* are also not very frost resistant. All other varieties have withstood the frost in April way better.

Literatur

PIRC H (2015): Enzyklopädie der Wildobst- und seltenen Obstarten. Leopold Stocker Verlag 344-347.

WURM L, LAFER G, KICKENWEIZ M, RÜHMER T UND STEINBAUER L (2010): Erfolgreicher Obstbau: Ein Obstbau-Leitfaden unter besonderer Berücksichtigung qualitätsfördernder Maßnahmen. AV-Fachbuch 399-400.

Adresse der Autorin

Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Wiener Strasse 74 A-3400 Klosterneuburg

Bio- Marillenanbau unter Folie und im Freiland

Organic apricot cultivation under foil and outdoors

Lothar Wurm

Einleitung

Zwar ist die Bedeutung des Biologischen Marillenanbaues in Österreich noch gering, der starke Anstieg der Bioobstbauflächen insgesamt auf über 30% zeigt aber Potential zur Ausweitung auf (STATISTIK AUSTRIA 2017). Nachdem Witterungsextreme weiter zunehmen, der Selbstversorgungsgrad mit Biomarillen noch sehr gering ist, langjährige Erfahrungen mit verschiedenen Folienüberdachungssystemen vorhanden sind und neue, interessante Sorten auf den Markt drängen (WURM, 2021a) wurde 2018 ein neuer Biomarillen-Folienüberdachungsversuch gepflanzt. Die ersten Versuche mit Folienüberdachung bei Biomarillen im Vergleich zu Freilandanbau wurden am Versuchsgut Haschhof von 2005 bis 2008, damals mit dem System Brändlin, durchgeführt. Grundsätzlich konnten auch mit der Folie Monilia-Spitzendürreinfektionen auf ein erträgliches Ausmaß reduziert werden. WURM (2011) beschrieb die Vor- und Nachteile der Folie ausführlich.

Material und Methoden

Im Vergleich zu dem früheren Versuch wird diesmal Bio-Freilandmarillenanbau mit Biomarillenanbau unter Folienüberdachung des Systems VOEN verglichen. Die im Herbst 2017 im Versuchsquartier 083 gepflanzten, als Spindel erzogenen Standardsorten Klosterneuburger und Orangered werden gemeinsam mit den neuen Sorten Tsunami, Bergeval, Digat und Vertige auf Torinel als Fruchtwand getestet. Weiters wurden in dieser Versuchsanlage Blühstreifen eingesät (Kooperation mit Dr. Bernhard Krautzer, Raumberg Gumpenstein). Bei diesem Versuchsprojekt geht es also um einen Vergleich verschiedener Marillensorten unter Bioproduktionsbedingungen mit Blühstreifen im Freiland mit und ohne Folienüberdachung. Diese soll Hagelschäden verhindern, Spätfrostschäden mindern und helfen ohne Fungizidbehandlungen auszukommen und die zur Blüte infizierende, gefährliche Monilia-Spitzendürre einzudämmen.

Ergebnisse und Diskussion

<u>Baumausfälle:</u>
Bei Marille lassen sich selbst bei Beachtung aller vorbeugender Maßnahmen gegen das Baumsterben Baumausfälle nie ganz vermeiden. In dieser Versuchsanlage sind die Ausfälle im sechsten Standjahr aber teilweise schon sehr beträchtlich (Abb. 1). Besonders stark betroffen sind die Sorten Vertige und Bergeval. Die knapp 50 % Ausfall bei Vertige sind auf das mit ESFY-Phytoplasmen befallene Ausgangspflanzmaterial zurückzuführen. Bei Bergeval sticht der große Unterschied zwischen den Ausfallszahlen unter Folie (über 50%) im Vergleich zu den Ausfallszahlen im Freiland (knapp 20%) ins Auge. Die Bäume unter Folie erhalten, wie die im Freiland, bei Trockenheit mittels Tropfbewässerung zusätzlich Wasser. Da unter der Folienüberdachung die Niederschläge allerdings überwiegend in die Fahrgassenmitte abgeleitet werden, reagierte möglicherweise die sehr fruchtbare Sorte Bergeval dennoch empfindlich auf das weitgehende Fehlen des natürlichen Niederschlages. Mit Ausfällen zwischen knapp 10% bis etwas mehr als 20% bewegen sich die Zahlen bei Klosterneuburger, Tsunami, Orangered und Digat in dem für junge Marillenanlagen üblichen Bereich. Orangered ist die einzige Sorte mit geringeren Ausfällen unter der Folie.

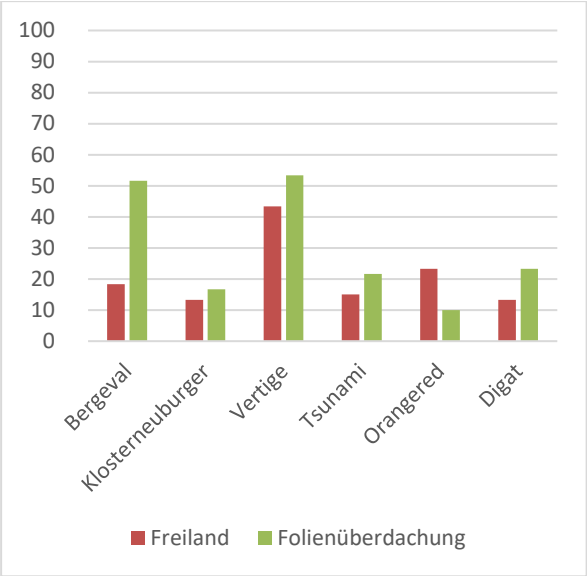


Abbildung 1: **Baumausfälle der Versuchssorten von 2018 bis 2023 im Freiland und unter Folienüberdachung**

Ertragsentwicklung:

In den ersten vier Ertragsjahren brachten Bergeval mit durchschnittlich 24kg Früchten pro Baum und Digat (22 kg Früchte pro Baum) die signifikant höchsten kumulierten Erträge, während Klosterneuburger mit nur 1,5 kg Früchte pro Baum am signifikant schlechtesten abschnitt. Bis auf Bergeval zeigt sich bei allen Sorten ein signifikant positiver Effekt der Folienüberdachung auf die Ertragshöhe. Besonders stark ist dieser Effekt, allerdings auf niedrigem Ertragsniveau, bei der Sorte Klosterneuburger zu beobachten. Während Klosterneuburger im Freiland in den vier Ertragsjahren nicht einmal 1kg Früchte pro Baum brachte, fruchtete sie unter Folie mit knapp 3kg pro Baum signifikant höher (Abb.2).

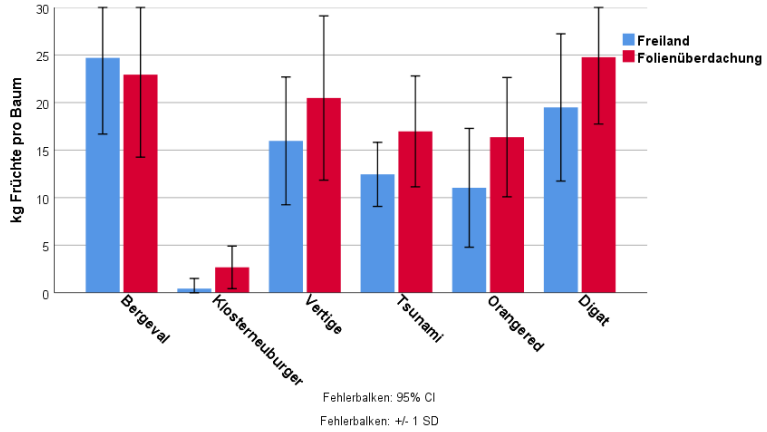


Abbildung 2: **Kg Früchte pro Baum der Versuchssorten von 2019 bis 2022 im Freiland und unter Folienüberdachung**

Der Spätfrost 2020 führte vor allem bei Klosterneuburger, aber auch bei Tsunami zu starken Blütenfrostschäden, während die anderen Sorten kaum oder nicht betroffen waren. Natürlich ist Klosterneuburger keine Massenträgersorte, der in diesem Versuch verwendete Klon dürfte allerdings besonders ertragsschwach sein. Die Auswirkungen der Folie auf die Temperaturentwicklung bei Frost wurde im Vegetationsjahr 2021 untersucht (Wurm, 2021b). Obwohl der 2021 dokumentierte temperaturerhöhende Effekt der Folie gering war, reichte dieser aus um die Blütenfrostschäden 2023 signifikant zu reduzieren.

Zusammenfassung

Bis zum sechsten Standjahr fruchtete die Sorte Bergeval unter den Bioanbaubedingungen am höchsten. Die bei weiten geringsten Erträge brachte bisher Klosterneuburger. Zu Frostschäden kam es in den Jahren 2020 und 2023, besonders stark bei Klosterneuburger und Tsunami. Bei Bergeval und Vertige sind überdurchschnittlich hohe Baumausfälle zu verzeichnen. Positive Effekte der Folienüberdachung waren die Reduktion von Monilia-Spitzendürreinfektionen, die Reduktion der Spätfrostschäden 2023 und eine Steigerung der Fruchterträge. Allerdings ist das Folienüberdachungssystem teuer und anfällig für Schäden durch Schneedruck und extreme Windbelastungen.

Abstract

Up until the sixth year, Bergeval produced the highest yields under the organic cultivation conditions. By far the lowest yields were found at Klosterneuburger. There was frost damage in 2020 and 2023, particularly severe in Klosterneuburger and Tsunami. Above-average dieback of trees can be observed in Bergeval and Vertige. Positive effects of the foil roofing were the reduction of Monilia-infections, the reduction of late frost damage in 2023 and an increase in fruit yields. However, the foil canopy system is expensive and prone to damage from snow pressure and extreme wind loads.

Literatur

STATISTIK AUSTRIA (2017): Erhebung der Erwerbsobstanlagen 2017. Wien, Bundesanstalt Statistik [Zugriff am 02.05.2023]. Verfügbar unter: https://www.statistik.at/statistiken/land-und-forstwirtschaft/pflanzenbau/obst/erwerbsobstbau

WURM L (2011): Einfluss von Folienüberdachung und Kupfer-Blütebehandlungen auf Monilia-Spitzendürrebefall, Ertrag, Fruchtqualität und Lagerfähigkeit bei Bio-Marillen. Mitteilungen Klosterneuburg Vol.61, S.34-45

WURM L (2021a): Obstbau unter sich ändernden Rahmenbedingungen. In: Berichte über die Landwirtschaft [Zugriff am 24.04.2023]. Verfügbar unter: https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/366

WURM L (2021b): Folienüberdachung für Bio-Aprikosen: Erste Ergebnisse. Obstbau Nr.9, S 519-522

Adresse des Autors

Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Dipl. Ing. Dr. Lothar WURM, lothar.wurm@weinobst.at

Nutzung der Impedanz-Messung zur Reifebestimmung

Use of Impedance measurement to determine the ripening stage

Manfred Gössinger*, Antonia Skoff, Marc Hejret , Carmen Bock, Marlene Lindner, Helen Murray, Cordula Klaffner, Monika Graf

Einleitung

Die optimale Reife der Rohware ist ein wichtiger Einflussfaktor auf die Qualität des daraus produzierten Produktes. Zur Reifebestimmung werden viele verschiedene Parameter verwendet. Die wichtigsten Parameter bei Beerenobst sind die Farbe, Festigkeit, lösliche Trockensubstanz und Titrierbare Säure. Bei Erdbeeren ist neben der Größe und Gesundheit die Farbe der wichtigste Parameter bei der Ernte. Die Färbung der Erdbeeren ist aber von vielen Faktoren abhängig (z.B.: Witterung, Anbausystem, Lagerung). Vor allem die Unterscheidung zwischen marktreif und vollreif ist mit den konventionellen Reifeparametern schwer möglich, weil sich die klassischen Parameter nur wenig ändern. Die Farbstabilität der daraus hergestellten Produkte wird hier aber stark beeinflusst. In der Literatur findet man Versuchsansätze, die mittels Impedanz-Messung die Reifeparameter besser unterscheiden versuchen. Dabei zeigte sich, dass genau der Übergang zwischen marktreif (voll ausgefärbt und hellrot) zu vollreif (voll ausgefärbt und deutlich dünkleres rot) mit den verwendeten Geräten schwer möglich ist (GONZÁLEZ-ARAIZA, 2014). Die Arbeitsgruppe konnte nur die Reifestadien 4 und 6, nicht aber 4 und 5 sowie 5 und 6 signifikant voneinander unterscheiden (Abbildung 1). Besonders die Unterscheidung in noch reiferem Bereich (nach Stufe 6 (marktreif)) ist für die Verarbeitung besonders interessant.

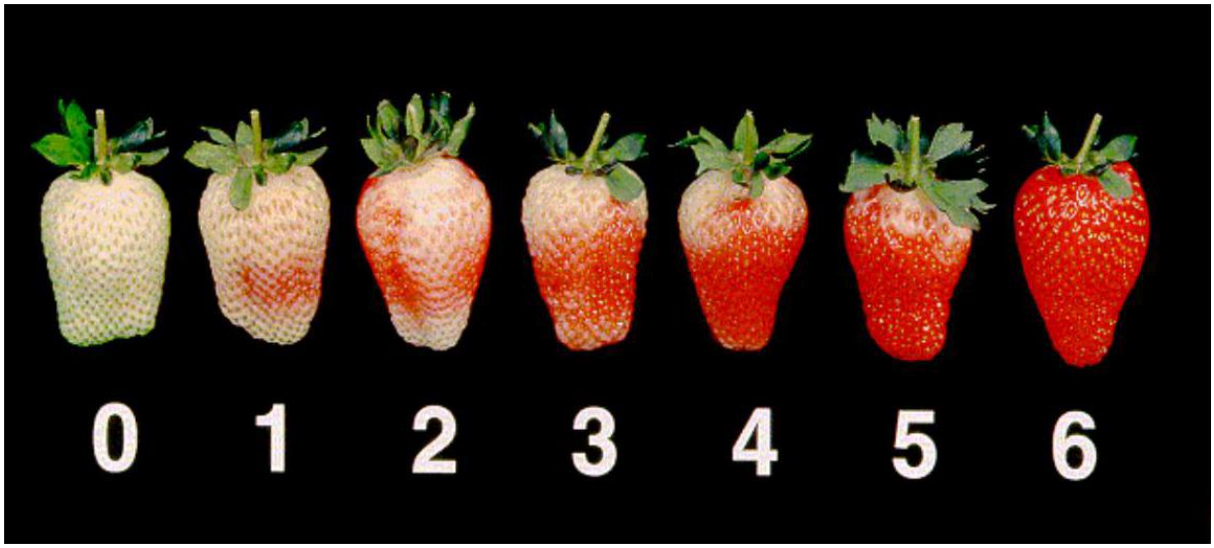


Abbildung 1: **Reifestadien der Erdbeere (GONZÁLEZ-ARAIZA, 2014)**

Eigene Versuche mit Erdbeernektaren haben gezeigt, dass eine dunklere Farbe der Erdbeeren (marktreif (vollreif) bis überreif) meist zu einer besseren Farbstabilität der Nektare führt (MURRAY et al., 2023). Die Änderung der Festigkeit korreliert jedoch nicht immer mit der Farbänderung der Früchte. Die Strukturänderung des Fruchtgewebes kann mittels Impedanz gemessen werden.

Die Impedanz-Messung wird seit einigen Jahren zur Charakterisierung des Pflanzengewebes und damit zur Reifebestimmung eingesetzt. Die Impedanz wird als der Gesamtwiderstand verstanden. Die Leitfähigkeit (σ, [S/cm]) ist als Kehrwert des spezifischen Widerstandes definiert, und wird wie folgt berechnet: σ = Zellkonstante (K, [1/cm]) / Impedanz (Z, [Ω]). Die Impedanz ist frequenzabhängig. Bei der Impedanz-Spektroskopie wird eine Spannung bei verschiedenen Wechselstromfrequenzen (0,1 – 1000 MHz) angelegt und der resultierende Strom gemessen.

In der Literatur findet man verschiedene Messgeräte, die zur Impedanz-Messung eingesetzt werden. Die Messsysteme sind entweder zerstörungsfrei (GONZÁLEZ-ARAIZA, 2014) bzw. zerstörend (OSTERMEIER et al., 2018).
Ziel dieser Untersuchung war herauszufinden, ob mittels Impedanz-Messung mittels eines neu entwickelten Messgerätes Erdbeeren unterschiedlicher Reife (marktreif vs. vollreif) unterschieden werden können. Im Folgenden werden die ersten Ergebnisse dargestellt.

Material und Methoden

Rohware: Für den Versuch wurden bei der Ernte 2022 9 Erdbeersorten von 4 Standorten in Niederösterreich verwendet.

Versuchsplan: Die Erdbeeren wurden optisch in marktreif und vollreif eingeteilt. Es wurden die Reifeparameter Farbe, Festigkeit, lösliche Trockensubstanz (°Bx), Titrierbare Säure (TA ber. als Weinsäure), aw-Wert von reifen und vollreifen Erdbeeren mit den Werten der Impedanz-Messung verglichen. (Werte sind hier nicht dargestellt)

Impedanz-Messung: Bei diesem Versuch wurde ein Impedanz-Messgerät von der Fa. ELEA (PEF Control System, Nadellänge 1 cm, Frequenzbereich 0,1 – 1000 MHz) (Abbildung 2) verwendet. Die Software wurde für diesen Versuch entwickelt, damit über den Frequenzbereich von 0,1 MHz bis 1000 MHz (121 Frequenzen, in Folge I1 niedrigste Frequenz (0,1 MHz) bis höchste Frequenz (I121 1000 MHz)) die Leitfähigkeit in einem Vorgang gemessen werden kann. Für die Messung wurden jeweils 10 Erdbeeren verwendet. Jede Frucht wurde in der Mitte mit einem scharfen Messer geteilt und bei jeder Hälfte 2 Messungen (Abbildung 3) durchgeführt. Die 40 Werte pro Variante wurden in Excel übertragen und die Impedanz berechnet. Die Impedanz berechnet sich aus der Leitfähigkeit. Die Zellkonstante wird 1 gesetzt (Abstand der beiden Elektroden: 1 cm). Impedanz = 1/Leitfähigkeit (ELEA, 2022).

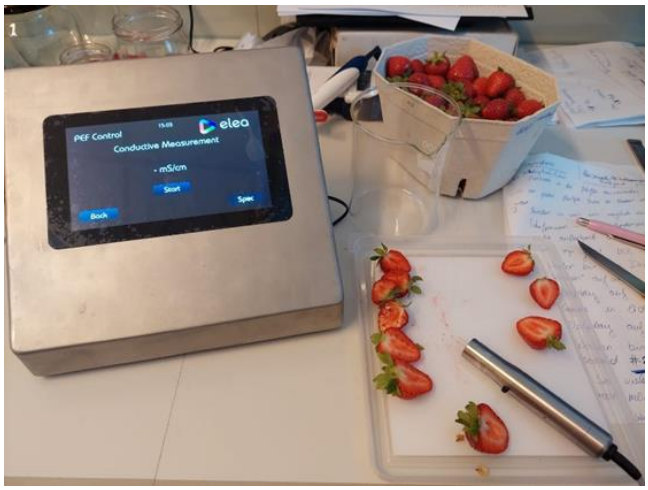


Abbildung 2 und 3: **verwendetes Impedanz-Messgerät und Messpositionen bei Erdbeere**

Ergebnisse und Diskussion

Die Aufteilung der beiden Reifegrade bei den jeweiligen Sorten war zum Teil sehr schwierig, weil sich die Farbe vom Zeitpunkt der Ernte bis zur Sortierung kontinuierlich änderte. Die Ergebnisse der konventionellen Reifeparameter zeigen auch, dass die ausgewählten Reifegrade der Erdbeersorten mittels der gemessenen Parameter nur selten unterschieden werden konnten. Auch mittels Impedanz konnten nur bei 3 Sorten (*Elsanta 2, Clery 2* und *Daroyal*) signifikante Unterschiede bei einzelnen Frequenzen beobachtet werden. In Abbildung 4 ist ein typischer Verlauf der Impedanz während einer Messung in Abhängigkeit der Frequenz dargestellt. Bei niedrigen Frequenzen sind die Unterschiede zwischen den Reifegraden größer, jedoch auch der Range je Reifegrad. Signifikante Unterschiede wurden sowohl bei

einzelnen niedrigen Frequenzen (bis 1 MHz, (I31)) gemessen (*Elsanta 2* und *Daroyal*), als auch im mittleren Bereich (4-21 MHz, (I50-I70)) (*Clery* 2) und bei höheren Frequenzen (300-1000 MHz, I100-121) (*Elsanta* 2 und *Daroyal*). Am besten (bei den meisten Frequenzen) konnten die unterschiedlichen Reifegrade bei der Sorte *Daroyal* erkannt werden. Signifikante Unterschiede wurden bei dieser Sorte außer bei der Impedanz nur noch bei den Parametern Farbe (L*-Wert, b*- Wert, h°-Wert, AF (Akzeptanzfaktor)) und TA gefunden, nicht bei der Festigkeit. Tendenziell liegen die Impedanz-Werte bei weichen Früchten bei niedrigen Frequenzen etwas höher als bei festen Erdbeeren (Abbildung 4).

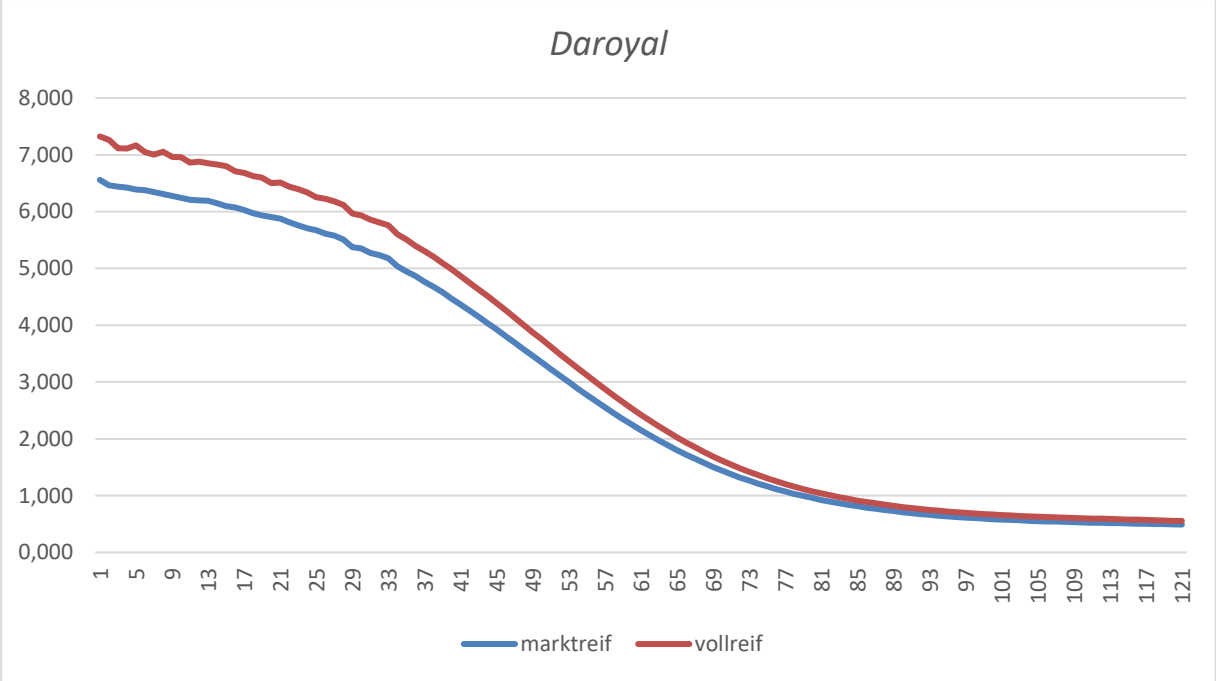
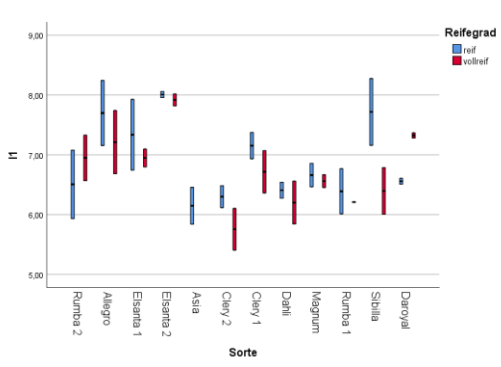


Abbildung 4: **Impedanz (Ω) in Abhängigkeit der Frequenz (I1 bis I121) bei marktreifen und vollreifen Erdbeeren der Sorte *Daroyal***



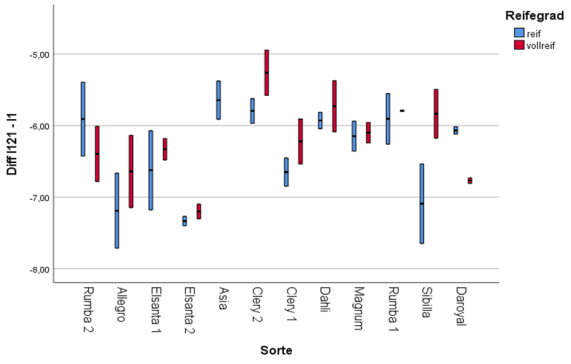


Abbildung 5 und 6: **Impedanz-Werte bei Frequenz I1 der Sorten und Differenz der Impedanz-Werte der höchsten und niedrigsten Frequenz (Diff I121 – I1) je Sorte und Reifegrad**

In Abbildung 5 sind die Impedanz-Werte der untersuchten Sorten und Reifegrade bei der niedrigsten Frequenz dargestellt. In Abbildung 6 werden die Differenzen der Impedanz-Werte der höchsten und niedrigsten Frequenz dargestellt. Eigentlich wäre zu erwarten, dass die Differenz dieser Werte zur Beurteilung der Festigkeit der Früchte herangezogen werden könnte, je niedriger, desto weicher (reifer) ist die Frucht. Die Ergebnisse in diesem Versuch bestätigen diesen Zusammenhang aber nicht. Vielmehr

konnte ein signifikanter Zusammenhang der Impedanz mit der Farbe (Akzeptanzfaktor (AF), Stabilitätsfaktor (SPV)) gemessen werden, der wiederum als ein wichtiger Faktor für die Stabilität der daraus hergestellten Nektare gesehen wird (MURRAY et al. 2023).
In weiteren Versuchen soll die Messmethode optimiert und Frequenzen ermittelt werden, mithilfe derer das Stabilitätspotential von Erdbeeren besser abgeschätzt werden kann.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die ersten Ergebnisse der Impedanz-Messung von Erdbeeren mittels neuem Impedanz-Messgerätes dargestellt, mit dem Ziel, die unterschiedlichen Reifegrade der Früchte zu bestimmen. Es wurden dazu 9 Erdbeersorten aus unterschiedlichen Provenienzen bei 2 Reifegraden (marktreif, vollreif) untersucht. Die typischen Verläufe der Impedanz in Abhängigkeit der Frequenz zeigen, dass bei niedrigen Frequenzen die Impedanz der vollreifen Früchte höher ist, während bei höheren Frequenzen die Werte kleinere Unterschiede aufweisen. Auf Grund des größeren Ranges bei niedrigeren Frequenzen findet man jedoch in allen Bereichen signifikante Unterschiede. Nur bei wenigen Sorten konnten die Reifegrade mittels Impedanz signifikant unterschieden werden. Weitere Untersuchungen sind zur Optimierung der Messmethode hinsichtlich der Differenzierung der Reifegrade von Erdbeeren notwendig.

Abstract

In this study the first results of an impedance measurement of strawberries by means of a new device were shown with the goal to differentiate the ripening stages of ripe and overripe strawberries. Nine varieties of different proveniences of two ripening stages were tested. The typical course of impedance depending on the used frequency show that at low frequencies fully ripe strawberries have higher values than at higher frequencies. The range of the measured impedance is higher at lower frequencies. Thus there could be found significant impedance differences at all frequency-areas but generally the ripening stage of only few varieties could be differentiated significantly. More analysis are necessary to improve the method in order to distinguish ripe and overripe strawberries.

Literatur

GONZÁLEZ-ARAIZA J R. (2014): Impedancia bio-electrica como téchnica no-destructiva para medir la firmeza de la fresa (*Fragaria* x *ananassa* Duch) y su relación con técnicas convencionales. Thesis doctoral presendata a la Universidad Politècnica de Valencia Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria

ELEA, (2022): Operation instructions – PEF Control System, ELEA, Quakenbrück, Deutschland

OSTERMEIER R., GIERSEMEHL P., SIEMER S., TÖPFL S. und JÄGER H. (2018): Influence of pulsed electric field (PEF) pre-treatment on the convective drying kinetics of onions. Journal of Food Engineering 237: 110-117

MURRAY H, DIETL-SCHULLER C, LINDER M, KORNTHEUER K, HALBWIRTH H, GÖSSINGER M (2023) Prediction of the potential colour stability of strawberry nectar by use of a Stability Prediction Value (SPV). LWT, 173, 114233

Adresse der Autoren

HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Wienerstraße 74, A-3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Prof. HR DI Dr. Manfred GÖSSINGER, manfred.goessinger@weinobst.at

Sensorische Beurteilung von Säften ausgewählter alter und neuer Apfelsorten

Sensory evaluation of juices from selected old and new apple varieties

Martina Staples

Einleitung

Der Reichtum an verschiedensten Apfelsorten ermöglicht dem Produzenten die freie Auswahl, je nach Vorlieben neue oder alte Sorten, Tafel- oder Verarbeitungsäpfel anzubauen und zu verarbeiten. Die auffallende Aromatik vieler alter Sorten prädestinieren diese zur Verarbeitung, welche mittels moderner Technologie zu hochqualitativen Produkten veredelt werden können. Der Erfolg alter Sorten zeigt sich immer wieder bei verschiedenen Prämierungen (z.B. „Goldene Birne“ und „Goldenes Stamperl“ der LK OÖ und Messe Wieselburg), wobei sie sich wiederholt gegen die Aromavielfalt und Qualität von Produkten neuer Sorten durchsetzen müssen. Neben der Erhaltung der Biodiversität und der Vielfalt an genetischer Ressourcen, verfügen viele alte Sorten über einen gesundheitlichen Mehrwert durch ihren Gehalt an Polyphenolen und ihrer erhöhten antioxidativen Kapazität (z.B.: DIETRICH et al. 2010, SZALATNY und HUNZIKER 2010). Neue Sorten punkten oft mitunter durch ihren hohen Wiedererkennungswert und ausgesprochener Qualität. Welche dieser Sorten für moderne Anbausysteme geeignet sind und einen Mehrwert für die Verarbeitung darstellen soll untersucht werden. Dafür werden sortenreine Apfelsäfte von Äpfeln verschiedener Standorte hergestellt und über die Jahre sensorisch beurteilt.

Material und Methoden

Im Zuge eines Gemeinschaftsversuches wurden 2017 an der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg und an der Versuchsstation Obst- und Weinbau Haidegg 12 ausgewählte alte und neue Apfelsorten (‘Ilzer Rosenapfel‘, ‘Gravensteiner‘, ‘St. Maschanzker‘, ‘Roter Berlepsch‘, ‘Goldparmäne‘, ‘Roter Boskoop‘, ‘Cox Orange‘, ‘Winterbanane‘, ‘Kronprinz Rudolf‘, ‘Rubinette Rosina‘, ‘Braeburn Maririred‘, ‘Elstar Standard‘) auf den Unterlagen MM111, M7, B9 und CG11 ausgepflanzt und sowohl als Multi Leader-Fruchtwand als auch als Spindel-Fruchtwand erzogen. Die beiden Anbausysteme sollen hinsichtlich der Eignung zur Produktion von qualitativ hochwertigen Verarbeitungsprodukten verglichen werden (RÜHMER 2017). Dazu werden die Produkte der beiden Versuchspartner in Klosterneuburg miteinander verkostet und beurteilt.
Zur Beurteilung des Potentials der in diesen Anbausystemen produzierten Äpfel werden sortenreine Säfte wie folgt produziert.
Saftherstellung Klosterneuburg: Je ca. 200kg einer Sorte werden mittels Bandsortierung sortiert und Bürstenwäscher und zweier Gebläse gereinigt. Die Früchte werden mit Hilfe einer Rätzmühle (Fa. Kreuzmeyer,) zerkleinert und einer einstelligen Bandpresse (Fa. Milteco) gepresst. Zur Herstellung von klarem Apfelsaft (2019, 2021) wurde der gewonnene Saft enzymiert (2ml/hl; Fructozym P, Fa. Erbslöh) und mit Bentonit (2g/l; NaCalit, Fa. Erbslöh), Kieselsol (50ml/hl; Bevasil 30, Fa. Begerow) und Gelatine (50ml/hl; Gelita klar, Fa. Begerow) im Abstand von 15min versetzt. Am darauf folgenden Tag wurde der Saft abgezogen, mittels Rundfilter (R22, Fa. G. Wein; Filterschichten K100-150, Fa. Seitz) filtriert, gefüllt und pasteurisiert (80°C, 20 min). Zur Herstellung von naturtrübem Saft wurde der durch Zerkleinern und Pressen gewonnene Saft mit 15g/hl L-Ascorbinsäure (Fa. Sulfometa) versetzt und hochkurzzeiterhitzt (20 sec., 80°C; Röhrenpasteur Fa. Fischer). Anschließend wurde der Saft zentrifugiert (Fa. GEA Westfalia) und heiß abgefüllt bzw. bei geringerer Saftmenge kalt gefüllt und pasteurisiert.
Saftherstellung Haidegg: Pro Sorte werden 40 bis 100kg gewaschen, sortiert und mittels Einbandpresse mit aufgesetzter Rätzmühle (Fa. Milteco) zerkleinert und gepresst. Dem so gewonnenen Saft wurden 50mg/kg Saft L-Ascorbinsäure (Fa. Sulfometa) beigemengt, anschließend enzymiert (10ml/100kg, Trenolin FastFlow, Fa. Erbslöh) und mit Mostgelatine (100ml/100kg Saft, Fa. Erbslöh) und Mostbentonit (2g/l Seporit PORE-TEC, Fa. Erbslöh) geschönt. Am Folgetag wurde der Saft abgezogen, mit K150 Filterschichten (Fa. Seitz) filtriert (Schichtenfilter Fa. Rapf&Co), kalt gefüllt und pasteurisiert (80°C, 5min Haltezeit, Kombidämpfer, Fa. Rational; Abkühlung im Freien).

Sensorische Beurteilung: Mit Hilfe einer unstrukturierten Skala beurteilte ein geschultes Kosterpanel die Säfte mit den Parametern Aromatypizität, Aromaintensität, Geschmackstypizität, Geschmacksintensität, Harmonie und Gesamturteil. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte mittels SPSS 22.0 und Microsoft Excel.

Ergebnisse und Diskussion

In Haidegg wurden 2019, 2020 und 2021 klare Apfelsäfte hergestellt. In Klosterneuburg wurden 2020 naturtrübe und 2021 klare Apfelsäfte hergestellt.
Die Säfte der Sorten ‘Braeburn Maririred‘, ‘Ilzer Rosenapfel‘ und ‘Roter Boskoop‘ 2019 wiesen signifikante Unterschiede in Aromatypizität, Geschmackstypizität, Harmonie und Gesamturteil auf. Die Verkostungsergebnisse streuten stark.
2020 wurden in Klosterneuburg alle Sorten verarbeitet. Signifikante Unterschiede zeigten die Sorten in den Parametern Aroma- und Geschmackstypizität, als auch Geschmacksintensität, Harmonie und Gesamturteil. 2021 wurden bei den Parametern Geschmackstypizität, Harmonie und Gesamturteil signifikante Unterschiede festgestellt.
In Haidegg konnten 2020 die Sorten ‘Winterbanane‘, ‘Goldparmäne‘, ‘Rubinette‘, ‘Roter Berlepsch‘, ‘Gravensteiner‘, ‘Elstar Standard‘, ‘St. Maschanzker‘, ‘Cox Orange‘ und ‘Kronprinz Rudolf‘ verarbeitet werden. Nur der Parameter Geschmackstypizität zeigte keine signifikanten Unterschiede. 2021 fehlte nur die Sorte ‘Roter Boskoop‘; hier zeigte nur der Parameter Aromaintensität keine signifikanten Unterschiede.

Im Jahr 2020 zeigten sich sign. Unterschiede in einzelnen Parametern zwischen den Herkünften bei den Sorten ‘Rubinette‘, ‘Elstar‘, ‘Gravensteiner‘, ‘Winterbanane‘ und ‘Roter Berlepsch‘; bei den Sorten ‘Kronprinz Rudolf‘ und ‘St. Maschanzker‘ unterschieden sich mehrere Parameter signifikant. 2021 unterschieden sich die Sorten ‘Gravensteiner‘, ‘Winterbanane‘, ‘St. Maschanzker‘, ‘Ilzer Rosenapfel‘ und ‘Roter Berlepsch‘ in einzelnen Parametern bezüglich ihrer Herkunft.
‘Rubinette‘, ‘Goldparmäne‘, ‘Winterbanane‘, ‘Braeburn Maririred‘ und ‘Ilzer Rosenapfel‘ zeigten Jahrgangsunterschiede in Haidegg; außer ‘Cox Orange‘, ‘Gravensteiner‘, ‘St. Maschanzker‘ und ‘Braeburn‘ zeigten auch alle weiteren Sorten Jahrgangsunterschiede in Klosterneuburg. Abbildung 1 zeigt die Unterschiede der Sorten im Parameter Gesamturteil über die Jahre und Herkünfte.

Da sowohl signifikante Unterschiede bei den Sorten zwischen den Jahrgängen als auch zwischen den Herkünften festgestellt wurden, können noch keine Aussagen über deren Qualität oder Verarbeitungspotential getroffen werden. Tendenziell scheint die Sorte ‘Roter Boskoop‘ nicht unter den am besten bewerteten Sorten zu sein, jedoch kann auch hier auf Grund der geringen Datenlage nur spekuliert werden. Auch ob klarer oder naturtrüber Saft Einfluss auf die sensorische Bewertung hat, kann nur gemutmaßt werden. In den kommenden Jahren sollen die Verarbeitungsschritte nach Möglichkeit weiter vereinheitlicht werden um etwaige Einflüsse daraus oder aus der Produktart zu minimieren bzw. zu eliminieren.

Zusammenfassung

Am Versuchsstandort Haschhof und an der Versuchsstation Haidegg wurden 2017 12 alte und neue Sorten auf verschiedenen Unterlagen gepflanzt und sollen hinsichtlich deren Fruchtqualität in Abhängigkeit von modernen Anbausystemen und deren Eignung zur Produktion hochqualitativer Produkte untersucht werden. Die über drei Jahre produzierten sortenreinen Säfte zeigen signifikante Unterschiede in den verschiedensten sensorischen Parametern, sowohl zwischen den Jahrgängen als auch zwischen den Herkünften. Die Verarbeitungsschritte sollen nach Möglichkeit weiter vereinheitlicht werden um Einflüsse daraus oder der Produktart zu vermeiden. Nach heutigem Wissensstand kann noch keine klare Aussage über das jeweilige Sortenpotential getroffen werden.

Abstract

At the Haschhof test site and at the Haidegg experimental station, 12 old and new varieties were planted on different rootstocks in 2017 and are to be investigated with regard to their fruit quality in relation to modern cultivation systems and their suitability for the production of high-quality products. The single-

variety juices produced over three years show significant differences in various sensory parameters, both between the vintages and between the origins. If possible, the processing steps should be further standardised in order to avoid influences from this or from the product type. According to the current state of knowledge, no clear statement can be made about the varietal potential.

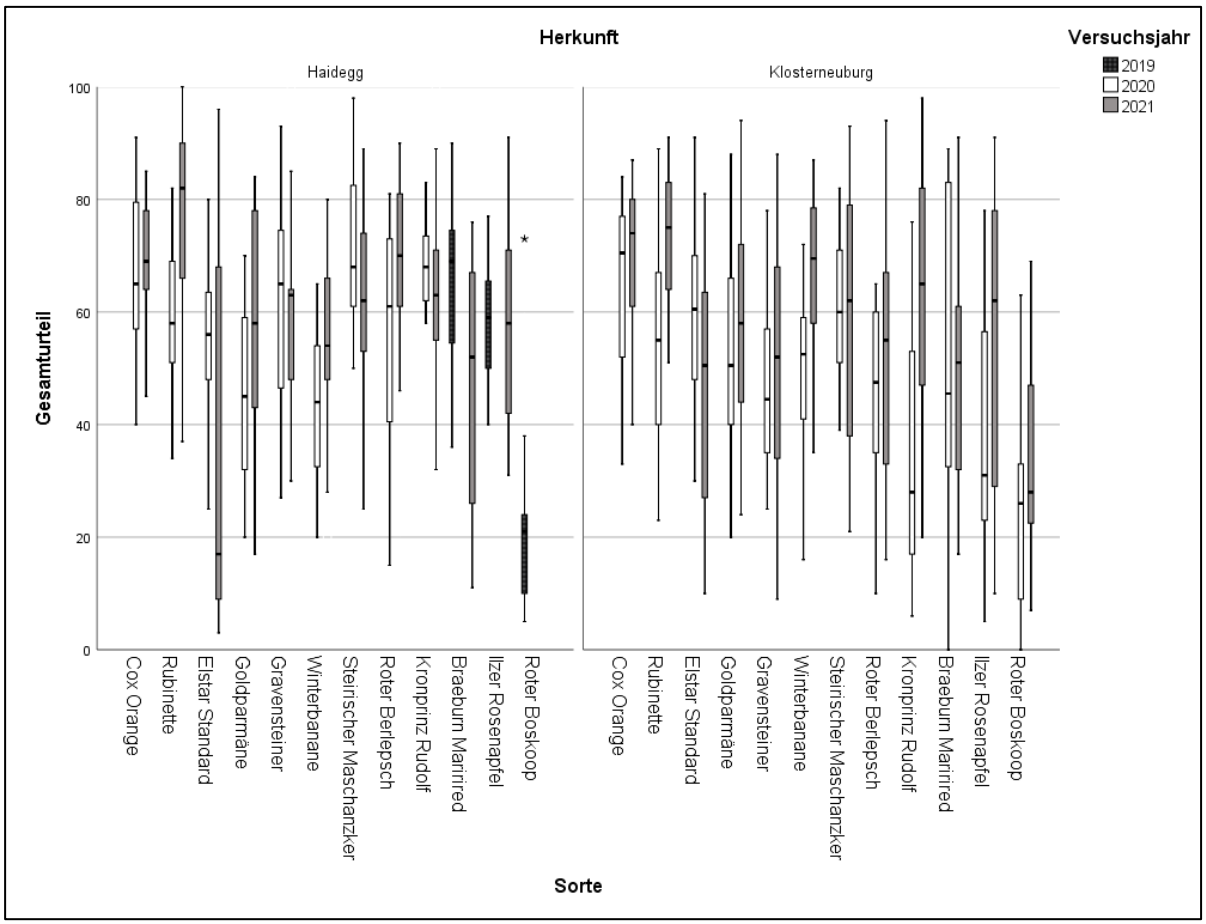


Abbildung 1: **Unterschiede der Sorten im Parameter Gesamturteil über die Jahre und Herkünfte**

Literatur

RÜHMER TH (2017): Traditionelle Apfelsorten für die Verarbeitung. Haidegger Perspektiven, S.6-7
DIETRICH H, WILL F, THIELEN CH (2010): Mostapfelsorten – Erhaltung der Biodiversität. Mitteilungen Klosterneuburg 60, S. 413-419.
SZALATNAY D, HUNZIKER K (2010): Beschreibung von Obstgenressourcen BEVOG. FRUCTUS S.1-115

Adresse der Autorin

HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Wiener Straße 74, 3400 Klosterneuburg

*Ansprechpartnerin: Mag.ª Martina Staples, martina.staples@weinobst.at

Sensorische Beurteilung von Kriecherlkonfitüren waldviertler und steirischer Herkünfte

Sensory evaluation of Kriecherl jams of Waldviertler and Styrian origin

Martina Staples*, Magdalena Plattner

Einleitung

Da die Kriecherl (Schramayr et al. 2014) als Kulturpflanze mitteleuropäischem Ursprungs (Lukas et al. 2021) nicht nur auf Grund seiner genetischen Vielfalt als obstgenetische Ressource punktet, sondern auch durch daraus resultierender Mannigfaltigkeit an phänologischen Merkmalen wie Größe und Farbe, deren etwaigen Angepasstheiten und Resistenzen und Abwechslungsreichtum im Aromaprofil, macht sie zur idealen Frucht der Verarbeitung. Dank vieler Initiativen in Österreich, Deutschland und Schweiz (z.B. Deutsche Genbank Obst – Netzwerk Pflaume, Erhalternetzwerk des Pomologen-Vereins-Steinobst, Vereinigung Fructus) werden die verschiedensten Arten, Subarten, Landrassen und Unbekannten gesichtet und gesichert. Nur macht alleinige Sicherung in z.B. Genbanken keine Obstart populär. Die Vermarktung als wertvolles, kulturprägendes Gut zeigt die Wertschätzung die es als eine der ältesten Kulturpflanzen in unseren Breiten verdient. So ist z.B. der traditionell hergestellte „Pflaumenbrand" des Steirischen Kriacherls für das geographische Gebiet Steiermark im Codex Alimentarius Austriacus als geschützte Angabe geführt (Sommer 2023). Das Waldviertler Kriecherl als Genussregion, vereinsinitiiert mit Veranstaltungen und mehr zur Imageförderung (www.kriecherl.at) oder der Spänling Hotspot im Oberen Murtal zeigen deutlich Möglichkeiten zur Erhaltung und Verbreitung von Natur- und Kulturgut (Schramayr et al. 2014). Die Verbreitung des blauen Steirischen Kriecherls veranschaulicht Innerhofer 2014 durch seine Sammlung unterschiedlicher Typen aus verschiedensten Regionen der Steiermark. Die phylogenetische Vielfalt spiegelt sich auch im sensorischen Reichtum wieder, der sich bei Unreife in „Reizwirkung, Bitterkeit und Gerbsäure" widerspiegelt (Schramayr et al. 2014) und bei Vollreife in süße, harmonische, zum Teil dezente und vielschichtige Aromenausprägungen zeigt. Bei Vollreife eignet sich daher die Kriecherl zur Produktion von Spitzenprodukten. Doch wann ist der ideale Zeitpunkt zur Ernte bei solch engem Reifefenster? Traditionell werden die Kriecherl geklaubt, welches einen mindest vollreifen Zustand garantiert. Doch zeigte Lukas et al. 2021 dass händisch, mit Hilfe eines Ernteschirms gerüttelte Kriecherl vergleichbare oder bessere Qualität zur Verarbeitung bringen kann. Auch Innerhofer 2014 betonte bereits, dass der Betriebsführer den Erntezeitpunkt festlegen sollte. Dank dieser mehrjährigen Vorarbeiten und der reichlichen Ernte 2022, konnte das Hauptaugenmerk darauf gelegt werden, Unterschiede zwischen den Herkünften der Waldviertler Kriecherl und etwaigen Einflüssen der Unterlage auf diese und Steirische Kriecherl festzustellen.

Material und Methoden

Am Versuchsstandort Haschhof der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg wurden 2016 Waldviertler Kriecherl drei verschiedener Herkünfte (Roiten, Pehendorf, Oberrosenauer Wald) und Steirische Kriecherl jeweils auf den Unterlagen Myrobalane, Brompton, St. Julien A, INRA 2 und GF 8/1 als Hochstamm ausgepflanzt. Im biologischem Produktionssystem konnten 2022 reichlich Kriecherl händisch gerüttelt, mit Hilfe des Ernteschirms aufgefangen, geerntet werden. Durch Erfahrung der letzten Jahre konnte so ein sehr guter Erntezeitpunkt gewählt werden, dass die Steirischen Kriecherl beim Schütteln und Transport nicht aufplatzten und doch einen vollausgereiften, aromatischen Zustand erreicht haben. Auch bei den Waldviertler Kriecherl half die Erfahrung bei der Findung des Erntezeitpunktes, da sich die Herkünfte Roiten und Oberrosenauer Wald deutlich in Reifezeitpunkt unterscheiden.

Die Früchte wurden umgehend zu Mark verarbeitet und anschließend weiter zu Konfitüre.

Sensorische Beurteilung: Die Konfitüren wurden von einem geschultem Kosterpanel mittels unstrukturierter Skala in den Parametern Aussehen, Geruch Intensität, Geruch Komplexität, Geschmack Intensität, Geschmack Komplexität, Harmonie und Gesamturteil im Vergleich zu einer externen Probe einer Waldviertler Kriecherl-Konfitüre beurteilt. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte mittels SPSS 22.0 und Microsoft Excel.

Ergebnisse und Diskussion

Es wurden insgesamt 22 Konfitüren produziert, wobei das Steirische Kriecherl und das Waldviertler Kriecherl mit der Herkunft Roiten mit allen Unterlagen vertreten waren. Von der Herkunft Pehendorf konnten Konfitüren der Unterlagen GF 8-1 und Myrobalane und von Pehendorf Myrobalane und St. Julien A produziert werden. Es finden sich signifikante Unterschiede zwischen den Herkünften in den Parametern Aussehen, Geruch Intensität und Harmonie. Im Parameter Aussehen unterscheiden sich beim St. Kriecherl die Unterlagen GF 8-1 und St. Julien A sowie St. Julien INRA 2 signifikant. Bei der Herkunft Pehendorf wurde die Konfitüre der Unterlage GF 8-1 im Aussehen signifikant schlechter beurteilt, im Parameter Geruch Intensität gemeinsam mit Myrobalane signifikant besser als St. Julien INRA 2. Bei der Herkunft Roiten wurde St. Julien A sowohl in Geruch Komplexität als auch in Intensität signifikant besser bewertet als St. Julien INRA 2. In Geschmack Komplexität und im Gesamturteil wurde Myrobalane signifikant besser beurteilt als St. Julien INRA 2. Bei der Herkunft Oberrosenauer Wald zeigten sich signifikante Unterschiede im Aussehen und Harmonie, wobei St. Julien INRA 2 signifikant besser bewertet wurde als Myrobalane (siehe Abb. 1). Bei Betrachtung der Herkünfte bzw. Sorten unabhängig der Unterlagen wurde die Herkunft Roiten im Parameter Aussehen signifikant schlechter beurteilt, im Parameter Geruch Intensität, auch gemeinsam mit dem St. Kriecherl, signifikant besser als Pehendorf. Die externe Probe wurde optisch (nicht signifikant) mit einer höheren Punkteanzahl bewertet, fand sich in den anderen Parametern jedoch im Mittelfeld. Durch Zugabe von Kaliumsorbat bei der Herstellung dieser Konfitüre, kann die Farbe als solches nicht als Qualitäts -„Vergleichsparameter“ herangezogen werden. Der statistisch erfasste Unterschied im Aussehen zwischen den Herkünften wurde insoweit diskutiert, dass die bereitgestellte Probenmenge bei der Verkostung als auch derer Eigenschaften (Viskosität, Homogenität, Farbe) Einfluss auf die Beurteilung des Parameters Aussehen hat und insoweit nicht nur z.B. mittels Farbmessungen nachvollzogen werden kann. Da beim St. Kriecherl auf Grund der blauen Schalenfarbe doch ein optisch erkennbarer Unterschied zu dem gelben Waldviertler Kriecherl erwartet wurde, soll dieser Parameter bei weiteren sensorischen Beurteilungen durch veränderte Probendarreichung etc. nochmals näher betrachtet werden. Die Unterschiede zwischen den Herkünften überraschen weniger als der feststellbare Einfluss der Unterlagen. So sollen Reifeparameter bei der Ernte und der Einfluss verschiedener Parameter im Zuge der Sensorik näher betrachtet werden um die Unterschiede in der Zukunft nach Möglichkeit zu bestätigen.

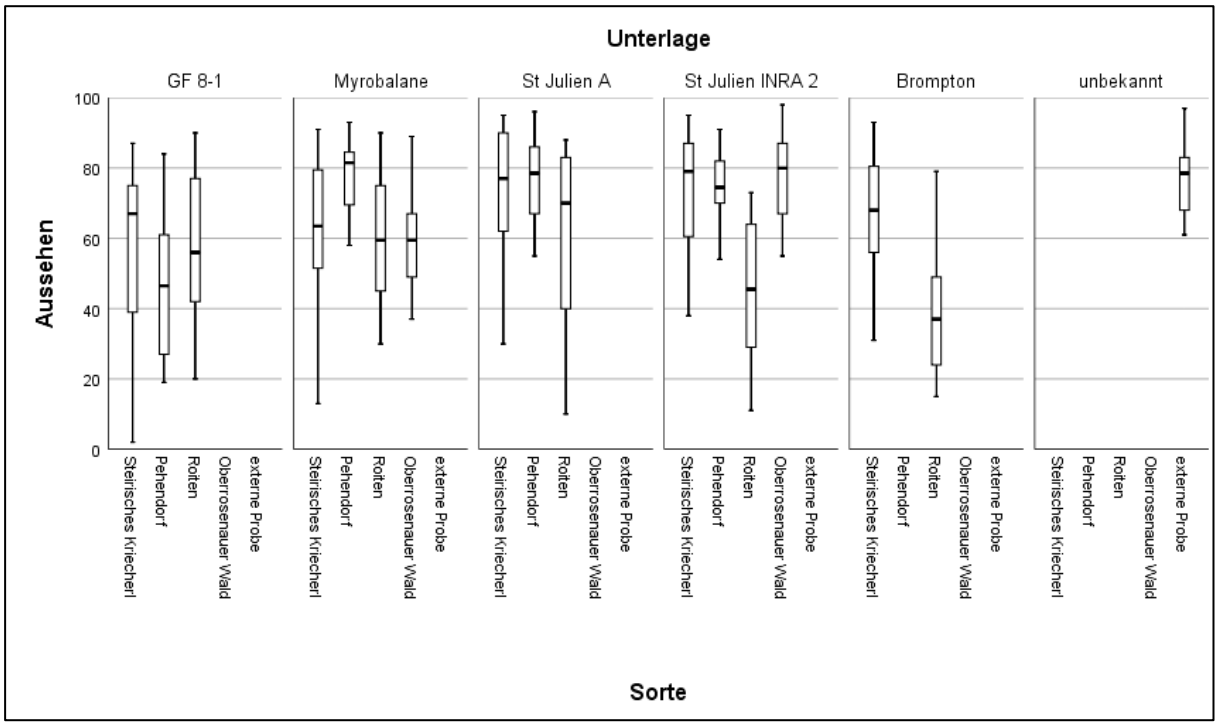


Abbildung 1: **Unterschiede im Parameter Aussehen abhängig von Sorte bzw. Herkunft und Unterlage**

Zusammenfassung

Am Versuchsstandort Haschhof wurden 2016 Waldviertler und Steirische Kriecherl auf verschiedenen Unterlagen ausgepflanzt und biologisch bewirtschaftet. Zum optimalen Reifezeitpunkt sollen die mittels idealer Erntemethode geernteten Früchte zu hochqualitative Konfitüren veredelt und der etwaige Einfluss von Herkunft und Unterlage untersucht werden. Nach sensorischer Beurteilung der Konfitüren im Vergleich zu einer externen Probe durch ein geschultes Kosterpanel, zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Herkünften und ein Einfluss der Unterlagen auf verschiedene Parameter. Die zum Teil überraschenden Ergebnisse sollen durch Kontrolle der Reifeparameter und Überprüfung des Einflusses verschiedener Faktoren in der sensorischen Beurteilung nach Möglichkeit bestätigt werden.

Abstract

At the Haschhof experimental site, Waldviertler and Steirische Kriecherl were planted on different rootstocks in 2016 and cultivated organically. At the optimal time of ripening, the fruits harvested using the ideal harvesting method are to be refined into high-quality jams and the possible influence of origin and rootstock is to be investigated. After sensory evaluation of the jams in comparison to an external sample by a trained tasting panel, significant differences between the origins and an influence of the rootstock on various parameters were found. The partly surprising results should be confirmed if possible by controlling the ripening parameters and checking the influence of different factors in the sensory evaluation.

Literatur

INNERHOFER, G. (2014): Kriecherltypen. Haidegger Perspektiven, Ausgabe 2/2014, 10-11.
LUKAS, M., STAPLES. M. und WURM, L. (2021): Bio-Kriecherlanbau: Erfahrungen mit Schüttel- und Handernte. ALVA-Tagungsband 75, 238-240.
SCHRAMAYR, G. (2014): Die Kriecherl. NÖ Agrarbezirksbehörde, Fachabteilung Landentwicklung, St. Pölten, 1-51.
SOMMER E. (2023): Steirisches Kriacherl. https://info.bml.gv.at/themen/lebensmittel/trad-lebensmittel/getraenke/steir_kriacherl.html, aufgerufen am 9.5.2023 15.41Uhr

Adresse der Autorinnen

HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Wiener Straße 74, 3400 Klosterneuburg

*Ansprechpartnerin: Mag.ª Martina Staples, martina.staples@weinobst.at

Vorhersage der potenziellen Farbstabilität von Erdbeernektar durch Verwendung eines Stability Prediction Value (SPV)

Prediction of the potential colour stability of Strawberry Nectar by use of a Stability Prediction Value (SPV)

Helen Murray[1*], Claudia Dietl-Schuller[1], Marlene Lindner[1], Karin Korntheuer[1], Heidrun Halbwirth[2], Manfred Gössinger[1]

Introduction

The colour instability of nectars made of strawberries (Fragaria x ananassa) poses a difficult problem for the producers and retailers of these nectars. Strawberry nectars straight after production will be a bright red colour, attractive to consumers. Unfortunately this colour is not stable and will soon (in a matter of weeks) degrade to an unattractive brown colour, unacceptable to consumers. (GÖSSINGER et al. 2009). The likelihood that a nectar will be accepted by a consumer can be quantified an Acceptance Factor (AF) calculated from CIELAB colour components defined as $AF = \frac{a^*}{h^\circ}$. Nectars with AF > 0.7 are considered excellent and those with AF < 0.4 were considered unacceptable. (GÖSSINGER et al. 2009). Prediction of colour stability of nectars on their day of production would be of great advantage to industry as it could be used to dictate factors such as stock rotations, and pricings of nectars (with those with greater stability demanding higher prices). Knowing that the raw material of strawberry nectars can be so diverse, this study aimed to screen a large number of distinct strawberry samples for colour stability. Indicators of colour stability were compared to parameter measurements taken on day of production to see if any could be used as a predictive tool for colour stability.

Material und Methods

Strawberries: 118 different cultivars of strawberry (*Fragaria x ananassa*) were harvested fully ripe for processing in 2020 in Dresden (Germany), frozen, processed into puree after defrosting at 4°C and re-frozen. Additionally 51 samples of strawberries of different cultivars, ripeness points and harvest points were harvested from Lower Austria in 2021.
Nectars: 21 samples of strawberry nectar were supplied by an industrial producer of strawberry nectar. The nectars were produced in Austria from fresh strawberries in June-September 2021.
Nectar Production: Strawberries from Austria were defrosted for 24h at 20°C, and then processed into puree by a rotor mill with 1mm sieve (Feuma, Gößnitz, Germany). The frozen purees from Germany were defrosted for 24h at 4°C. Purees were mixed with water, citric acid and sugar to produce nectar (40% puree, 15 °Brix, 7.0 g/L Titratable Acidity) and homogenised with a hand blender (Philips, Drachten, Netherlands). 140g ± 1g of nectar was weighed into glass jars (212ml), sealed with a screw lid, and pasteurised (80°C 10 min) in a water bath (Westfalia, Hagen, Germany). Nectars were stored at 20°C ± 3°C in the dark.
Colour Measurments: CIELAB-system colour components L* (lightness), a* (red-green), and b* (yellow-blue) were measured by a Minolta CM-5 spectrophotometer (spectrophotometric method, D65, 30mm 10°, reflection measurement, gloss excluded, Minolta, Osaka, Japan,). C* (Chroma) and h° (hue angle) were calculated as previously reported. (KAMMERER et al. 2007) AF was calculated as previously reported (GÖSSINGER et al. 2009). All nectars were measured after pasteurisation on day of production. The samples from Germany were tested weekly, but only until they were below AF 0.4. Samples from Austria were measured weekly until the AF was below 0.4, but in order to gain statistical data they were tested at 4, 8, and 12 weeks even when below AF 0.4. Industrial samples were tested every 4 weeks for 36 weeks. Each sample was measured twice, in duplicate. The colour stability was quantified with different indictors of colour stability: AF04, AF08, AF12 is the AF at 4, 8 and 12 weeks. D04, D08 and D12 are the difference in AF between the day of production and 4, 8 and 12 weeks respectively

Results and Discussion

After 12 weeks the lab-scale samples were grouped according to their AFs, to give 6 distinct stability groups, shown in Table 1. Grouping was necessary because the samples from Germany were no longer tested once they reached AF < 0.4.

Table 1: **Showing the number of samples in each stability grouping, defined by the Acceptance Factor of the nectars during storage. Also shown are the average values L* after pasteurisation on day of production (L0), and the Stabilty Prediction Value (SPV). Different lower case letters (vertical) illustrate significant differences (p < 0.05)**

tability group number	Description	Number of Samples	L0	SPV
1	AF <0.4 after 4 weeks	9	33.28 ±3.16 a	0.82 ±0.37 a
2	AF <0.4 after 8 weeks	38	25.26 ±2.93 b	1.91 ±0.36 b
3	AF <0.4 after 12 weeks	35	23.07 ±2.79 b	2.48 ±0.51 c
4	AF 0.4 - 0.5 after 12 weeks	41	21.81 ±2.03 c	2.92 ±0.58 d
5	AF 0.5 - 0.6 after 12 weeks	32	20.82 ±2.01 d	3.22 ±0.47 e
6	AF >0.6 after 12 weeks	14	17.89 ±1.41 e	4.46 ±0.67 f

The initial value of L* (L0) had statistical significance between all groups except groups 2-3, as seen in Table 1. Those with the worst stabilities (AF < 0.4 before 4 weeks) had an average L0 value of 33.28 ±3.16, this compares with the most stable group (AF > 0.6 after 12 weeks) having an L0 value of 17.89 ±1.41. This suggested that L0 could be used as a predictor of colour stability. Simple linear regression was used to test if L0 significantly predicted D12. As seen in Figure 1 the fitted regression model was:

$$D12 = 0.024*L0 - 0.085 \qquad (1)$$

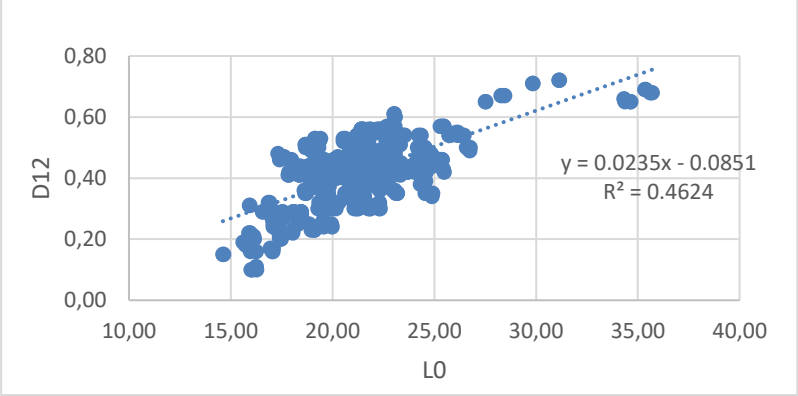


Figure 1: **Difference in Acceptance Factor between day of production and 12 weeks plotted against Initial Lightness L* Value (L0) for samples made at lab-scale. Regression coefficients were found to have p < 0.001. Person Correlation coefficients r = 0.699 (p < 0.01)**

The overall regression was statistically significant ($R^2 = 0.462$, $F(1, 534) = 459.352$, $p < 0.001$). It was found that L0 significantly predicted D12 ($\beta = 0.680$, $p < 0.001$). The regression coefficient ($B = 0.024$, 95% CI [0.021, 0.026]) indicated that increasing L0 by 1 increased D12 by 0.024.

While L0 was a good predictor of D12, it was a less good predictor of AF12, and so an equation was devised that could be used to predict AF after a set time, using only colour measurements (a* and b*) from day of production (a0 and b0) called the Stability Prediction Value (SPV):

$$\frac{a0^3}{L0^2 * b0} = Stability\ Prediction\ Value \quad (2)$$

As seen in Table 1, significant differences were found between all of the stability groups, and these were sequential, with the lowest stability groups having the lowest SPVs (Group 1: 0.82 ±0.37), and the highest stability groups having the highest SPVs (Group 6: 4.46 ±0.67). As seen in Figure 2 the regression equation of SPV with AF12 is:

AF12 = 0.116*SPV + 0.103 (3)

The overall regression was statistically significant (R^2 = 0.586, F(1, 534) = 754.87, p < 0.001). It was found that SPV significantly predicted AF12 (β = 0.765, p < 0.001). The regression coefficient (B = 0.116, 95% CI [0.108, 0.124]) indicated that increasing SPV by 1 increased AF12 by 0.116. The SPV is therefore a good predictive tool for predicting an AF after a set time.

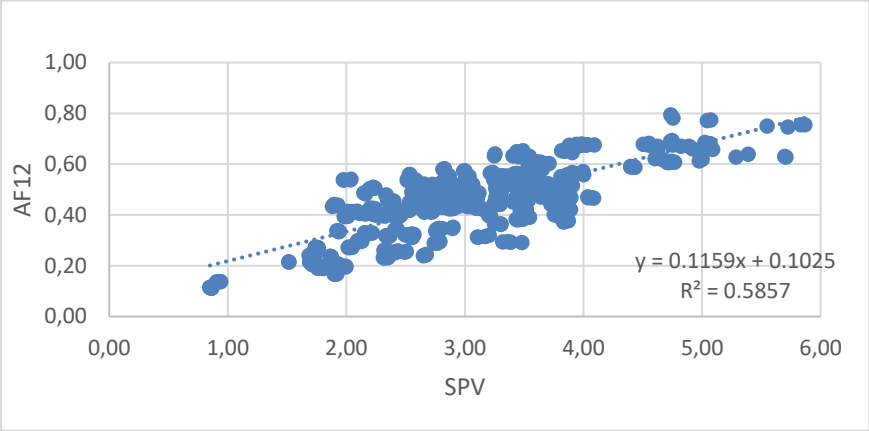


Figure 2: **Acceptance Factor after 12 weeks, plotted against Stability Prediction Value (SPV) for the samples produced at lab-scale. Regression coefficients had p < 0.001. Pearson correlation coefficients r = 0.765 (p > 0.01)**

In order to calculate a possible shelf life the SPV was compared to the number of days taken for the AF to fall below 0.5 (a point where nectars were considered unacceptable to many consumers) as this measurement was available for all but the samples that were below 0.5 on day of production (167 samples). The correlation coefficient of SPV with Days to 0.5 was 0.764 (p < 0.01). The relationship was non-linear and so the natural logs of both parameters allowed linear regression. As shown in Figure 3 the fitted regression model was:

ln(Days to 0.5) = 1.44*ln(SPV) + 2.76 (4)

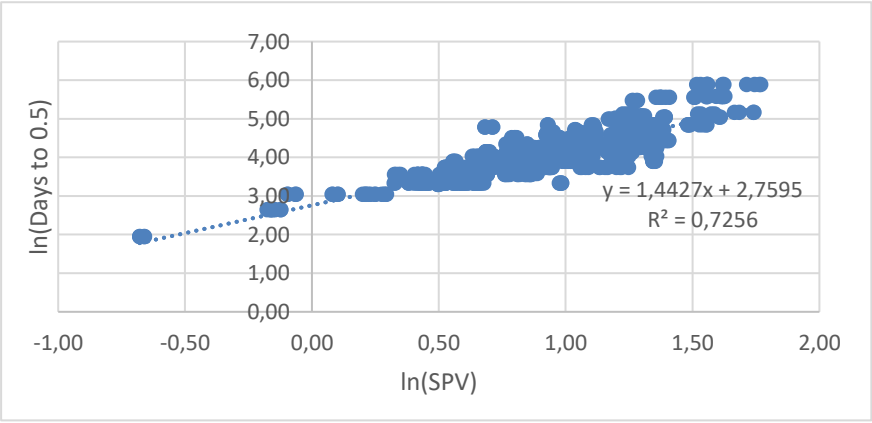


Figure 3: **Natural Log of Number of days taken for Acceptance Factor to fall below 0.5 at the natural log of different Stability Prediction Values (SPV) for the lab-based samples. Regression coefficients had p < 0.001**

The overall regression was statistically significant (R^2 = 0.726, F(1, 770) = 2036.6, p < 0.001). It was found that the natural log of the SPV significantly predicted the natural log of Days to AF 0.5 (β = 0.852, p < 0.001). The regression coefficient (B = 1.44, 95% CI [1.380, 1.506]) indicated a 10% increase in SPV increases the number of Days to AF 0.5 by 14.7%.

The SPV was also effective at predicting the stability of the industrial samples after 12 weeks, as shown in Figure 4. However, the regression equation for AF12 was very different to that the lab-scale study (Equation 2):

AF12 = 0.217*SPV + 0.296 (5)

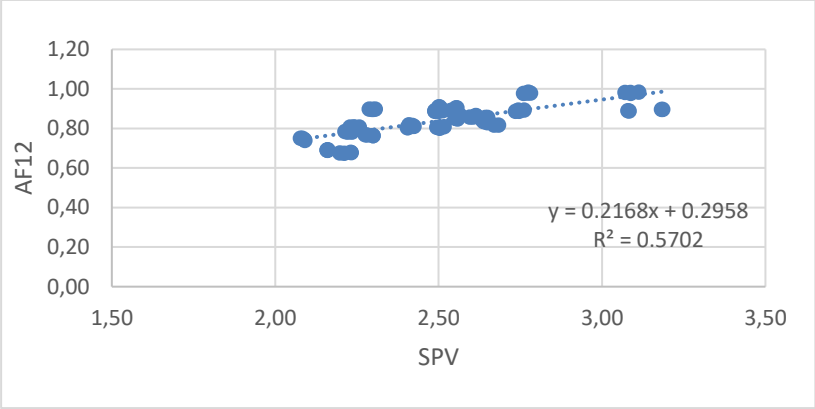


Figure 4: **Acceptance Factor after 12 weeks, plotted against Stability Prediction Value (SPV) for the samples produced at industrial scale. All regression coefficients p < 0.001. Pearson correlation coefficients r = 0.755 (p < 0.01)**

The overall regression was statistically significant (R^2 = 0.57, F(1, 82) = 108.790, p < 0.001). It was found that SPV significantly predicted AF12 (β = 0.755, p < 0.001). The regression coefficient (B = 0.217, 95% CI [0.175, 0.258]) indicated that increasing SPV by 1 increased AF12 by 0.217 – nearly double the value for the lab-scale samples.

While the data shows that the SPV is a good predictor for the AF after 12 weeks, with similar correlation and regression values to the lab-scale counterpart, the values of SPV are not interchangeable between these studies.

This disparity means that while the SPV is a useful tool to compare and rank those samples that have all been produced in the same way, the absolute values cannot be used to compare nectars made by different methods. Despite this SPV is still of use as a comparison tool – fruit processors and bottlers can demand higher prices for those nectars that are more stable and SPV can be used to screen raw materials to find which will be the most stable, and set pricing accordingly. It would also be of use to breeders who could use it to quickly screen potential colour stability of strawberry cultivars, to guide future breeding.

Zusammenfassung

Die Farbinstabilität von Erdbeernektaren stellt für Nektarhersteller und Einzelhändler ein großes Problem dar, da sie schnell eine Farbe annehmen, die für Verbraucher nicht mehr akzeptabel ist. Bislang gab es keine Möglichkeit vorherzusagen, welche Nektare farbstabil bleiben würden.

Durch die Bewertung der Farbstabilität von 169 Proben von Erdbeernektaren wurde ein Stability Prediction Value(SPV) entwickelt. Der SPV wird aus den Farbparametern L*, a* und b* eines Nektars am Tag der Herstellung berechnet, um eine Vorhersage darüber zu treffen, wie akzeptabel ein Nektar nach 12 Wochen für die Verbraucher sein wird. Er gibt auch ein Maß für die Haltbarkeit, indem er vorhersagt, wie lange ein Nektar über der Akzeptanzschwelle des Verbrauchers liegen wird.

Abstract

Colour instability of strawberry nectars cause a large problem for nectar producers and retailers, as they quickly degrade to a colour that is unacceptable to consumers. Until now there has been no way to predict which nectars would remain colour stable.

Through assessment of the colour stabilities of 169 samples of strawberry nectars, a Stability Prediction Value (SPV) was devised. The SPV is calculated from colour parameters L*, a* and b* of a nectar on day of production to give a prediction of how acceptable a nectar will be to consumers after 12 weeks. It also gives a measure of shelf-life by predicting how long a nectar will be above consumer acceptability threshold.

Acknowlegments

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Sklodowska-Curie grant agreement No 956257. With many thanks to Dr. Klaus Olbricht and Henning Wagner at Hansabred Verwaltungs GmbH for providing the 2020 samples.

Literature

MURRAY H, DIETL-SCHULLER C, LINDER M, KORNTHEUER K, HALBWIRTH H, GÖSSINGER M (2023) Prediction of the potential colour stability of strawberry nectar by use of a Stability Prediction Value (SPV). LWT, 173, 114233

GÖSSINGER M, MAYER F, RADOCHA N, HÖFLER M, BONER A, GROLL E, NOSKO E, BAUER R, BERGHOFER E, (2009) Consumer's color acceptance of strawberry nectars from puree. Journal of Sensory Studies, 24(1), 78–92.

KAMMERER D, SCHILLÖLLER S, MAIER O, SCHIEBER A, CARLE R (2007). Colour stability of canned strawberries using black carrot and elderberry juice concentrates as natural colourants. European Food Research and Technology, 224(6), 667–679.

Adressen der Autoren

[1] Department of Fruit Processing, Federal College and Institute for Viticulture and Pomology, A-3400 Klosterneuburg, Austria

[2] TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, A-1060 Vienna, Austria

[*] Speaker: Helen MURRAY, helen.murray@weinobst.at

Methanolmessung im Brennereibetrieb

Methanol measurement in distilleries

Monika Graf[1*], Andreas Schneider[1], Sezer Sari[1], Reinhard Baumann[1],
Martin Gutternigg[2], Manfred Gössinger[1]

Einleitung

Methanol ist ein natürlicher Bestandteil von Obstbränden. Es entsteht in der Obstmaische durch Spaltung des Pektins, welches als Gerüstsubstanz zur Formhaltung in den wasserreichen Früchten enthalten ist (EBERMANN und ELMADFA 2008, GLATTHAR et al. 2001). Dies geschieht durch fruchteigene bzw. zugesetzte Enzyme, die für die Maischeverflüssigung eingesetzt werden. Beim Brennvorgang wird Methanol wie Ethanol aus der Maische abdestilliert und im Feinbrand angereichert. Entgegen der weit verbreiteten Meinung, Methanol wäre mit dem Vorlauf abtrennbar, ist Methanol im gesamten Feinbrand zu finden. Bezogen auf den Ethanolgehalt steigt der Methanolgehalt im Feinbrand im Verlauf der Destillation sogar an (DÜRR et al. 2010, BRANDES und BAUMANN 2020). Obstarten mit hochverestertem Pektin, also Pektin, bei dem viele Methylgruppen zu finden sind, und hohem Pektingehalt in Kombination mit wenig Zucker, folglich wenig potentiellem Ethanol, ergeben daher Brände mit besonders hohem Methanolgehalt. Eine lange Maischelagerung vor der Destillation beeinflusst den Methanolgehalt ebenfalls ungünstig und lässt den Gehalt im Destillat ansteigen (GÖSSINGER et al. 2006). Auch Destillation unter vermindertem Druck, sogenannte Vakuumdestillation, erhöht den Methanolgehalt leicht (GRAF et al. 2020, BRANDES und BAUMANN 2020).
Für den menschlichen Organismus weist Methanol allerdings eine toxische Wirkung auf. Im Stoffwechsel wird Methanol durch Alkoholdehydrogenase und Aldehyddehydrogenase zu Formaldehyd und Ameisensäure metabolisiert, wodurch es in weiterer Folge zu metabolischer Azidose, lokalen toxischen Reaktionen und Organschädigung kommt. Akute Symptome sind Bauchschmerzen, Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, sowie Beeinträchtigung des Sehvermögens. Die durchschnittliche letale Dosis liegt etwa bei 100-250 ml. Abhängig von Körpergewicht und Allgemeinzustand können auch weniger als 30 ml beim Menschen tödlich sein (EBERMANN und ELMADFA 2008).
Es gibt daher gesetzlich vorgegebene Grenzwerte, die die Brennerinnen und Brenner einhalten müssen: Die Spirituosenverordnung (Verordnung (EU) 2019/787) gibt für Methanol im Obstbrand einen Höchstgehalt von 1000 g/hl r.A. vor. Für einige Ausnahmen gilt ein Höchstgehalt von 1200 g/hl r.A. (z.B. Äpfel, Marillen Zwetschken, Birnen) bzw. 1350 g/hl r.A. (z.B. Quitten, Wacholderbeeren, Birnen der Sorte „Williams“). Im Österreichischen Lebensmittelcodex Kapitel B23 über Spirituosen wird für manche Obstbrände ein Mindestgehalt an Methanol von 400 g/hl r.A. angegeben. Ein geringerer Wert deutet auf eine Verfälschung des Produktes hin.
Eine Analyse ist mittels Gaschromatographie und Flammenionisationsdetektor in eigens dafür eingerichteten Laboren möglich. Um den Methanolgehalt auch unmittelbar im Betrieb überprüfen zu können, wurde von der Schweizer Firma Alivion das Handmessgerät Alivion Spark M-20 entwickelt und 2022 auf den Markt gebracht. Dieses wurde an der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg auf seine Handhabbarkeit überprüft und die Messwerte mit jenen der Gaschromatographie verglichen.

Material und Methoden

Versuchsaufbau: Es wurden 30 Marillen- und 9 Zwetschkendestillate zur Untersuchung herangezogen. Alle Destillate wurden erst auf 40,0 %vol eingestellt und im Anschluss mit dem Handmessgerät Alivion Spark M-20 auf ihren Methanolgehalt überprüft. Zum Vergleich wurde eine Messung mittels Gaschromatographie und Flammenionisationsdetektor durchgeführt. Zur weiteren Methodenüberprüfung wurden 11 Destillate von der AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) ebenfalls mittels Gaschromatographie untersucht.
Durchführung mit Alivion Spark M-20: Da Temperaturschwankungen das Messergebnis beeinflussen, sollten vor Messbeginn Messgerät, Proben und Umgebungsluft die gleiche Temperatur (zwischen 15 und 30°C) haben. 15-30 min vor Messbeginn wird das Gerät eingeschaltet. Dann erfolgt eine 2-Punkt Kalibration mit den mitgelieferten Standards. Bei der Kalibration wie bei der Messung wird jeder Arbeitsschritt vom Gerät angezeigt. Für die Probenanalyse wird mit einer 2-ml-Plastikpipette das Destillat

auf das Füllmaterial in einem mitgelieferten Probengefäß aufgetragen. Das Probengefäß wird an der Unterseite des Gerätes eingeschraubt und am Gerät bestätigt. Es erfolgt die Probenentnahme durch das Gerät. Diese dauert durchschnittlich eine halbe Minute. Danach hat der Benutzer rund 10 Sekunden Zeit das Probengefäß zu entfernen und am Gerät zu bestätigen. Nach 1-3 Minuten Probenanalysedauer kann das Messergebnis am Display abgelesen und optional gespeichert werden. Die Angabe erfolgt in %vol und kann mittels Tabelle oder Formel in g/hl bzw. mg/100 ml Ethanol umgerechnet werden. Nach jeder Messung regeneriert/reinigt sich das Gerät automatisch. Die Regenerationszeit variiert zwischen einigen Sekunden und mehreren Minuten.

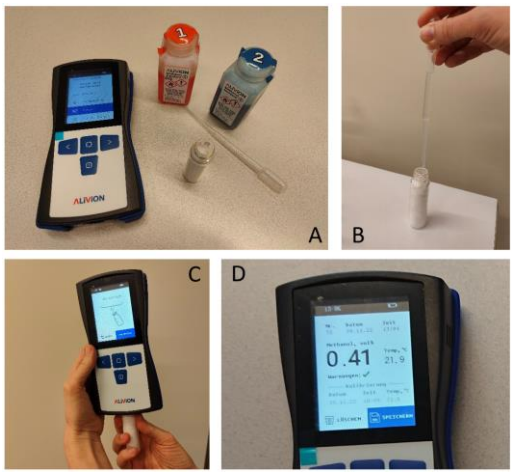


Abbildung 25: **Durchführung der Methanolmessung mit dem Alivion Spark M-20. A: Handmessgerät mit Kalibrationsstandards, Probengefäß und Pipette, B: Probenvorbereitung, C: Einschrauben des Probengefäßes zur Probenentnahme, D: Anzeige des Messergebnisses in %vol**

Ergebnisse und Diskussion

Die Handhabung des Gerätes und Durchführung der Messung ist sehr einfach und selbsterklärend. Somit können nicht nur gut ausgebildete Labormitarbeiter die Messung durchführen, sondern auch Mitarbeiter in der Produktion etc. Auch in Bezug auf die Messzeit inklusive Kalibration liegt das Alvion Spark M-20 gegenüber der Gaschromatographie im Vorteil.
Wichtig ist die Einhaltung einer konstanten Temperatur während Kalibration und Messung. Kommt es zu Temperaturschwankungen, muss das Alivion Spark M-20 neu kalibriert werden. Auch die Kontamination der Umgebungsluft muss vermieden werden. Befinden sich die Proben in Gefäßen, die bereits mehrere Liter fassen, sollte die Probenahme mit entsprechendem Abstand zum Messgerät erfolgen. Bei Kontamination erscheint eine Fehlermeldung am Display. Bei einem Raumwechsel erlischt zwar diese Fehlermeldung, eine erneute Kalibration ist dennoch notwendig um genaue Messergebnisse zu gewährleisten.
Für die Probenahme werden vom Hersteller Einweg-Plastikpipetten zur Verfügung gestellt. Diese erfordern etwas Übung in der Anwendung. Bei präziser Arbeitsweise können damit jedoch sehr genaue Ergebnisse erzielt werden.
Auffallend ist das laute Geräusch, das vom Alivion Spark M-20 nach dem Einschalten, während der Messung und der Regeneration ausgeht. Es kommt von der Pumpe im Inneren des Geräts. Bei der Durchführung von mehreren Messungen empfiehlt es sich daher während der Mess- und Regenerationsvorgänge einen Abstand zum Gerät einzunehmen.
Zu beachten ist, dass während des Ladevorganges keine Messung möglich ist. Dies ist bei einer großen Anzahl an Messungen relevant. Der Akku hält grundsätzlich jedoch sehr lange und bei entsprechender Planung kann der Ladevorgang leicht zwischen den Messungen stattfinden.
Die Wiederholbarkeit der Messergebnisse ist sehr gut: Die Schwankungsbreite der Messergebnisse lag bei maximal ± 7,8 % vom Mittelwert, durchschnittlich wichen die Messergebnisse nur 2,5 % vom Mittelwert ab. Die gemessenen Werte lagen dabei alle im gesetzlich vorgegebenen Bereich. Verglichen mit

der Analyse mittels Gaschromatographie waren die Werte vom Spark M-20 um 2,5 % höher. Die durchschnittliche Differenz zur GC Analyse lag bei lediglich 4,4 %. Die Analysen durch die AGES bestätigten die Ergebnisse dieses Versuchs.

Zusammenfassung

Methanol ist ein natürlicher Bestandteil von Obstbränden. Allerdings weist es für den menschlichen Organismus eine toxische Wirkung auf. Es gibt daher gesetzlich vorgegebene Grenzwerte, die die Brennerinnen und Brenner einhalten müssen. Eine Analyse ist mittels Gaschromatographie in eigens dafür eingerichteten Laboren möglich. Um den Methanolgehalt auch unmittelbar im Betrieb überprüfen zu können, wurde von einer Schweizer Firma ein Handmessgerät entwickelt und auf den Markt gebracht. Dieses wurde an der HBLA und BA Klosterneuburg auf seine Handhabbarkeit überprüft und die Messwerte mit jenen der Gaschromatographie verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Alivion Spark M-20 eine schnelle und einfache Messung des Methanolgehaltes im Brennereibetrieb ermöglicht und eine gute Alternative zur Gaschromatographie darstellt. Durch die vermehrten Kontrollen des Methanolgehaltes, die dadurch möglich sind, wird eine höhere Sicherheit für den Konsumenten gewährleistet.

Abstract

Methanol is a natural ingredient in fruit distillates. However, it shows a toxic impact on the human body. There are legal limits the distillers must comply with. An analysis is possible by gas chromatography in specially equipped laboratories. In order to be able to test the methanol content directly in the distillery, a Swiss company developed and launched a portable measuring instrument. This was tested at the HBLA and BA Klosterneuburg for its manageability. The measured values were compared to those of the gas chromatography. The results show that the Alivion Spark M-20 allows a fast and easy measurement of the methanol content in distilleries, and represents a good alternative to gas chromatography. Due to the increased monitoring of the methanol content, which is thereby possible, a higher level of safety is provided for the consumer.

Literatur

BRANDES W, BAUMANN R (2020): Untersuchung unterschiedlicher Obstbrände auf ausgewählte im Codex B23 festgelegte Grenzwerte mit Schwerpunkt auf Gesamtester und Furfural. Mitteilungen Klosterneuburg 70:188-197.

DÜRR P, SCHOLTEN G, HAGMANN K, GÖSSINGER M, ALBRECHT W, PULVER D (2010): Technologie der Obstbrennerei. Verlag Eugen Ulmer, 3. Auflage.

EBERMANN R, ELMADFA (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie und Ernährung. Springer-Verlag/Wien.

GLATTHAR J, SENN T, PIEPER H (2001): Investigations on reducing the methanol content in distilled spirits made of Bartlett pears. Dt. Lebensmittelrundschau 97(6):209-216.

GÖSSINGER M, KRAPFENBAUER G, SÄMANN H, HICK S, KARNER M (2006): Einfluss verschiedener Parameter während der Einmaischung und Gärung auf die Methanolgehalte in Obstmaischen. Mitteilungen Klosterneuburg 56: 46-53.

GRAF M, GÖLLES D, MACHHOLZ T, KUENZ F, BRANDES W, BAUMANN R, JÄGER H, GÖSSINGER M (2020): Einfluss von Vakuumdestillation auf sensorische und analytische Parameter von Obstbränden. Mitteilungen Klosterneuburg 70: 157-187.

Adressen der Autoren

[1] HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg

[2] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Lebensmittelsicherheit, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

[*] Ansprechpartnerin: Mag. Monika GRAF, monika.graf@weinobst.at

Herstellung von Apfel-PetNat

Production of apple-PetNat

Manfred Gössinger*, Anna Altenriederer, Hannah Schöninger, Ulrich Gantschnigg

Einleitung

Ein Getränk, das durch Abfüllung in die Flasche im Zuge der ersten Fermentation auf natürliche Weise karbonisiert wird, wird als PetNat (Pètillant Naturel – „natürlich perlend“) bezeichnet. Diese ursprüngliche Form der Schaumweinherstellung gewinnt in den letzten Jahren wieder an Bedeutung. Auf Grund der Tatsache, dass PetNat nicht im Weingesetz geregelt ist, gibt es unterschiedliche Produkte auf dem Markt – zum Teil spontan bzw. mit Reinzuchthefe vergoren, trüb bzw. geklärt, nicht bzw. degoriert, nicht bzw. ohne Schwefelung mit unterschiedlichen Drücken in der Flasche.
In der Praxis zeigt sich bei diesen Produkten jedoch immer das Problem des Gushings, dem unkontrollierten Ausströmen des Produktes nach dem Öffnen der Flasche.
In dieser Arbeit wurde untersucht inwieweit ausgesuchte Parameter im Zuge des Herstellungsprozesses das Gushing-Verhalten sowie die sensorischen Parameter von Apfel-PetNat beeinflussen.

Material und Methoden

Rohware: Für den Versuch wurden 2000 kg Äpfel (Sorte *Jonagold*) vom Versuchsgut Haschhof der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg verwendet.
Versuchsplan: Es wurden PetNats anhand drei 2^2- faktorieller Versuchspläne (VP) in dreifacher Wiederholung hergestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1: **Versuchsaufbau (Faktoren der drei 2^2-faktoriellen Versuchspläne)**

Versuchs-plan	Parameter	Stufen
VP1	Reinzuchthefe	ohne (-) (spontan)
		mit (+)
	Saftklärung	ohne (-) (trüb)
		mit (+)
VP2	Wasserzusatz	ohne (-)
		mit (+)
	Druck	2 bar (-)
		4 bar (+)
VP3	Degorgieren	ohne (-)
		mit (+)
	Druck	2 bar (-)
		4 bar (+)

Verarbeitung: Die Herstellung der PetNats erfolgte im November 2022 im Technikum der Abteilung Obstverarbeitung der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg. Die Äpfel wurden sortiert, gewaschen, zerkleinert und gepresst. Der Saft wurde zum Teil geklärt (enzymiert (Fructozym, 20 ml/hl), Bentonit (NaCalit, 2 g/l), zum Teil mit Reinzuchthefe (Oenoferm Freddo, 25 g/hl) versetzt und je 30 Liter in 36 l Glasballons gefüllt. Ein Teil wurde mit 33% Wasser versetzt. Die Gärtemperatur wurde mittels Gärsteuerung (Vin Pilot WFT-Weintechnologie) bei ca. 17 °C gehalten. Um den gewünschten Druck in der Flasche zu erreichen, wurden die Varianten bei ca. 10 g/l (2 bar) bzw. ca. 20 g/l (4 bar) Zucker in Sektflaschen abgefüllt, mit Kronenkork verschlossen und bei 20 °C fertig vergoren. Ein Teil der Flaschen wurde nach der Gärung degorgiert (halbautomatische Degorgiermaschine TDD Grilliat).

Zuckerbestimmung: Der Zuckergehalt (Saccharose, D-Glucose, D-Fructose) wurde mittels Konelab 20 Analyser (enzymatisch – R-Biopharm AG) bestimmt. Begleidend wurde der Zuckergehalt auch mittels Rebelein-Methode bestimmt bzw. mittels Refraktometer während der Gärung die lösliche Trockensubstanz ermittelt.
PetNat Analysen: Wichtige Parameter (Alkoholgehalt, Zucker, Titirerbare Säure, Äpfelsäure, Milchsäure, Flüchtige Säure, Dichte) der fertigen PetNats wurden mittels FTIR Spectrometer (FOSS WineScan) durchgeführt.
Druckmessung: Der Druck in den Flaschen wurde mittels Aphrometer bestimmt.
Gushing-Verhalten: Zur Beurteilung des Gushing-Verhaltens der Varianten wurden die Flaschen auf 4 °C gekühlt, abgewogen, danach geöffnet und nach einigen Minuten wieder gewogen. Das Differenzgewicht gibt die Menge in g Flüssigkeit an, die beim Öffnen ausgetreten ist.
Sensorische Analyse: Die Verkostung der PetNats erfolgte im Jänner 2023 mittels unstrukturierter Skala mit 6 geschulten Kostern hinsichtlich der Parameter Sauberkeit, Mousseux, Zucker/Säure-Verhältnis und Gesamturteil.

Ergebnisse und Diskussion

Die Gärung der PetNats erfolgte problemlos. Nur die geklärte Spontan-Variante zeigte einen verzögerten Gärbeginn. Die Zuckerbestimmung der Moste während der Gärung stellte jedoch ein Problem dar. Anfangs wurden die Zuckeranalysen nasschemisch nach Rebelein (mit Inversion) durchgeführt und mit den Daten von FTIR, Refraktometer und mit denen mittels Konelab (enzymatisch) verglichen. Dabei stellte sich heraus, dass die Werte nicht übereinstimmten. Es wurden daher folgend nur noch die enzymatischen Zuckeranalysen mittels Konelab durchgführt. Die Ergebnisse der Druckanalysen nach der Gärung zeigten jedoch nicht die erwarteten Ergebnisse. Die Drücke in den Flaschen lagen zwischen 3,3 und 7,1 bar. Der Grund für die großen Abweichungen der Drücke von den gewünschten Drücken konnte nicht gefunden werden. Die Ergebnisse sind mit der bekannten Umrechnung (4 g/l Zucker pro bar) nicht nachzuvollziehen. Dies bestätigte, dass bei Obstweinen die Zuckerbestimmung während der Gärung mittels FTIR auf Grund der fehlenden Referenzwerte wie erwartet nicht zu belastbaren Ergebnissen führte. Auch die Werte der enzymatischen Bestimmung der Zucker passten nicht mit den gemessenen Drücken in der Flasche zusammen. Dies könnte entweder an der Matrix der Obstweine vs. Weine liegen bzw. an einer fehlerhaften Druckmessung (Füllungsgrad der Flaschen). Die gemessenen °Oe mittels Refraktometer (WEISS und GÖSSINGER, 2014) während der Gärung (20-25 °Oe zum Zeitpunkt der Abfüllung) passten nämlich eher zu den Werten der enzymatischen Zuckerbestimmung und erklären auch nicht die hohen Drücke in der Flasche.
Gushing: Die Gushing-Analysen ergaben, dass sich ein geringer Trübungsgrad vor der Gärung (Entschleimung), ein geringerer Druck in der Flasche als auch das Degorgieren sich signifikant positiv auf das Gushing-Verhalten (geringeres Gushing) auswirkten. Signifikante Effekte zeigten die Parameter Saftklärung in VP1, Wasserzusatz und die Wechselwirkung Wasserzusatz und Druck in VP2 sowie das Degorgieren in VP3 (Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: **Effektberechnung – Gushing-Verhalten bei VP1 (y1), VP2 (y2) und VP3 (y3)**

Planmatrix			**Matrix der unabhängigen Variablen**				**Antwortmatrix**		
Variable / Versuchsnr.	A	B	T	A	B	AB	y1	y2	y3
	-	-	1	-1	-1	1	376,4	69,1	30,3
	+	-	1	1	-1	-1	275,7	3,9	3,0
	-	+	1	-1	1	-1	16,8	33,3	36,1
	+	+	1	1	1	1	19,1	20,4	6,4
Effektmatrix			172,0	-49,2	-308,1	51,6			
			31,7	-39,1	-9,6	26,2			
			19,0	-28,5	4,6	-1,2			

Tabelle 3: **Signifikanzprüfung - Gushing von VP1 (Wert 1), VP2 (Wert 2) und VP3 (Wert 3)**

Stufe	t Werte	S d	für Wert 1	für Wert 2	für Wert 3
95%	2,31	65,0095	149,9	16,5	15,7
99%	3,36	7,1518	218,1	24,0	22,8
99,90%	5,04	6,7896	327,7	36,1	34,2

Sensorische Analyse: Die Verkostung der PetNats ergab, dass die spontan vergorenen, geklärten Varianten sowie PetNats mit höherem Alkoholgehalt und geringerem Druck besser beurteilt wurden.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Parameter Reinzuchthefe, Saftklärung, Alkoholgehalt, Druck und Degorgieren auf das Gushing und sensorische Parameter von PetNats aus Apfel der Sorte *Jonagold* untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Saftklärung vor der Gärung sowie ein geringerer Druck in der Flasche und das Degorgieren sich negativ auf das Gushing-Verhalten (geringeres Gushing) auswirken.
Die sensorische Analyse der PetNats ergab, dass die entschleimten spontan vergorenen Varianten ohne Wasserzusatz (höherer Alkoholgehalt) sowie jene mit geringeren Drücken von den Kostern besser beurteilt wurden. Hinsichtlich der Bestimmung des optimalen Abfüllzeitpunktes für den gewünschten Druck in der Flasche wurde evident, dass es für Obstweine (im Gegensatz zu Trauben-Weinen) noch keine geeignete und rasche Methode zur Bestimmung des Zuckergehaltes gibt.

Abstract

In this study the effects of the use of selected yeasts, clarification of the juice before fermentation, alcohol content, pressure and disgorgement on the gushing behaviour and sensory parameters of PetNats made from apples (variety *Jonagold*) were tested. Results show that clarification of the juice before fermentation as well as a lower pressure and disgorgement have a negative effect (less gushing) on the gushing behaviour. The analysis of the sensory parameters of the PetNats showed that clarified variants without selected yeasts and water addition (higher alcohol content) as well as lower pressure in the bottles were judged better by the panel. It was evident that a reliable and rapid method to analyse sugars in a fermenting fruit wine (as it exists in grape wine) is missing in order to determine the correct filling time for the desired pressure in the bottle.

Literatur

WEISS D. und GÖSSINGER M. (2014): Einfluss der Gehalte von Zucker und Säure auf die Refraktion von Apfelmost während der Gärung. Mitteilungen Klosterneuburg 64, 129 – 136
ALTENRIEDERER A, SCHÖNINGER H. und GANTSCHNIGG U. (2023): Herstellung eines Obst PetNat. Diplomarbeit an der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg

Adresse der Autoren

HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg, Wienerstraße 74, A-3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Prof. HR DI Dr. Manfred GÖSSINGER, manfred.goessinger@weinobst.at

Aktuelle Möglichkeiten des Einsatzes von Ionentauschern in der Weinbereitung

Current uses of ion exchangers in winemaking

Harald Scheiblhofer, Christoph Detz, Michael Winkler, Michael Hecher, Jonas Kerninger, Nikolaus Zemanek Elsa Patzl-Fischerleitner, Christian Phillip*

Zusammenfassung

Diese Arbeit konnte zeigen, dass Kationenaustauscher in der Lage sind Weinsteinstabilität bei Weiß- sowie Rotwein zu generieren und den pH-Wert zu senken und Anionenaustauscher angewendet werden können, um den Säuregehalt bei Weiß- und Rotwein zu reduzieren. Mögliche geschmackliche Beeinträchtigungen durch die Harze müssen aber noch genauer untersucht werden.

Abstract

This scientific work was able to show, that cation exchangers are able to generate tartar stability in white and red wine and to lower the pH value and that anion exchangers can be used to reduce the acidity in white and red wine. However, possible taste impairments caused by the resins must be examined more closely.

Problemstellung

Das Kriterium der Authentizität bei Weinen gewinnt bei Kunden heutzutage immer mehr an Bedeutung. Auf Grund dessen, ist der Zusatz von Additiven in Verruf geraten. Daher wird in der modernen Weinbereitung immer mehr an neuen Methoden geforscht, welche den Gebrauch von Zusatzstoffen ersetzen. Eine dieser neuartigen Möglichkeiten bietet der Ionentauscher, welcher bis heute in der österreichischen Weinbereitung jedoch nicht Fuß fassen konnte. Aus diesem Grund beschäftigt sich diese Arbeit mit den aktuellen Anwendungsmöglichkeiten von Kationen- sowie Anionentauschern bei Weiß- und Rotwein. Der Schwerpunkt der Arbeit soll auch die praktischen Möglichkeiten für Klein- und Mittelbetriebe auszuloten, die sich keine teuren Anlagen leisten können und eher auf das Prinzip „build your own device", also das „Zusammenbauen“ von einfachen Anlagen mit wenig (Geld)-Aufwand, setzen.

Material und Methoden

Weinsteinstabilisierung mittels Kationentauscher bei Weiß- und Rotwein:
Weißwein der Sorte Weißburgunder Jahrgang 2022
Rotweincuvee Jahrgang 2021
Kationentauscher samt Kationentauscherharz

Säurereduktion mittels Anionentauscher :
Weißwein der Sorte Grüner Veltliner Jahrgang 2021
Rotweincuvee Jahrgang 2021
Anionentauscher und Anionentauscherharz
Umkehrosmose (KH TEC VinOsmo RO)
NANO7 Membran,
ESPA1 Membran

Versuchsaufbau

Weinsteinstabilisierung mittels Kationentauscher bei Weiß- und Rotwein:
Für die Versuche mit dem Kationenaustauscher wurde der Wein direkt über den Ionentausauscher geschickt.
Säurereduktion mittels Anionentauscher
Zur Reduktion der Säuren im Wein mittels Anionentauscher wurden zwei Techniken kombiniert. Zuerst wurde ein Permeat aus den Weinen mittels Umkehrosmose bzw. Ultrafiltration gewonnen, dessen Säuregehalt anschließend per Anionentauscher reduziert wurde. Das Permeat wurde danach in einem weiteren Schritt mit dem Wein in verschiedenen Konzentrationen rückverschnitten. Die zweite Möglichkeit bestand darin, die Weine direkt mit dem Anionentauscher zu behandeln. Der Vorteil der Methode mit Permeatherstellung stellt die Möglichkeit der Wahl einer Membran mit gewünschter Selektivität dar, zur Reduktion von einzelnen Säuren z. B. nur Essigsäure, oder einer aromaschonenden Abtrennung von Weinsäure und Äpfelsäure. Allerdings ist diese Methode deutlich komplexer als eine direkte Behandlung.

Ergebnisse und Diskussion

Weinsteinstabilisierung mittels Kationentauscher bei Weiß- und Rotwein:

In den nachstehenden Tabellen sind der Kalium- sowie der Kalziumgehalt und die Weinsteinsättigungstemperatur inklusive einer visuellen qualitativen Bewertung der Weinsteinstabilität bei Weiß- und Rotwein für verschiedene Verschnitte des Ausgangsweines mit dem entionisierten Wein dargestellt. In Tabelle 1 (Rotwein) ist zu sehen, dass der Kalium- und Kalziumgehalt bei jedem „Verdünnungsschritt“ abnehmen. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass erst bei der Probe RR 7 Weinsteinstabilität erreicht. Bei Tabelle 2 (Weißwein) ist ebenfalls eine Reduktion des Kalium- und Kalziumgehaltes bei jedem „Verdünnungsschritt“ zu verzeichnen, jedoch konnte hier schon bei Probe WW 4 kein Weinsteinausfall festgestellt werden. Für die Praxis bedeutet das, dass der Kationentauscher ein wirksames Gerät ist, um Weinsteinstabilität bei Weiß- sowie Rotwein zu erzeugen.

Tabelle 1: **Analysenergebnisse Rotwein**
RR 0 = unbehandelter Wein, RR 10 = behandelter Wein. RR 1 = 10% Verschnitt mit behandeltem Wein, RR 20 = 20 % behandelter Wein,…; n.n. = nicht nachweisbar

Probenbezeichnung	Kaliumgehalt mg/L	Kalziumgehalt mg/L	Weinsteinsättigungstemperatur °C	Weinsteinausfall
RR 0	1600	57	23,9	JA
RR 1	1435	54	23,6	JA
RR 2	1284	48	24,2	JA
RR 3	1126	<43	23,6	JA
RR 4	972	<43	23,2	JA
RR 5	820	<43	19,8	JA
RR 6	660	n.n.	15,1	JA
RR 7	495	n.n.	11,1	NEIN
RR 8	342	n.n.	10,4	NEIN
RR 9	181	n.n.	16,3	NEIN
RR 10	n.n.	n.n.	31,5	NEIN

Tabelle 2: **Analysenergebnisse Weißwein**
WW 0 = unbehandelter Wein, WW 10 = behandelter Wein. WW 1 = 10% Verschnitt mit behandeltem Wein, WW 20 = 20 % behandelter Wein,…; n.n. = nicht nachweisbar

Probenbe-zeichnung	Kaliumgehalt in mg/L	Kalziumgehalt in mg/L	Weinsteinsättigungs-temperatur in °C	Weinstein-ausfall
WW 0	673	62	20,4	JA
WW 1	616	60	17,9	JA
WW 2	554	50	15,6	JA
WW 3	489	48	13,0	JA
WW 4	421	<43	11,3	NEIN
WW 5	362	<43	10,0	NEIN
WW 6	291	<43	9,6	NEIN
WW 7	217	<43	11,2	NEIN
WW 8	148	n.n.	14,5	NEIN
WW 9	n.n	n.n.	21,4	NEIN
WW 10	n.n.	n.n.	30,3	NEIN

Säurereduktion mittels Anionentauscher

Die Reduktion der Säure bei der direkten Weinbehandlung und bei der Behandlung von Permeaten funktionierte gut, wobei in der Praxis jeweils nur eine Teilmenge behandelt werden sollte, da sonst eine Reduktion auf einen für Qualitätswein unzulässigen Gehalt an Säure stattfinden würde. Die Abtrennung von verschiedenen Säuren mittels Umkehrosmose ist ebenfalls praktikabel. Allerdings kam es zu Geschmacks- und Geruchsveränderungen durch das Harz. In den Tabellen 3 und 4 sind einige Ergebnisse dieser Versuche dargestellt.

Tabelle 3: **Analysenergebnisse der Weine vor, nach einmaliger und zweimaliger Behandlung; n.n. = nicht nachweisbar**

Bezeichnung	Titrierbare Säure berechnet als Weinsäure g/L	pH-Wert	Weinsäure g/L	L-Äpfel-säure g/L	Essigsäure g/L
SV Nullprobe	5,26	3,76	2,4	< 0.2	0,7
SV 1x	2,19	4,52	0,7	0,3	0,7
SV 2x	1,0	5,06	n.n.	0,3	0,7
GV Nullprobe	5,90	3,26	3,2	1,8	0,3
GV 1x	0,88	4,84	0,6	0,5	0,4
GV 2x	n.n.	6,18	n.n.	<0,2	0,5

Tabelle 4: **Analysenergebnisse der Permeate vor, nach einmaliger und zweimaliger Behandlung; n.n. = nicht nachweisbar**

Bezeichnung	Titrierbare Säure berechnet als Weinsäure g/L	pH-Wert	Wein-säure g/L	L-Äpfel-säure g/L	Essig-säure g/L
ESPA 1 GV	1,5	3,50	n.n.	0,5	0,3
ESPA 1 GV 1x	n.n.	7,08	n.n.	n.n.	< 0,1
ESPA 1 GV 2x	n.n.	7,15	n.n.	n.n.	0,1
NANO 7 GV	3,4	3,08	1,1	1,2	0,3
NANO 7 GV 1x	n.n.	6,48	n.n.	n.n.	0,1
NANO 7 GV 2x	n.n.	6,52	n.n.	n.n.	0,1
NANO 7 SV rot	2,1	3,76	n.n.	n.n.	1,0
NANO 7 SV rot 1x	0,1	5,47	n.n.	n.n.	0,4
NANO 7 SV rot 2x	0,1	5,48	n.n.	n.n.	0,4

Abbildung: **(„build your own“) Ionentauscher und Umkehrosmose- bzw. Ultrafiltrationsanlage**

Adresse der Autoren

HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg
Ansprechpartner:
Prof. Dipl.-Ing. Harald Scheiblhofer
Abteilungsleiter Kellerwirtschaft
Mobil +43 664 3126624
Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg
Büro: Agnesstraße 60, 3400 Klosterneuburg
harald.scheiblhofer@weinobst.at www.weinobstklosterneuburg.at
Eine Einrichtung des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Reduktion von SO_2 und Unterdrückung von unerwünschten Mikroorganismen durch den Einsatz von Metschnikowia-Hefen und Chitosan

Reduction of SO_2 and inhibition of undesirable microorganisms through the use of Metschnikowia yeast and chitosan

Harald Scheiblhofer, Christoph Detz, Michael Winkler, Magdalena Wetschka, Michael Buchmayer, Josef Lobner, Elsa Patzl-Fischerleitner, Christian Philipp*

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Möglichkeiten der Reduktion von SO_2 und Unterdrückung von unerwünschten Mikroorganismen mit Hilfe von „LEVEL2 InitiaTM“ (Metschnikowia pullcherima Präparat) und Chitosan (Chitin-Präparat) zu untersuchen. Bei den Metschnikowia-Versuchen bei Grüner Veltliner konnte durch die Zugabe von LEVEL2 InitiaTM ein positiver Einfluss festgestellt werden. Bei den spontan und mittels Reinzuchthefe vergorenen Proben bei Grüner Veltliner waren jeweils die Varianten mit Zugabe des Metschnikowia Pulcherrima-Präparats die mit den höchsten freien und geringsten gebundenen SO_2 Werten. Der Chitosan Versuch zeigte, dass Chitosan keinen oder sogar einen negativen Einfluss auf den freien SO_2-Gehalt hat. Der Grund dafür dürfte aber sein, dass Chitosan den biologischen Säureabbau verhindert und mehr Acetaldehyd als SO_2 Bindungspartner übrigbleibt und somit auch weniger freies SO_2. Dadurch kann man einen generellen positiven Effekt auf die Unterdrückung unerwünschter Mikroorganismen ableiten. Grüner Veltliner und Pinot Noir mit LEVEL2 InitiaTM schnitten sowohl spontan als auch mit Reinzuchthefezugabe vergoren bei der Verkostung signifikant am besten ab.

Abstract

The aim of this study was to investigate the possibilities of reducing SO_2 and suppressing undesirable microorganisms by using "LEVEL2 InitiaTM" (Metschnikowia pullcherima preparation) and chitosan (chitin preparation). In the Metschnikowia trials in Grüner Veltliner, a positive effect was observed by the addition of LEVEL2 InitiaTM. In the samples of Grüner Veltliner fermented spontaneously and by means of pure yeast, the variants with the addition of the Metschnikowia Pulcherrima preparation were in each case those with the highest free and lowest bound SO_2 values. The chitosan experiment showed that chitosan has no or even a negative influence on the free SO_2 content. However, chitosan prevents malolactic fermentation and thus more acetaldehyde remains and less free SO_2. Thererfore, a positive effect on undesirable microorganisms can be concluded. Grüner Veltliner and Pinot Noir with LEVEL2 InitiaTM performed significantly best in the tasting, both spontaneously and with the addition of pure yeast.

Problemstellung

Konsumenten- und marktbedingt steht die Weinbranche vor einer neuen Herausforderung. Die Nachfrage an „schwefelreduzierten“ oder sogar „schwefelfreien“ Weinen steigt immer mehr und der Druck auf die Winzer wird größer. Der Klimawandel und damit verbundene höhere pH-Werte führen zu Problemen mit unerwünschten Mikroorganismen. Der Trend hin zu naturbelassenen Weinen mit wenig Zusatzstoffen macht auch Probleme bei der Kontrolle unerwünschter Mikrooganismen dieses Thema weiter befeuert. Daher sind Alterativen zur bisherigen „Wunderwaffe“ SO_2 gefragt, um weiterhin Produkte zu erzeugen, die den veränderten Anforderungen der Konsumenten genügen.

Material und Methoden

Für den Weißweinversuch wurden Trauben der Sorte Grüner Veltliner und für den Rotweinversuch Trauben der Sorte Pinot Noir verwendet. Die „Spezialzusatzstoffe“ bei der Gärung waren einerseits die Nicht-Saccharomyces-Hefe LEVEL2 InitiaTM der Firma Lallemand und andererseits das Chitinpräparat Chitosan der Firma Enartis.

Mittels Gene Disc Analysen der Firma Pall auf dem Prinzip der „Real Time Polymerase Chain Reaction" wurden die Hefen in den Proben detektiert. Es konnten die Gesamtzellzahl der vorhandenen Hefen sowie die unterschiedlichen Hefestämme untersucht werden. Außerdem wurden FTIR-Analysen zur Bestimmung sämtlicher Parameter im Wein eingesetzt. Mittels statistischer Tests wurde bestimmt ob, und es zwischen den Proben signifikante Unterschiede gibt.

Versuchsaufbau

In Abbildung 1 ist der Versuchsaufbau dargestellt.

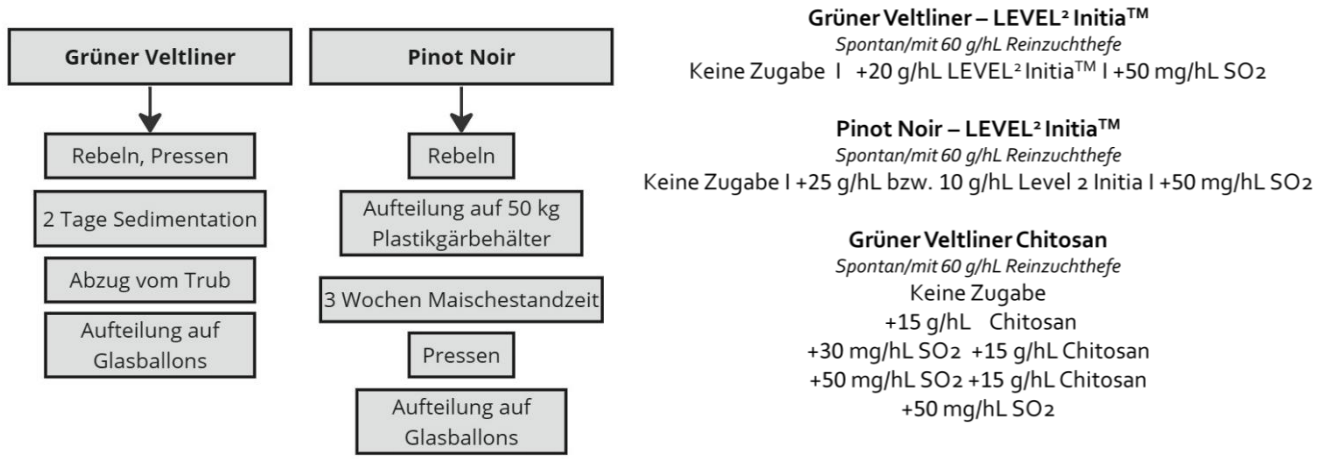


Abbildung 1: **Versuchsaufbau**

Ergebnisse und Diskussion

Hier die wichtigsten Ergebnisse im Überblick:

- LEVEL2 InitiaTM bei Grüner Veltliner (Weißwein) ergab bessere Ergebnisse als bei Pinot Noir
- Grüner Veltliner Proben, spontan und mittels Reinzuchthefe vergoren, mit LEVEL2InitiaTM Zugabe zeigten die höchsten freien SO2-Werte (Abbildung 2)
- Der Chitosan-Versuch zeigte keinen oder sogar einen unerwünschten Einfluss auf den freien SO_2-Gehalt. Grund dürfte hier aber die Unterdrückung des biologischen Äpfelsäureabbaues sein
- PCR und FTIR-Ergebnissen zufolge unterdrückt Chitosan Mikroorganismen und verhindert den biologischen Äpfelsäureabbau
- Grüner Veltliner und Pinot Noir mit LEVEL2 InitiaTM-Zugabe schnitten bei der Verkostung signifikant besser ab
- Signifikanter Unterschied bei freiem SO_2 zwischen Proben "ohne Zugabe von SO2/nix" und "Initia" bei Pinot Noir
- Kein Auftreten von Candida spp. (häufig auftretende „Wilde Hefe") bei spontaner Variante Pinot Noir mit LEVEL2 InitiaTM Zugabe

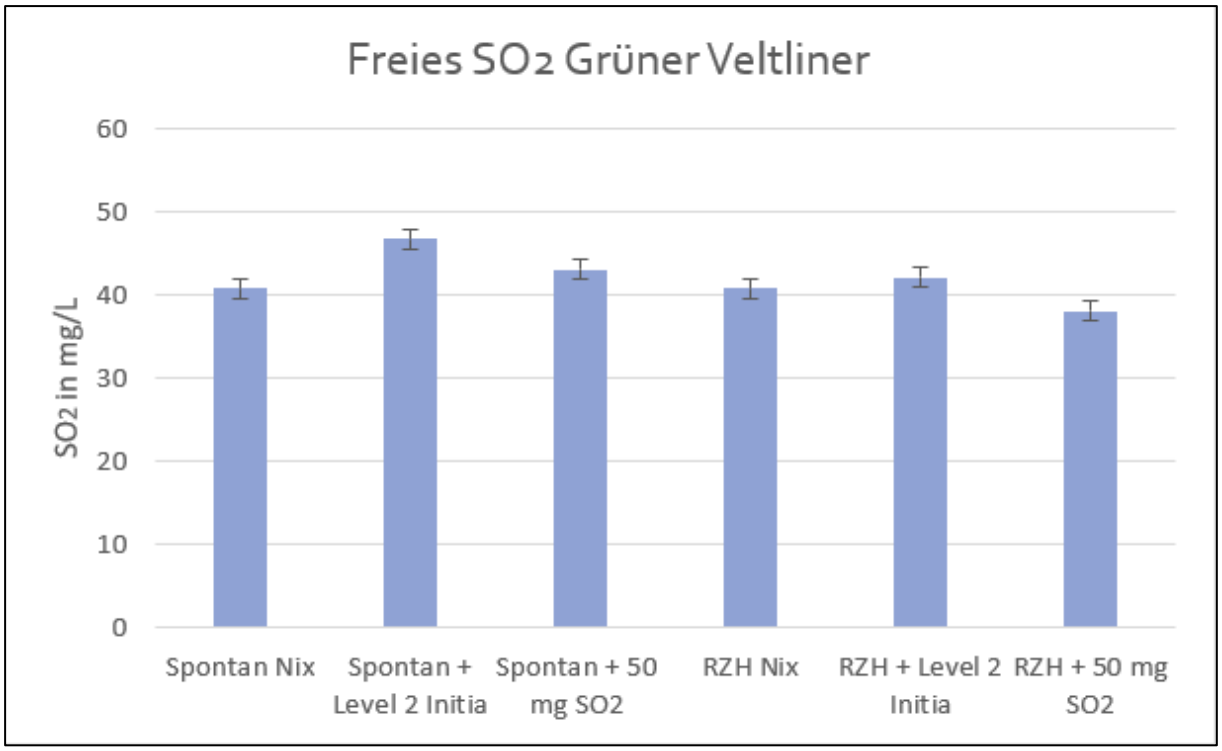


Abbildung 2: **Freies SO_2 bei Grüner Veltliner (Nix = unbehandelte Kontrolle)**

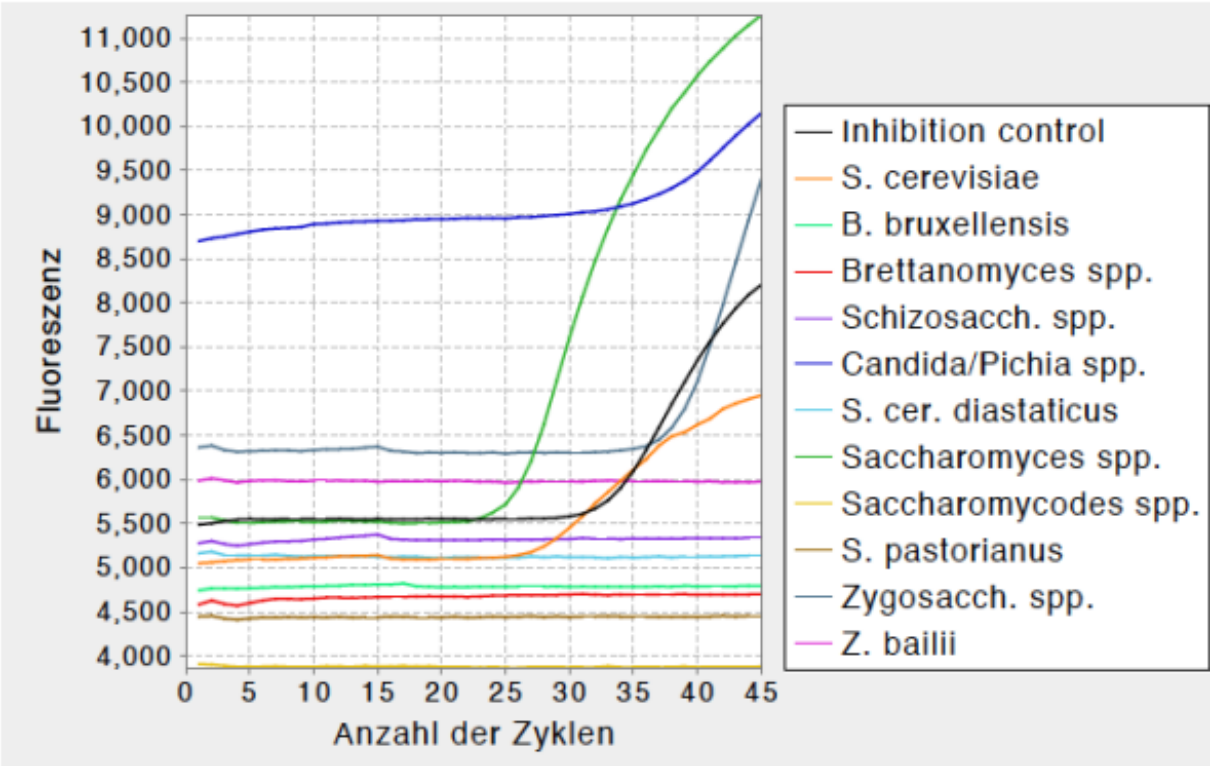
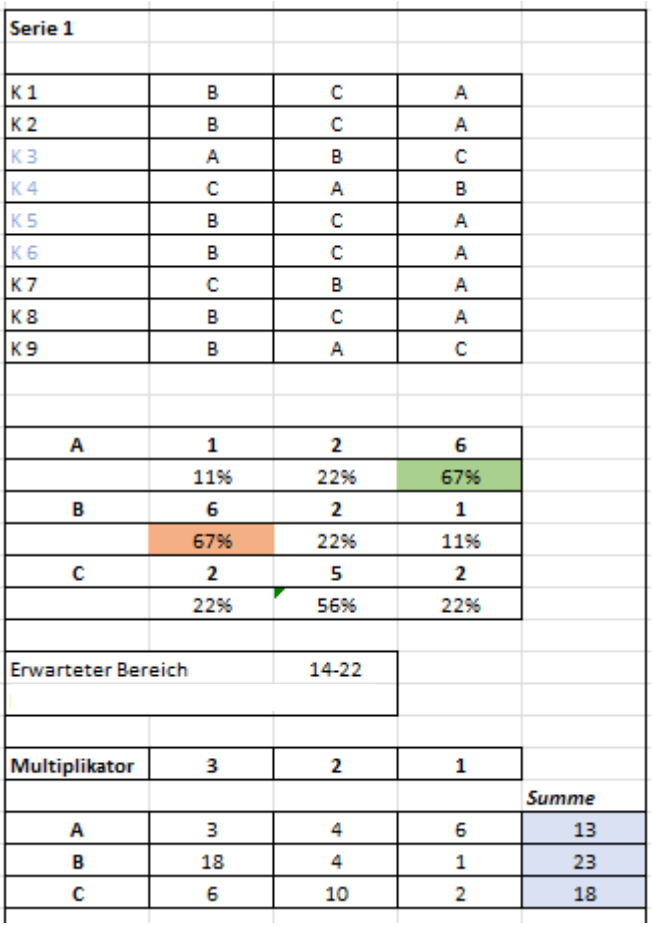


Abbildung 3: **Beispiel für ein Real-Time-PCR-Ergebnis**



Serie 1				
K 1	B	C	A	
K 2	B	C	A	
K 3	A	B	C	
K 4	C	A	B	
K 5	B	C	A	
K 6	B	C	A	
K 7	C	B	A	
K 8	B	C	A	
K 9	B	A	C	
A	1	2	6	
	11%	22%	67%	
B	6	2	1	
	67%	22%	11%	
C	2	5	2	
	22%	56%	22%	
Erwarteter Bereich		14-22		
Multiplikator	3	2	1	
				Summe
A	3	4	6	13
B	18	4	1	23
C	6	10	2	18

Abbildung 4: **Verkostung mittels Rangfolgetest. Verkostung mit 9 Kostern (K1 bis K9). In diesem Beispiel liegt nur die Probe C im erwarteten Bereich von 14-22 Punkten. Probe A ist damit signifikant besser als Probe C und Probe B signifikant schlechter als Probe C.**

Adresse der Autoren

HBLA und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg
Ansprechpartner:
Prof. Dipl.-Ing. Harald Scheiblhofer
Abteilungsleiter Kellerwirtschaft
Mobil +43 664 3126624
Wiener Straße 74, A-3400 Klosterneuburg
Büro: Agnesstraße 60, 3400 Klosterneuburg
harald.scheiblhofer@weinobst.at www.weinobstklosterneuburg.at
Eine Einrichtung des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Charakterisierung von Weinen mit Zusatz von önologischen Tanninen im Vergleich zum Einsatz von Eichenholzchips oder Barriquelagerung

Wine aroma compounds under the influence of climate change

Christian Philipp*, Karin Korntheuer, Sezer Sari, Jelka Lühring, Harald Scheiblhofer

Einleitung

Das Holzfass hat in der Weinbereitung lange Tradition. In Österreich wurde es traditionell nicht zum „Aromatisieren" der Weine verwendet, sondern vor der Benutzung „Weingrün" gemacht um möglichst geschmacksneutral zu sein. Bis in das Ende der Achtziger Jahre war der sogenannte „Fasslgeschmack" auch bei Rotwein ein Weinfehler. Erst durch den Rotweinboom in den frühen 2000er Jahren und den neuen Vorlieben der Konsumenten für den „Internationalen Weinstil" hat sich die Verwendung von geschmacksveränderten neuen Barriquefässern in Österreich etabliert (Steidl und Leindl, 2001). Zur gleichen Zeit hat die Diskussion über die Verwendung von wesentlich kostengünstigeren Echenholzchips begonnen und wurden mittels Resulution der Internationalen Organisation für Rebe und Wein zugelassen (OENO-Resolution 3/2005 der OIV). Sowohl der Barriquefass-Einsatz als auch der Einsatz von Eichenholzchips ist im strengen Sinne betrachtet eine Aromatisierung.
Eine wesentlich komplexere Thematik stellt der Einsatz von Tanninpräparaten dar. Streng genommen wurden sie als Hilfstoffe für Farbstabilisierung eingesetzt und auch zugelassen. In den letzten Jahren kommen aber verschiedenste Tannin Präparate verstärkt auf den Markt. Es sind dies Produkte mit zum Teil geschmackswirksamen Substanzen, die besonders im Rotwein zur Gerbstoffverstärkung und Erzielung eines samtigeren Weintyps eingesetzt werden können. Auch Tannine mit Barriquegeschmack werden angeboten. Über die Zulässigkeit dieses Einsatzes wird diskutiert (Skoff und Eder, 2005). Es gibt wenige Studien, die sich mit dieser Thematik intensiv beschäftigen.
Das vorliegende Projekt hat die Zielsetzung einen Beitrag zur Authentizitäts-überprüfung von Holzfassgelagerten Weinen, und einen Beitrag zur Abgrenzung von Weinen, die durch Ersatztechniken (Einsatz von Eichenchips; Einsatz von Tanninpräparaten) zu dem typischen Holzgeschmack gekommen sind, zu leisten.

Material und Methoden

Versuchsplan: Ein Grundwein (Rotweincuvèe, HBLA für Wein- und Obstbau, Jahrgang 2018) wurde aufgeteilt in verschiedene Varianten. 450 Liter wurden als Grundwein in 1 Liter Flaschen abgefüllt. 225 Liter wurden in ein französisches Barrique-Fass transferiert, der Rest wurde in 34 Liter Ballons aufgeteilt. Jeweils drei Ballons wurden mit denselben Eichenholz-Chips (1g/l) versetzt. Zur Anwendung kamen amerikanische Eichenchips mit dem Toasting M bzw. M+ sowie Französische Eichenchpis mit dem Toasting M bzw. M+. Die Weine waren für 12 Monate im Holzfaß bzw. mit den Chips in Kontakt. Anschließend wurden die Weine abgefüllt und für weitere 6 Monate gelagert. Die Grundweine wurden zu diesem Zeitpunkt mit drei ausgewählten Tanninpräparaten in der zweifachen Geruchsschwellenkonzentration (Gruppen BET Tannin 1: 2,4 g/hl; Gruppen BET Tannin 2: 5,1 g/hl; Gruppen BET Tannin 3: 7,7 g/hl) des jeweiligen Tannin Präparates versetzt.

Analytik: Die Versuchsweine auf Phenol- und Aromastoffe analysiert. Für die Phenolanalytik erfolgte die Bestimmung der Hydroxyzimt- und Hydroxybenzoesäuren mittels Hochdruckflüssigchromatography. Die Methode wurde von Vrhovsek et al. (1997) entwickelt und von Berghold et al. (2018) adoptiert. Die Bestimmung der Holz-assoziierten Inhaltsstoffe Vescalagin, Castalagin, Vanillinsäure, Syringasäure, Scopoletin und Ellagsäure erfolgte ebenfalls mittels Hochdruckflüssigchromatographie unter Verwendung einer RP-Säule, einem Dioden Array Detektor und einem Fluoreszenz Detektor bei 260nm für Vanillinsäure, Ellagsäure, Castalagin und Vescalagin, 280nm für Syringasäure und dem Flureszenzspektrum (Excitation 345nm, Emission 460nm) für Scopoletin. Anthocyane und Farbkomponenten wurden nach Eder et al. (1994) bestimmt. Von den Weinen wurden des Weiteren subtile Holzaromastoffe (Lactone, volatile Phenole), mit einer GC-SIM-MS Methoden bestimmt. Die Bestimmung der subtilen Holzaromastoffe erfolgte nach Philipp et al. (2020).

Auswertung: Ziel dieser Arbeit war es analytisch/sensorisch signifikant messbaren Veränderungen des Aromas durch den Einsatz von Tanninpräparaten, Chipslagerung und Holzfasslagerung zu überprüfen und auf Ähnlichkeiten zu untersuchen. Dazu wurde eine Heatmap generiert (Babicki et al. 2017)

Ergebnisse und Diskussion

Die Clusterung der Heatmap ergibt ein eindeutiges Ergebnis. Das Tanninpräparat 2 clustert gemeinsam mit der Kontrolle, während Tannin 3 und Tannin 1 einen gemeinsamen Cluster in der Nähe des Kontrollclusters bilden. Auf der anderen Seite bilden die mit Chips versetzten Weine einen gemeinsamen Cluster. Der im Barrique-gelagerte Wein bleibt extra. Es lässt sich daraus schließen, dass die Aromatisierung durch die Chipslagerung anders ist als durch den Tanninzusatz und anders als durch die Barriquelagerung, während die analysierten Tanninpräparate die Weine am geringsten veränderten, war die Barrique-gelagerte Variante am stärksten verändert. Es ist somit gelungen die verschiedenen Varianten voneinander abzugrenzen, allerdings zeigt sich auch, dass durch die Barriquefasslagerung die komplexeste Aromatisierung (die meisten Verbindungen betroffen) passiert ist und die Aromatisierung durch die Zugabe von Tanninpräparaten stets singulärer war. Das könnte eine Chance für die Authentifizierung solcher Weine sein. Aromatisiert man den gleichen Grundwein mit Barriquefaßlagerung und vergleicht die Weine, die mit verschiedenen Eichenchips oder mit ausgewählten nationalen und internationalen Tanninpräparaten aromatisiert werden analytisch, zeigt sich, dass die Aromatisierung durch Tanninpräparate zwar nachweisbar aber am geringsten im Vergleich zum Grundwein ausfällt. Eine analytische Abgrenzung (fiktive Authentifizierung) der verschiedenen Versuchsweine (vier verschiedene Chips-Varianten, 1 Barrique-Variante, drei Tanninvarianten sowie der Grundwein) war möglich. Die Aromatisierung mit Tannin-Präparate ist im Vergleich zum Einsatz von Holzfässern und Eichenchips stets singulärer, die Barriquefasslagerung komplexer. Überraschend ist auch, dass die Lagerung mit Chips analytisch klar abgrenzbare Weine hervorgebracht hat. Die Gesetzeslage ist verwirrend, es obliegt somit dem Werteverständnis des Produzenten ob er durch einen kritisch zu betrachtenden mengenmäßig hohen Einsatz von Tanninen Qualität eine Barriquefasslagerung vortäuschen will oder nicht. Ehrlich produzierte Qualität sieht jedenfalls anders aus.

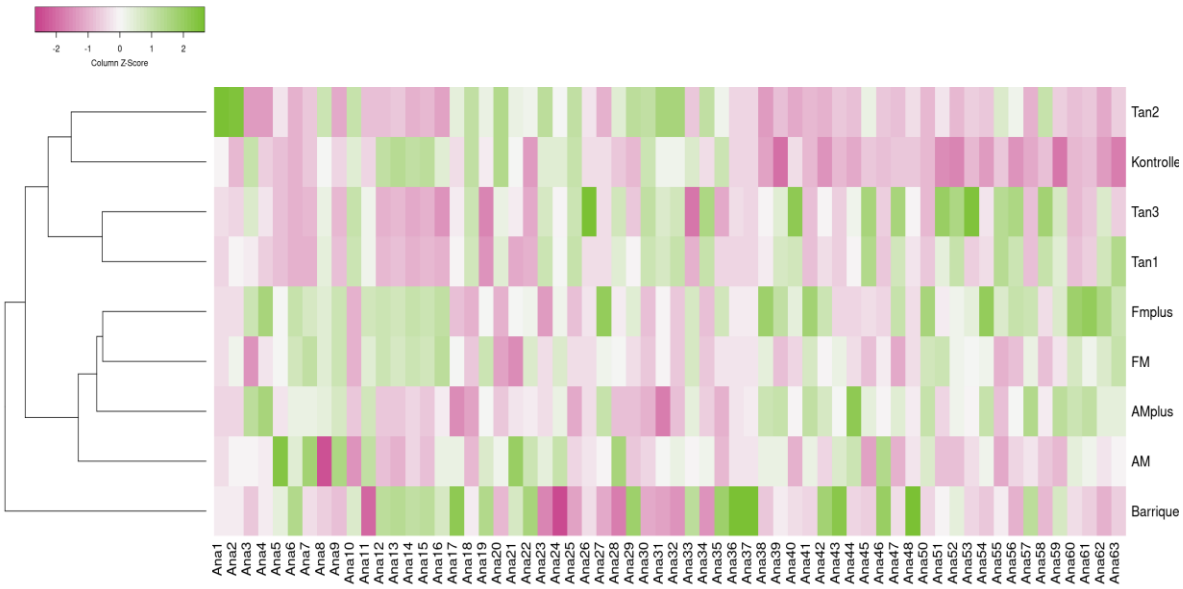


Abbildung 1: **Heatmap zur Darstellung von messbaren Veränderungen des Aromas durch den Einsatz von Tanninpräparaten, Chipslagerung und Holzfasslagerung**

Zusammenfassung

Ein Versuchswein wurde mit vier verschiedenen Eichenchips, einem Barriquefass oder mittels drei verschiedener Tanninpräparate aromatisiert. Die Versuchsweine wurden einer gründlichen analytischen Charakterisierung unterzogen. Es hat sich gezeigt, dass die Aromatisierung durch die ausgewählten Tanninpräparate geringer ausfällt als durch die Verwendung der anderen Techniken. Die analytische Au-

thentifizierung der Versuchsweine (vier verschiedene Chip-Varianten, eine Barrique-Variante, drei Tannin-Varianten und der Grundwein) wurde durch eine breite analytische Charakterisierung und spezielle statistische Clustermethoden erreicht.

Abstract

An experimental wine was aromatized with four different oak chips, a barrique barrel or by means of three various tannin products. The test wines were undergone a deep analytical characterization. It has been shown that the aromatization by the selected tannin compounds is lower than by the use of the other techniques. Analytical authentication of the experimental wines (four different chip variants, one barrique variant, three tannin variants and the base wine) was achieved by broad analytical characterization and special statistical clustering methods.

Literatur

BERGHOLD S, WENDELIN S, EDER R, 2018: Comparison of two sample preparation methods for analyses of grape phenols with HPLC. *Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Früchteverwertung*, *68*(4), 241-249.
OIV, 2005: OENO-Resolution 3/2005 der OIV
PHILIPP C, EDER P, SARI S, HUSSAIN N, PATZL-FISCHERLEITNER E, EDER R, 2020: Aromatypicity of Austrian Pinot Blanc Wines. Molecules, 25(23), 5705.
SKOFF A, EDER R. 2005: Tanninzusätze bei Weiß- und Rotwein, Der Winzer, 10, Klosterneuburg, 16.
STEIDL R, LEINDL G, 2001: Barriqueausbau. Wien, Ulm: Agrarverlag/Ulmer, 48
VHROVSEK U, Wendelin S, Eder R, 1997: Quantitative Bestimmung von Hydroxyzimtsäuren und (Hydroxycinnamaten) in Weißweinen mittels HPLC. Mitt. Klosterneuburg, 47(5), 164-172.

Adresse der Autoren

HBLAuBA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: DI Dr. Christian PHILIPP, christian.philipp@weinobst.at

Versuche zu önologischen Methoden zur Steigerung der Würzigkeit in Grüner Veltliner – Teil 1 Versuche zu Maischestandzeit und Maischegärung

Experiments on oenological methods for increasing spiciness in Grüner Veltliner - Part 1 Experiments on skin contact and skin fermentation

Christian Philipp*, Stefan Nauer, Phillip Eder, Reinhard Eder

Einleitung

Grüner Veltliner ist nicht nur das Aushängeschild der österreichischen Weinwirtschaft. Die Aromatik der Sorte Grüner Veltliner ist von Fruchtaromen (Zitrus, Grapefruit, grüner bzw. reifer Apfel, Birne, Quitte, Melone, Dörrobst, Bratapfel) der Würzigkeit sowie bodenassoziierten Eindrücken (z. B. mineralisch, erdig, lössartig) geprägt. Kaum eine andere Weißweinsorte wird derartig häufig mit dem Attribut der würzigen, pfeffrigen Note beschrieben wie der Grüner Veltliner. Studien an der HBLA Klosterneuburg zeigten einen starken Einfluss des Klimas bei der Leitsubstanz des Pfefferls – dem Sesquiterpen Rotundon. Es wurde bestätigt, dass in feuchten und kühlen Jahren weit höhere Gehalte an Rotundon als in trockenen und heißen Jahren zu erwarten sind. Die hier vorliegende Studie zielt darauf ab den Gehalt dieser Substanzen zu steigern, auch dahingehend, weil gerade im Exportsegment, diese Würzigkeit in den österreichischen Weinen gesucht wird. In dem hier vorliegenden Teil wird die Maischestandzeit mit verschiedenen Varianten der Maischegärung verglichen

Material und Methoden

Versuchsplan: Grüner Veltliner Trauben des Jahrgangs 2019 vom Versuchsgut Agneshof der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg wurden für den Versuch in 20 kg Kleinkisten geerntet und für die verschiedenen Varianten randomisiert.
Alle Versuche wurden in dreifacher Wiederholung durchgeführt. Bei der Gärtemperatur wurden 15 °C mit 25 ° C verglichen. Neben der Kontrollvariante gab es noch eine Variante mit einer 12 h Maischestandzeit, eine Variante mit partieller Maischegärung, bei der der gärende Most aus der gesamten Maischemenge nach einer Reduktion von etwa 50 % des Zuckers und somit vor Gärende abgezogen aber nicht gepresst wurde und eine Maischegärvariante, bei der die Maische vollständig vergoren und anschließend gepresst wurde. Alle Gärungen wurden mit derselben Hefe unter standardisierten Bedingungen (gleiche Hefeernährung) in Klimaräumen durchgeführt, nach der Gärung rasch filtriert, geschwefelt und nach einer Weinsteinstabilisierung durch Kälte am Jahresende 2019 steril abgefüllt und bis zur Analyse dunkel bei 4 °C gelagert.

Analytik: Die Versuchsweine wurde im Anschluss auf Aroma- und Phenolstoffe gemessen. Es wurde Rotundon (Geruchsschwelle bei Weißwein bei etwa 15 ng/l) für die Pfeffrigkeit und insgesamt rund 40 Esterverbindungen für die Fruchtigkeit im Wein mittels GC-MS/MS und GC-MS analysiert und des Weiteren Phenole für die Bittertöne im Wein mittels HPLC bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

In der Abbildung 1 sind die Rotundon-Gehalte der Versuchsweine dargestellt. Das für die Pfeffrigkeit so wichtige Rotundon befindet sich zu mindestens 98% in den Schale der Weintraube. Das ist der Grund warum der Gehalt bei den klassischen Weinen und bei den Weinen mit Maischestandzeit im Vergleich zu den Maischegärvarianten im Vergleich so gering ist. Der Großteil des Rotundons wird zwischen dem zweiten und fünften Gärungstag aus den Beeren extrahiert, weshalb die partielle Maischegärung ohne Pressung (3 Gärtag bei 15 °C, 2 Gärtage bei 25 °C) im Vergleich zur vollen Maischegärung mit Pressung nicht schlechter abgeschnitten hat. In dieser Periode sind Enzyme sehr aktiv und der Ethanolgehalt steigt an. In der Literatur wird angemerkt, dass nur 10% des in Trauben enthalten Rotundons während der Gärung extrahiert werden, aber nur 6% in Flaschenwein wiedergefunden werden. Eine signifikante Menge Rotundon geht während der Weinbehandlung und Filtration verloren, wahrscheinlich aufgrund

des hydrophoben Struktur und der Bindung an andere Materialien. Das heißt, durch eine Maischegärung kann der Gehalt an Rotundon stark erhöht (mehr als 5fach) werden. Auch führt eine höhere Gärtemperatur zu tendenziell höheren Gehalten, bei höheren Temperturen dürfte aufgrund der höheren kinetischen Energie der hydrophobe Charakter von Rotundon abnehmen. Maischestandzeit hatte hingegen kaum einen Einfluss auf den Gehalt von Rotundon.

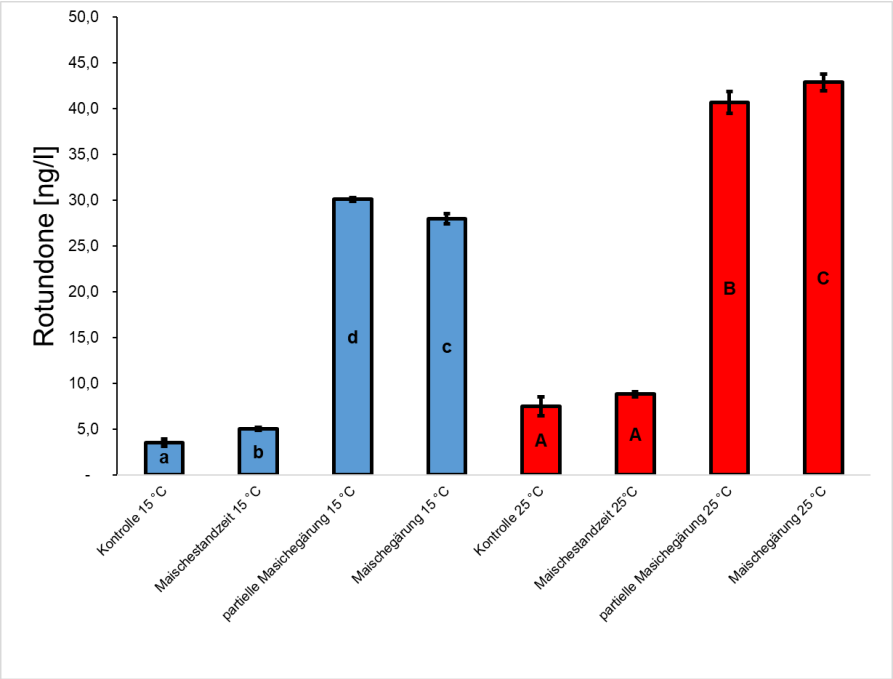


Abbildung 1: **Rotundonkonzentration (blau: 15 °C, rot 25°C). Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede**

Der Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Summe der Ester zu entnehmen. Der Estergehalt wird direkt von der Gärvariante (Maischegärung bzw. Saftgärung) beeinflusst. Der Gehalt ist bei den Maischegärvarianten signifikant geringer ist als bei der klassischen Variante. Das ist plausibel. Rotwein hat auch geringere Estergehalte als Weißwein.
Durch die Maischegärung kommt es zu deutlichen Zunahme des Gesamtphenolgehalts im Wein, das ist nichts Ungewöhnliches. Allerdings ist der Gesamtphenolgehalt nicht immer der richtige Indikator, daher wurden einzelne Phenole angeschaut. Entscheidend ist vor allem das Catechin, was als Indikator für Bittertöne in Weißwein gilt. Auch nahm der Catechingehalt deutlich zu. Der Anstieg war insbesondere bei der höheren Gärtemperatur sehr deutlich. Die Catechinkonzentration war in den Maischegärvarianten bei 25 °C um etwa 10mal so hoch wie in den klassischen Varianten und Varianten mit Maischestandzeit. Im Vergleich dazu war die Konzentration bei 15 °C nur etwa 3mal so hoch.

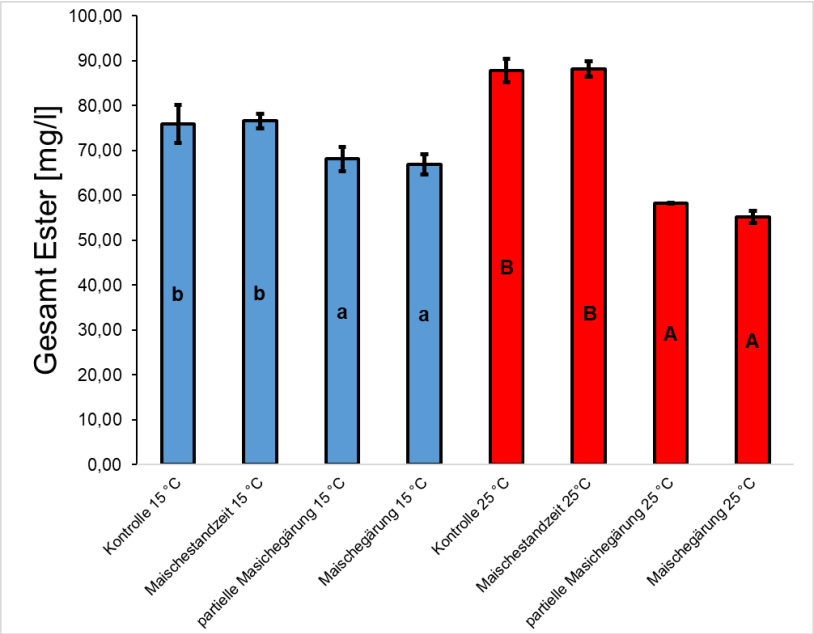


Abbildung 2: **Gesamtestergehalt (blau: 15 °C, rot 25°C). Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede**

Zusammenfassung

In Österreich gibt es einen Trend weg vom frisch fruchtigen Wein hin zum eher würzigen, Lagenbetonten Wein. Das gilt insbesondere für den Export orientierten Winzer. Durch Maischegärung können würzige Aromen intensiviert werden, es nimmt aber die Bitterkeit der Produkte zu. Eine wichtige Erkenntnis dabei ist, dass die Zunahme der Bitterkeit vor allem bei hoher Gärtemperatur wesentlich stärker war als bei geringer Gärtemperatur. Auch die Abnahme von fruchtigen Aromen (insbesondere Ester) wurde bei diesen Weinen beobachtet. Maischestandzeit führt zur tendenziellen Erhöhung der fruchtigen Aromen insbesondere Monoterpene, die allerdings bei Grüner Veltliner eine untergeordnete Rolle spielen. Durch die Maischestandzeit kann das für die Würzigkeit wichtige Rotundon nicht erhöht werden.

Abstract

In Austria, there is a trend going away from fresh, fruity wines to more spicy, single-vineyard wines. This is especially true for export-oriented winemakers. Spicy aromas can be intensified by skin fermentation, but the bitterness of the products increases. An important finding here is that the increase in bitterness was much greater, especially at high fermentation temperatures, than at low fermentation temperatures. The decrease of fruity aromas (especially esters) was also observed in these wines. Maceration time tends to increase fruity aromas, especially monoterpenes, which, however, play a minor role in Grüner Veltliner. The maceration time can not increase the Rotundon, which is important for the spiciness.

Literatur

Beim Autor erhältlich

Adresse der Autoren

HBLAuBA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: DI Dr. Christian PHILIPP, christian.philipp@weinobst.at

Versuche zu önologischen Methoden zur Steigerung der Würzigkeit in Grüner Veltliner – Teil 2 Versuche zu Blätter- und Traubenzusatz

Experiments on oenological methods for increasing spiciness in Grüner Veltliner - Part 2 Experiments on leaves and grape additions

Christian Philipp*, Stefan Nauer, Phillip Eder, Reinhard Eder

Einleitung

Die Weinbranche ist eine sehr dynamische. Gerade im hochpreisigen Segment tut sich sehr viel in die Richtung „alternative Weinstilistiken". Abseits vom „Natural Wein" und „Orangewein" gibt es hier einige Spielarten im Weißweinbereich, darunter die Vergärung mit ganzen Trauben oder auch die Vergärung mit Weinblätter (als gezielte önologische Technologie eigentlich nicht definiert und somit nicht zugelassen). Gemein ist diesen Varianten, dass die Fruchtigkeit der Produkte nicht im Vordergrund stehen soll. Diese Weine sollen durch Ihre Würzigkeit und Langlebigkeit auffallen. Dieser Trend ist auch nicht unbegründet, da der qualifizierte Konsument diese Art von Weinen sucht. Auch können solche Maßnahmen den Lagencharakter verstärken. Österreichs Grüner Veltliner steht für seine Pfeffrigkeit und Würzigkeit. Diese Eigenschaft wird primär dem Sesquiterpen Rotundon zugeschrieben. Tendenziell werden aber die Gehalte dieser Verbindung bei fortschreitenden Klimawandel geringer werden. Daher ist der Wunsch nach kellerwirtschaftlichen Maßnahmen zur Steigerung der Würzigkeit (Pfefferls) verständlich. In dem vorliegenden Artikel beschäftigen wir uns mit dem Zusatz von ganzen Trauben und Blättern.

Material und Methoden

Versuchsplan: Grüner Veltliner Trauben vom Versuchsgut Agneshof der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg wurden für den Versuch in Großkisten geerntet. Alle Versuche wurden in dreifacher Wiederholung durchgeführt. Neben der Kontrollvariante gab es noch eine Variante mit Zusatz ganzer Trauben (100 g/10 L) und ganzer Blätter (100 g/10 L Most). Alle Gärungen wurden unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt.Alle Gärungen wurden mit derselben Hefe unter standardisierten Bedingungen (gleiche Hefeernährung) in Klimaräumen durchgeführt, nach der Gärung rasch filtriert, geschwefelt und nach einer Weinsteinstabilisierung durch Kälte steril abgefüllt und bis zur Analyse dunkel bei 4 °C gelagert.

Analytik: Die Versuchsweine wurde im Anschluss auf Aroma- und Phenolstoffe gemessen. Es wurde Rotundon (Geruchsschwelle bei Weißwein bei etwa 15 ng/l) für die Pfeffrigkeit und insgesamt rund 40 Esterverbindungen sowie 15 freie Monoterpene für die Fruchtigkeit im Wein mittels GC-MS/MS und GC-MS analysiert und des Weiteren Phenole für die Bittertöne im Wein mittels HPLC bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Besonders interessant sind die Ergebnisse der Rotundonanalysen. Während der Zusatz von ganzen Trauben den Rotundongehalt um 57 % erhöht, wurde der Gehalt durch den Zusatz von Blätter um 42 % reduziert. Beim Zusatz von Trauben und Blätter kompensiert sich diese Effekte wieder. Das heißt durch Zusatz von Trauben kann die Würzigkeit der Weine zunehmen, während der Zusatz von Blättern, die Würzigkeit nachweislich sinkt. Durch den Zusatz von Trauben und oder Blätter kann der Gehalt an den fruchtigen Aromen, der freien Monoterpene, im Grüner Veltliner Wein nachweislich erhöht werden. Diese Aromagruppe spielt aber für die Typizität der Grüner Veltliner Weine eine untergeordnete Rolle. Die wichtigeren Esterverbindungen werden vor allem durch den Traubenzusatz signifikant und deutlich verringert. Das reproduziert das Ergebnis der Maischegärung, wo auch die Esterverbindungen deutlich abgenommen haben. Durch den Blätterzusatz sind die Esterverbindungen nicht signifikant beeinflusst.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch den Taubenzusatz die Fruchtigkeit abnimmt, während die Würzigkeit stark zunimmt. Durch den Zusatz von Blättern wird die Würzigkeit im Produkt geringer, während die Fruchtigkeit gleichbleibt.

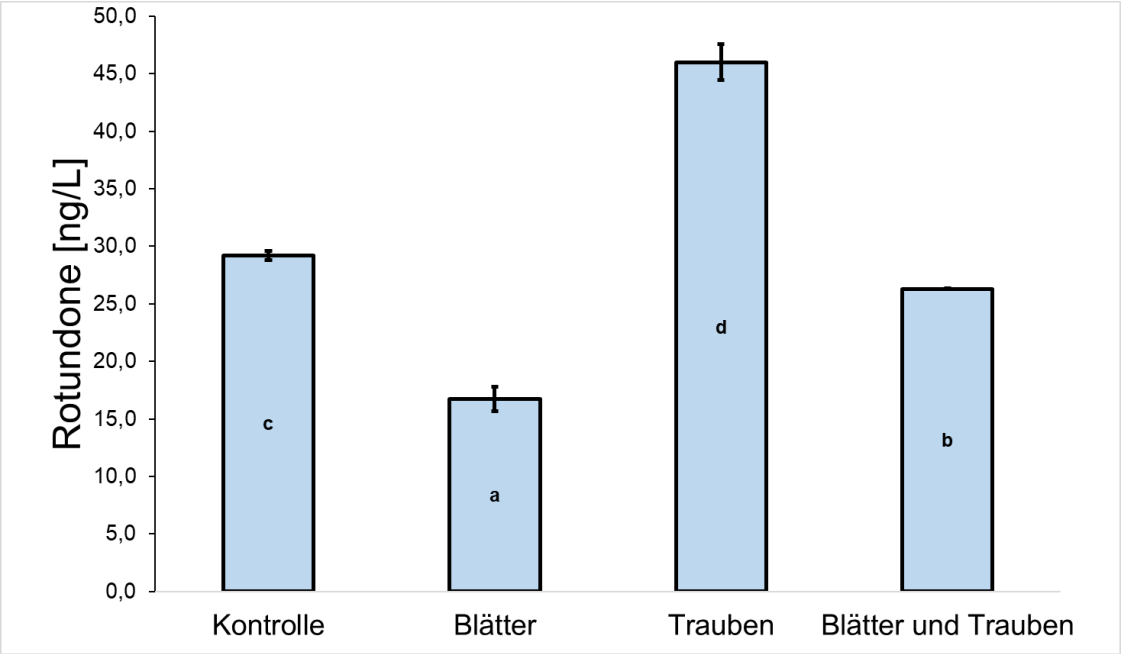


Abbildung 1: **Rotundonkonzentration: Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede**

Der Abbildung 6 sind die Gesamtphenol-Konzentrationen zu entnehmen. Durch den Zusatz von Blättern kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Phenole, durch den Traubenzusatz ist die Zunahme sogar noch größer. Bei der Variante mit Blätter und Trauben summieren sich die beiden Effekte und der höchste Gesamtphenolgehalt wurde in dieser Variante beobachtet. Es ist also nicht gelungen die Würzigkeit zu steigern ohne die Bitterkeit zu beeinflussen.

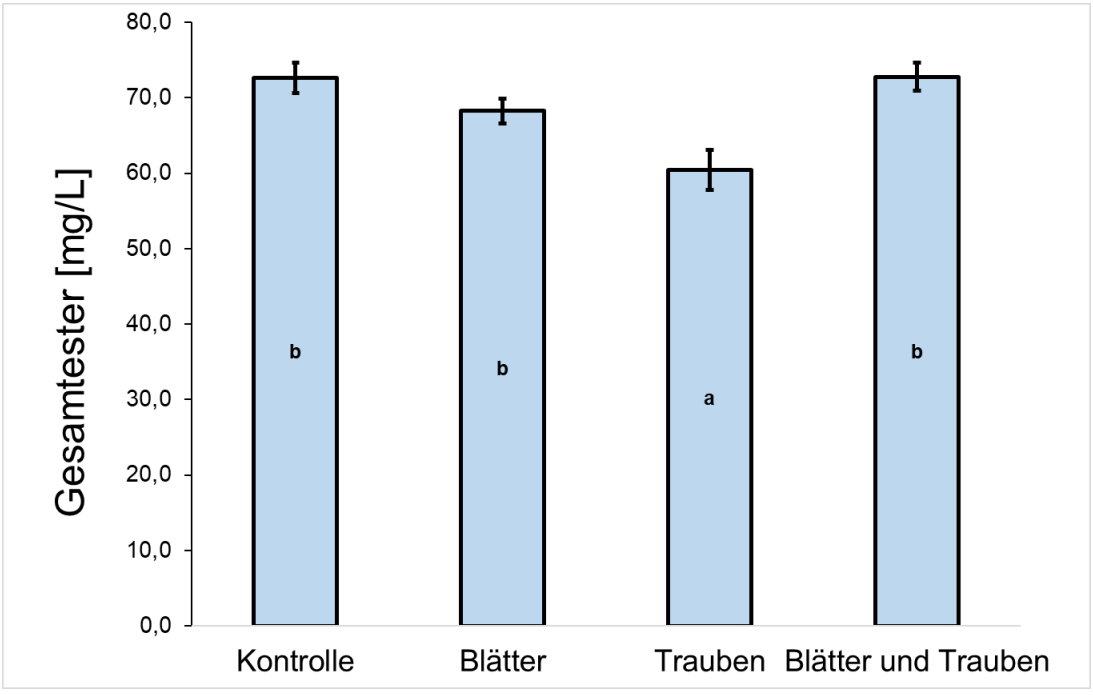


Abbildung 2: **Gesamtestergehalt: Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede**

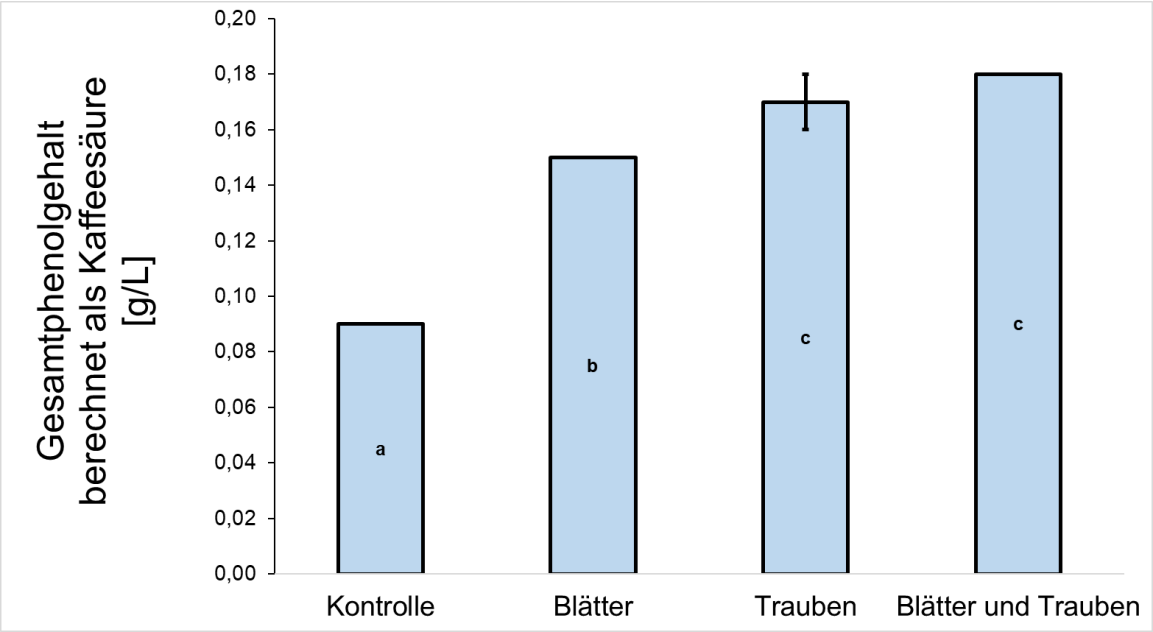


Abbildung 3: **Gesamtphenolgehalt: Unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede**

Zusammenfassung

In Österreich gibt es einen Trend weg vom frisch fruchtigen Wein hin zum eher würzigen, Lagenbetonten Wein. Das gilt insbesondere für den Export orientierten Winzer. Durch Traubenzusatz können würzige Aromen intensiviert werden, es nimmt aber die Bitterkeit der Produkte zu. Auch die Abnahme von fruchtigen Aromen (insbesondere Ester) wurde bei diesen Weinen beobachtet. Durch den Zusatz von Blättern wird die Würzigkeit im Produkt geringer, während die Fruchtigkeit gleich bleibt. Zusatz von Beeren könnte eine gute Alternative darstellen.

Abstract

In Austria, there is a trend away from fresh, fruity wine towards more spicy, single-vineyard wines. This is especially true for export-oriented winemakers. Spicy aromas can be intensified by adding grapes, but the bitterness of the products increases. The decrease of fruity aromas (especially esters) was also observed in these wines. The addition of leaves decreases the spiciness in the product, while the fruitiness remains the same. Addition of berries could be a good alternative.

Literatur

Beim Autor erhältlich

Adresse der Autoren

HBLAuBA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: DI Dr. Christian PHILIPP, christian.philipp@weinobst.at

Beitrag zur Charakterisierung des analytischen Fingerprints von Trauben & Weinen der Rebsorte Blaufränkisch anhand verschiedener burgenländischer Standort-Rieden-Kombinationen mit Fokus auf die Substanzklasse der C_{13}-Norisoprenoide

Contribution to the characterisation of the analytical fingerprint of grapes & wines of the grape variety Blaufränkisch on the basis of different Burgenland site-vineyard combinations with a focus on the substance class of the C_{13} norisoprenoids.

Nikolaus Schlögl*, Phillip Eder, Sezer Sari, Karin Korntheuer, Christian Philipp

Einleitung

Bei der Rebsorte Blaufränkisch handelt es sich um eine am nationalen und internationalen Markt aufstrebende Rebsorte, die den Klimawandel und dessen Folgen zu verkraften scheint und deren Kultivierung potenziell auch noch in naher Zukunft gut möglich sein wird. Umso interessanter wird die Rebsorte für bereits im Geschäft befindliche, aber auch angehende ÖnologInnen. Bis dato gibt es zur Rebsorte Blaufränkisch sehr wenig wissenschaftliche Literatur, auf deren Basis evidenzbasierte weinbauliche und önologische typizitäts- und qualitätssteigernde Entscheidungen getroffen werden können. Da sich Österreich im internationalen Ranking nach Ungarn auf Platz zwei der größten Blaufränkisch-kultivierenden Länder positioniert, liegt es nahe, sich im Zuge von wissenschaftlichen Arbeiten mit der Rebsorte zu beschäftigen, um einerseits für den Blaufränkisch relevante Einzelaromasubstanzen zu definieren und andererseits deren weinbauliche und önologische Beeinflussung zu diskutieren.

Material und Methoden

Standort-Rieden-Kombinationen: Für den Versuchsteil wurden insgesamt zwölf Standort-Rieden-Kombinationen ausgewählt. Diese erstrecken sich über die wesentlichsten Blaufränkisch-kultivierenden Regionen des Burgenlandes, mit Ausnahme der Region Rosalia. Die Wahl der Anzahl der einzelnen Standort-Rieden-Kombinationen erfolgte in den Gebieten einerseits je nach Blaufränkisch-Anteil an der burgenländischen Blaufränkisch-Gesamtrebfläche und andererseits wurden auch kultivierungstechnisch kleinere Gebiete mit Blaufränkisch-DAC-Status, wie z. B. das Weinbaugebiet Eisenberg, miteinbezogen.
Traubenprobenentnahme: Die jeweiligen ganzen Trauben wurden einzeln und schonend in Plastiktüten verpackt und vakuumiert. Im Zuge des Verpackungsprozesses wurden die Trauben in ihrer Integrität nicht tangiert, was eine Lagerung bei -22 °C durchaus legitimiert, da die meisten biochemischen Reaktionen erst nach einem Integritätsverlust ablaufen.
Vinifikation der Versuchsweine: Mittels Mikrovinifikation wurden im Versuchsjahr von den verschiedenen Blaufränkisch-Standort-Rieden-Kombinationen Weine ausgebaut. Für die Weinbereitung im Kleinmaßstab wurde eine repräsentative Traubenprobe mit einer Menge von circa 40 kg pro Blaufränkisch-Standort verwendet. Die Lese fand am 03.10.2021 statt. Die Trauben wurden in die Abteilung Kellerwirtschaft der HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg transportiert und nach einem einheitlichen Rotwein-Protokoll vinifiziert.
Analytik: Die Quantifizierung der C_{13}-Norisoprenoide (β-Damascenone, β-Ionone, 1,1,6-Trimethyl-1,2-dihydronaphthalin & Vitispiran) erfolgte in den Trauben und Weinen der Rebsorte Blaufränkisch mittels einer HS-SPME-GC/TQMS-Methode.
Statistische Auswertung: Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels SPSS. Die Daten wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse und anschließendem Tukey-B-Test beurteilt ($p < 0,05$). Varianzhomogenität und Normalverteilung wurden überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Verlauf der C_{13}-Norisoprenoide: Hinsichtlich des Parameters gebundenes Vitispiran, dessen Verlauf in *Abbildung* dargestellt ist, ist festzuhalten, dass dessen Konzentration im Verlauf der Reife sukzessive

zunimmt. Die höchste Konzentration wurde zum Lesezeitpunkt festgestellt. Beim Parameter gebundenes Vitispiran findet beinahe eine Verdopplung zwischen den Traubenproben-Entnahmezeitpunkten 0 (Veraison) und 58 Tage (Lese) statt. Interessant ist auch der Konzentrationsbereich dieser Substanz. Zum Zeitpunkt der Lese wurde knapp 200 µg/kg Beeren detektiert. Diese Konzentration erscheint im direkten Vergleich zu anderen Rebsorten als hoch, demnach könnte diese Substanz hinsichtlich der Rebsorte Blaufränkisch ein markantes Charakteristikum darstellen (EGGERS et al. 2006; PHILIPP, 2022). Bei der Substanz gebundenes β-Ionone, dessen Verlauf in *Abbildung* dargestellt ist, ist ebenfalls ein sukzessiv zunehmender Trend zu beobachten. Diese Substanz liegt in den Trauben in einem deutlich geringeren Konzentrationsbereich vor. Erneut ist im Verlauf der Reife eine sich annähernd verdoppelnde Konzentration bis zum Lesezeitpunkt ersichtlich.

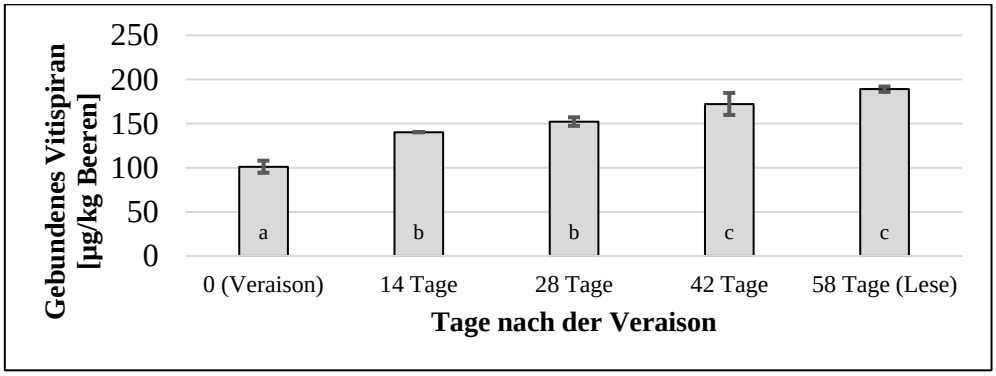


Abbildung 1: **Gebundenes Vitispiran zu den verschiedenen Traubenprobenentnahmezeitpunkten. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

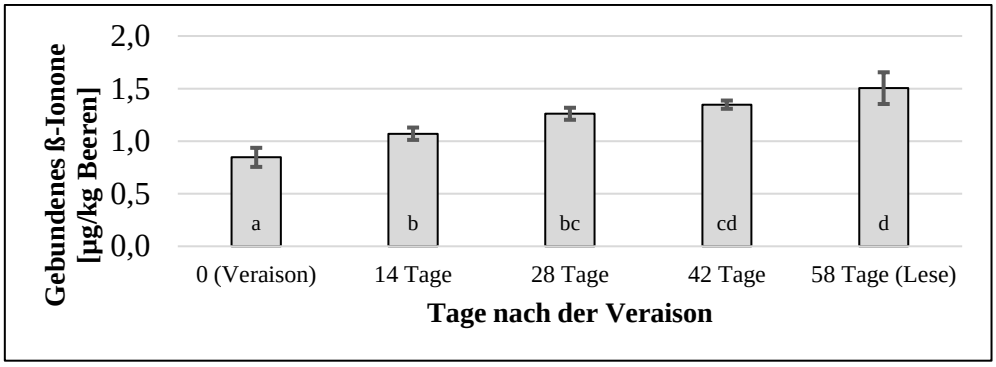


Abbildung 2: **Gebundenes β-Ionone zu den verschiedenen Traubenprobenentnahmezeitpunkten. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

Diversität der C_{13}-Norisoprenoide in den Blaufränkisch-Trauben: Die Ergebnisse der einzelnen detektierten gebundenen C_{13}-Norisoprenoide sind Abbildung 26 & Abbildung zu entnehmen. Bei den Standort-Rieden-Kombinationen Andau Prädium und Andau Entenseefeld wurde eine sehr starke Entblätterung im Spätsommer vorgenommen. Die Ergebnisse der gebundenen C_{13}-Norisoprenoide deuten auf einen durch die Entblätterung ausgelösten konzentrationssteigernden Effekt hin. Besonders Vitispiran und β-Ionone scheinen von der Entblätterung tangiert zu werden. Bei der Substanz Vitispiran scheint es, mit Ausnahme der Standort-Rieden-Kombination Leithaprodersdorf Geisbühel, einen Nord-Süd-Trend zu geben. Konkret sind die Gehalte im Norden verhältnismäßig höher als im Süden. Bei der Substanz β-Ionone scheint dieser Trend in reverser Form ausgeprägt zu sein. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Konzentrationen an β-Ionone im Südburgenland potenziell etwas höher sind als im Rest des Bundeslandes. Dies könnte für die oftmals beschriebene Veilchen-Note in den südburgenländischen Blaufränkisch-Weinen durchaus eine mögliche Begründungsgrundlage darstellen Bezüglich einer möglichen Einordnung der Ergebnisse kann gesagt werden, dass die Ergebnisse der Studien von BAUMES et al. (2002); RAZUNGLES et al. (1998); YOUNG et al. (2016) mit dieser Arbeit reproduziert werden konnten.

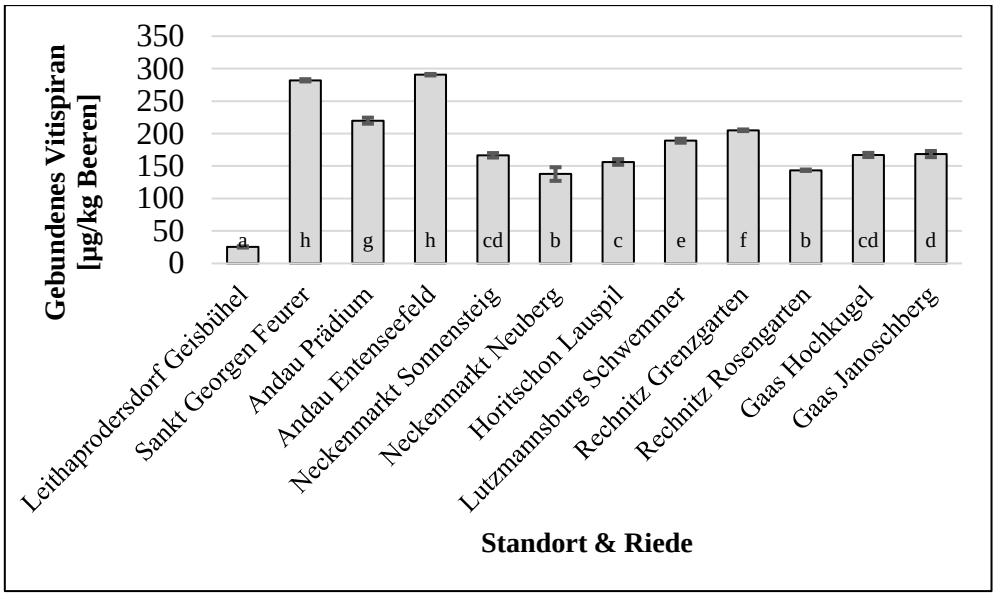


Abbildung 26: **Gebundenes Vitispiran bei den verschiedenen Standorten & Rieden zum Lesezeitpunkt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

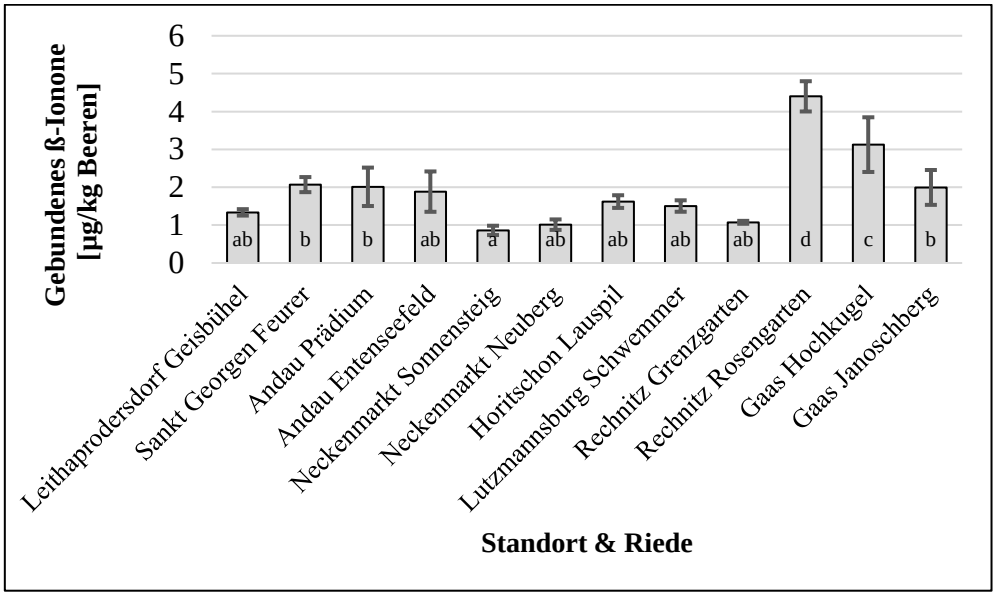


Abbildung 4: **Gebundenes β-Ionone bei den verschiedenen Standorten & Rieden zum Lesezeitpunkt. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

Diversität der C_{13}-Norisoprenoide in den Blaufränkisch-Weinen: Die Die Ergebnisse der gebundenen C_{13}-Norisoprenoide der vinifizierten Blaufränkisch-Weine der einzelnen Standort-Rieden-Kombinationen sind in Abbildung & Abbildung dargestellt. Hinsichtlich des Parameters gebundenes Vitispiran ist ein dezenter Nord-Süd-Trend zu erkennen. Die Weine der Standort-Rieden-Kombinationen Andau Prädium und Andau Entenseefeld weisen in Summe in Anbetracht aller Kombinationen die höchsten Gehalte an gebundenem Vitispiran auf, es handelt sich hierbei um signifikante Unterschiede. Die Gründe wurden bereits bei den Traubenproben, welche zum Lesezeitpunkt analysiert wurden, diskutiert. Der Konzentrationsbereich beginnt bei 109 µg/L und endet bei 173 µg/L. Diese als durchaus hoch einzustufenden Gehalte konnten bereits bei den analysierten Traubenproben zum Lesezeitpunkt antizipiert werden (EGGERS et al. 2006). Ähnliche Gehalte sind auch in einer Präsentation von PHILIPP (2022) ersichtlich. In dieser Präsentation wird der Blaufränkisch mit den Rebsorten Zweigelt, Sankt Laurent, Blauburgunder und Cabernet Sauvignon verglichen. Bei der Substanz gebundenes Vitispiran hebt sich der Blaufränkisch im Vergleich zu den genannten anderen Rotweinrebsorten deutlich ab. Hinsichtlich

der Substanz gebundenes β-Ionone reichen die Konzentrationen von 0,4 µg/L bis 1,4 µg/L. Solche Gehalte werden auch in der Präsentation von PHILIPP (2022) dargestellt. Auch hier hebt sich der Blaufränkisch von anderen Rotweinrebsorten ab.

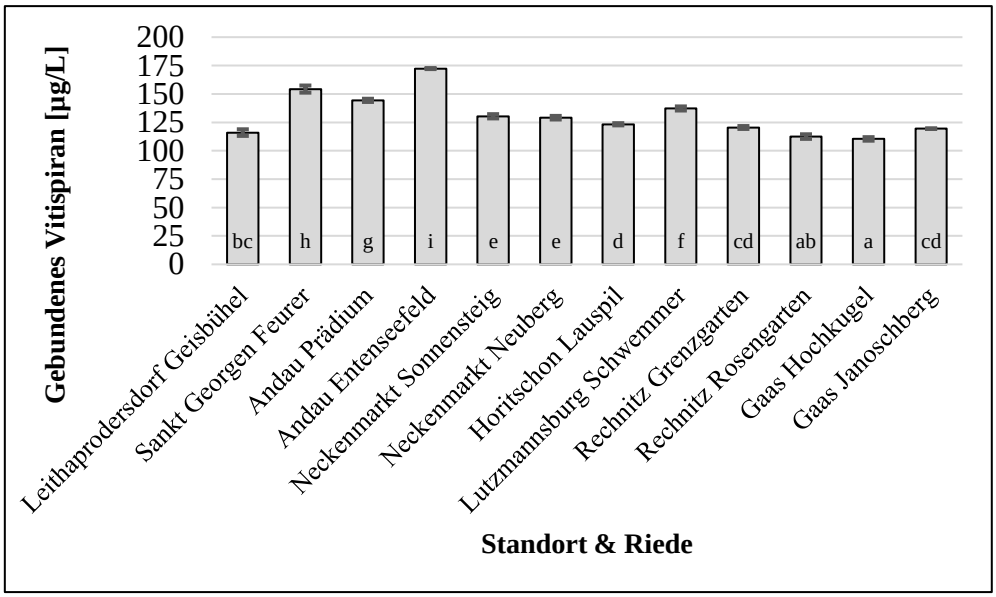


Abbildung 5: **Gebundenes Vitispiran der vinifizierten Weine der verschiedenen Standorte & Rieden. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

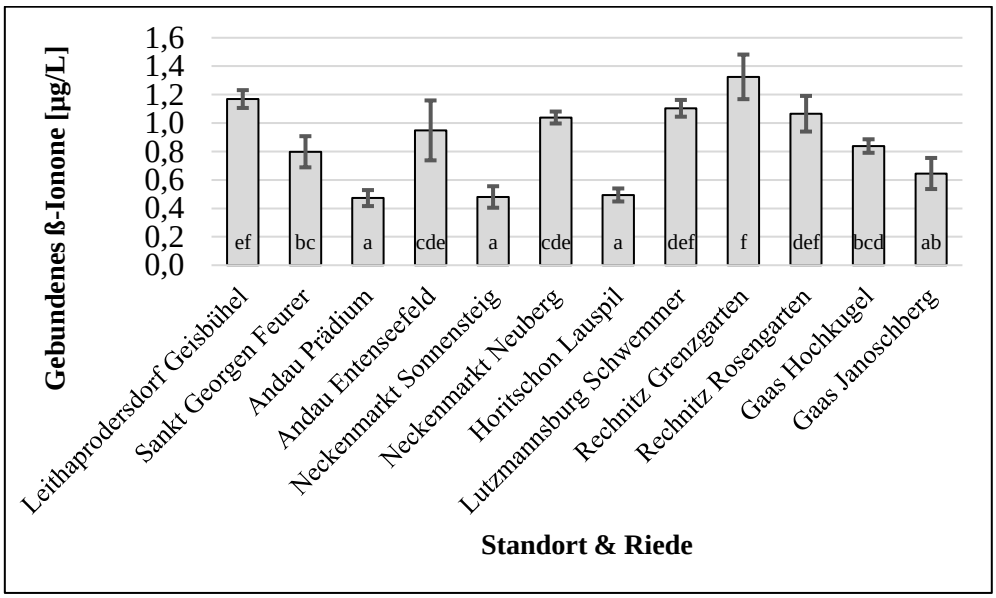


Abbildung 6: **Gebundenes β-Ionone der vinifizierten Weine der verschiedenen Standorte & Rieden. Unterschiedliche Buchstaben bedeuten statistisch signifikante Unterschiede (p < 0,05) (n = 3)**

Zusammenfassung

Bei der Rebsorte Blaufränkisch handelt es sich um eine am nationalen und internationalen Markt aufstrebende Rebsorte, die den Klimawandel und dessen Folgen zu verkraften scheint und dessen Kultivierung potenziell auch noch in naher Zukunft gut möglich sein wird. Im Zuge dieses Versuchs wurden zu fünf verschiedenen Zeitpunkten Blaufränkisch-Trauben entnommen (Beginn: Véraison; Ende: Lese) und hinsichtlich spezifischer Aromen analysiert. Es zeigte sich, dass die gebundenen C_{13}-Norisoprenoide einem sukzessiv zunehmenden Trend folgen. Des Weiteren wurden zwölf verschiedene Blaufränkisch Standort-Rieden-Kombinationen, verteilt über das gesamte Burgenland, ausgewählt, um Trauben des Lesezeitpunkts einer aromaanalytischen Untersuchung zuzuführen. Diese ergab, dass die Gehalte der gebundenen C_{13}-Norisoprenoide bei der Rebsorte Blaufränkisch potenziell durch die Faktoren Entblätterung, Temperatur, Ausdünnung und Bodenmanagement beeinflusst werden. Aus diesen Trauben

wurden zusätzlich im Kleinmaßstab Weine vinifiziert und anschließend aromaanalytisch untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass es sich bei der Rebsorte Blaufränkisch um eine eigenständige Rebsorte mit charakteristischem Aromafingerprint handelt. Konkret wurde die Klasse der gebundenen C_{13}-Norisoprenoide, im Detail die Substanzen Vitispiran und β-Ionone, als potenziell Blaufränkisch charakteristisch eingestuft.

Abstract

Blaufränkisch is an up-and-coming grape variety on the national and international market that seems to be able to cope with climate change and its consequences and whose cultivation will potentially still be possible in the near future. In the course of this work, Blaufränkisch grapes were taken at five different times (beginning: véraison; end: harvest) and analysed with regard to specific aromas. It was found that the bound C_{13}-norisoprenoids follow a successively increasing trend. Furthermore, twelve different Blaufränkisch site-vineyard-combinations, distributed over the whole of Burgenland, were selected in order to subject grapes from the harvest to an aroma-analytical investigation. This revealed that the contents of bound C_{13}-norisoprenoids in the grape variety are potentially influenced by the factor's defoliation, temperature, thinning and soil management. In addition, wines were vinified from these grapes and aroma-analytical investigated. It was found that the grape variety Blaufränkisch is an independent grape variety with a characteristic aroma fingerprint. Specifically, the class of bound C_{13}-norisoprenoids, in detail the substances vitispiran and β-ionone, was classified as potentially characteristic.

Literatur

BAUMES, R, WIRTH, J, BUREAU, S, GUNATA, Y, RAZUNGLES, A (2002): Biogeneration of C_{13}-norisoprenoid compounds: experiments supportive for an apo-carotenoid pathway in grapevines. Analytica Chimica Acta, 458(1), 3-14.

EGGERS, N. J., BOHNA, K., DOOLEY, B. (2006): Determination of vitispirane in wines by stable isotope dilution assay. American Journal of Enology and Viticulture, 57(2), 226-232.

PHILIPP, C (2022): Analytische Profile insbesondere der Aroma-, Farb- und Gerbstoffe von Weinen der Rebsorte Rotburger Zweigelt.

RAZUNGLES, A J, BAUMES, R L, DUFOUR, C, SZNAPER, C N, BAYONOVE, C L (1998): Effect of sun exposure on carotenoids and C_{13}-norisoprenoid glycosides in Syrah berries (*Vitis vinifera*). Sciences des Aliments (France).

YOUNG, P R, EYEGHE-BICKONG, H A, DU PLESSIS, K, ALEXANDERSSON, E, JACOBSON, D A, COETZEE, Z, VIVIER, M A (2016): Grapevine plasticity in response to an altered microclimate: Sauvignon Blanc modulates specific metabolites in response to increased berry exposure. Plant Physiology, 170(3), 1235-1254.

Adresse der Autoren

HBLA und BA für Wein- und Obstbau, Abteilung Forschung, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: Nikolaus Schlögl, M.Sc. nikolaus.schloegl@students.boku.ac.at

Bestimmung von freien und konjugierten Flavonolen in österreichischen Weinen

Determination of free and conjugated flavonols in Austrian wines

Nikolaus Ihl, Karin Korntheuer, Christian Philipp, Reinhard Eder*

Einleitung

Neueste Studien legen nahe, dass die Aufnahme von Flavonolen wie Myricetin, Quercetin, Kämpferol und Isorhamnetin gesundheitsfördernde Wirkungen auf den menschlichen Körper ausüben können (HOLLAND et al. 2022). In dieser Arbeit wurde das Vorkommen dieser vier Substanzen in österreichischen Weißweinen bestimmt, für Vergleichszwecke wurden ebenfalls einige Rot- und Prädikatsweine untersucht. Hierfür wurde eine HPLC-Methode entwickelt und validierte, um die geringen Konzentrationen (<0,1-50 mg/l) der einzelnen Flavonole in den Weinen nachweisen zu können. Um auch die glykosidisch gebundenen Flavonole zu erfassen, wurde mithilfe einer sauren Hydrolyse die glykosidischen Bindungen gespalten und danach die Gesamtflavonole quantifiziert. Die so erhaltenen Ergebnisse wurden hinsichtlich Sorte, Standort, Jahrgang und Maischestandzeit verglichen.

Material und Methoden

Im Zuge dieser Arbeit wurden österreichische Weine untersucht, dabei unterschied man im Wesentlichen zwischen den authentischen Weinen (definierte Herkunft, Sorte, Jahrgang und Verarbeitung) und den Versuchsweinen (verschiedene Maischestandzeiten, Gärtemperaturen und -behältnisse). Es wurden 40 klassische Weißweine ohne Maischestandzeit, fünf mit Maischestandzeit, acht Roséweine, sechs Weißweine mit Maischegärung, 14 Rotweine sowie fünf Beerenauslesen analysiert.
Für die Erfassung der vier Analyten im Wein, wurde eine spezifische Methode entwickelt und an die HPLC-Einheit angepasst.
Um die ungebundenen sowie die gebundenen Flavonole zu quantifizieren musste aufgrund der niedrigen Konzentrationen der Analyten im Weißwein der Hydrolyseansatz angepasst werden. Hierzu wurden die Konzentrationen und Volumina der Komponenten des Extraktionsmittels variiert. Es erfolgte eine Optimierung der Temperatur und Hydrolysedauer um die Hydrolyse möglichst schonend zu realisieren. Ausgegangen wurde von dem Hydrolyseansatz, welcher von MC DONALD (1998) beschrieben wurde. Die Weinproben wurden mit einer Durchflussrate von 0,3 ml/min und einem Injektionsvolumen von 5 µl in das HPLC-System injiziert. Die verwendeten Laufmittel für die Auftrennung sind "A" (5 %ige Ameisensäure, HPLC grade) und "B" (Methanol, HPLC grade).

Ergebnisse und Diskussion

Hydrolyse

Die saure Hydrolyse hat sich bewährt, um alle gebundenen Zucker von den Flavonolen abzutrennen. Die zahlreichen Vorversuche als auch die praktische Durchführung der Weinanalysen zeigten, dass diese Methode äußerst schonend für die Flavonole war und dennoch die Zucker vollständig von den Analyten abspaltete. Die Validierung der Hydrolyse ergab eine Wiederfindungsrate von 87-99 %. Hier sei jedoch zu beachten, dass das Hydrolysat spätestens nach 24 Stunden (bei Raumtemperatur) zu messen war, da sonst die Flavonole abgebaut wurden.
Ziel war es, einen geringeren Verdünnungsfaktor (als 1:7) durch die Hydrolyse zu erreichen. Alle diesbezüglichen Versuche mussten verworfen werden, da entweder die Flavonole abgebaut wurden (Flavonoldegeneration) oder die Hydrolyse unvollständig war und somit noch Zucker an den Flavonolen gebunden waren. Um dieses Problem zu lösen, könnte auf eine enzymatisch basierte Hydrolyse zurückgegriffen werden. Hier ist jedoch darauf achten, dass die verwendeten Enzyme nicht nur einen bestimmten Zuckerrest der Flavonolglycone abtrennen, sondern, universal, alle möglichen Zuckerreste, und egal wie sie gebunden sind, abbauen.

HPLC-Methode

Für die Bestimmung von Flavonolen mittels HPLC hatte sich die Gradientenelution mit den Laufmitteln Methanol und Wasser (5 %(v/v) Ameisensäure) bewährt. Bei der chromatographischen Trennung konnte Myricetin, Quercetin, Kämpferol und Isorhamnetin in Weinproben erfolgreich in 47 Minuten aufgetrennt und bestimmt werden. Die Laufmittelzusammensetzung über die Trennzeit wurden so gewählt, dass die Analyten nicht von der Matrix beziehungsweise anderen Flavonolen im Wein beeinflusst werden. Für weitere Analysen mit dieser Methode sollte der Gradient überarbeitet und dieser mit Weißwein- und Rotwein Matrixes getestet werden. Rotweine enthalten meist mehr Flavonole und diese in einer höheren Konzentration, dies soll sicherstellen, dass es bei den unterschiedlichsten Weißweinen zu keinen unerwarteten Interferenzen mit der Matrix kommt (PAJOVIĆ-ŠĆEPANOVIĆ et al. 2018).
Bei klassischen Weißweinen mit einer geringen bis keiner Maischestandzeit, speziell bei authentischen Weinen, reichte die Erfassungsgrenze für die Bestimmung der ungebundenen Flavonole in den seltensten Fällen aus. Daher empfiehlt es sich mit einer entsprechenden Probenvorbereitung die Weine aufzukonzentrieren (SPS-Säule) oder auf eine LC QQQ zu wechseln bzw. einen empfindlicheren Detektor (z.B. Massenspektrometer) zu verwenden.

Gehalte in Weinen abhängig von Weinklasse und Rebsorte

Die Konzentration der Analyten (Tab. 1) in den Weinklassen Rotwein, Weißwein mit Maischegärung bzw. Orange Wein und Rosé lagen in den meisten Fällen über der Erfassungsgrenze der Methode, wodurch eine statistische Auswertung möglich war. Für Weißweine Klassisch – ohne Maischestandzeit traf dies nicht immer zu. Der Shapiro Wilk Test ergab, dass innerhalb der Weinklassen und Rebsorten keine Normalverteilung (H0 verworfen) vorhanden ist. Der paarweise Vergleich zwischen den verschiedenen Gruppen ergab, dass signifikante Unterschiede zwischen den Proben einzelner Klassen bestehen. Wie zu erwarten war, wiesen Rotweine die höchsten Konzentrationen von Myricetin, Quercetin, Isorhamnetin und Kämpferol auf, da durch die Maischegärung und den langen Maischekontakt die Flavonole vermehrt aus der Schale extrahiert (Mazeration) werden (TOMASCHWSKI und EBNER 2000, WUCHERPFENNIG und FRANKE et al. 1963). Dies ist laut HAMMER et al. (2020) nicht nur auf den Alkohol als Lösungsmittel, sondern auch auf enzymatische Prozesse während der Gärung zurückzuführen. Dies wurde auch schon von KÖNITZ (2012) beobachtet. Auch die paarweisen Vergleiche zwischen den Rebsorten (diverse Sorten Rot) bestätigen dies. Ähnliche Tendenzen zeigen sich zwischen klassischen Weißweinen und maischevergorenen Weißweinen (Orange Weine). Dadurch wurde bestätigt, dass die Maischestandzeit und -gärung der Trauben einen direkten Einfluss auf die Analyten hat.
Zwischen den durchschnittlichen Konzentrationen von Myricetin (Rangordnung) in Weißwein klassisch und Weißwein mit Maischestandzeit gibt es nur geringe Unterschiede (p=1,000). Dies lässt vermuten, dass schon kurzer Maischekontakt bei weißen und roten Trauben zur Extraktion des Myricetins führen kann (SCHNEIDER 2018). Dies würde auch erklären, weshalb es keine eindeutigen signifikanten Unterschiede zwischen Rotwein klassisch und Rosé (p=0,130) gibt.
Eine Ausnahme bildete der Analyt Isorhamnetin. Der paarweise Vergleich mit Isorhamnetin zwischen den Weinklassen ergab sowohl bei den Rotweinen als auch bei den Weißweinen eine von der Maischestandzeit unabhängigere Konzentration. Dies legt die Vermutung nahe, dass Isorhamnetin nicht nur in der Schale, sondern auch teilweise im Fruchtfleisch der roten Weinbeere vorhanden sein könnte. Auch sind die Gehalte in weißen Sorten nur sehr gering. Bei dem Analyten Kämpferol ist ebenfalls eine solche Tendenz zu beobachten, jedoch konnte diese durch den paarweisen Vergleich statistisch nicht bewiesen werden. Die Konzentrationen von Isorhamnetin und Kämpferol waren in Weißweinen deutlich niedriger und oft auch unter der Nachweisgrenze.
Die Weinklasse Trockenbeerenauslese hatte von allen Weißweinklassen bei allen vier Analyten die höchsten Konzentrationen. Dies bestätigt, dass durch die massive Austrocknung der Beere am Rebstock die Konzentrationen der Inhaltsstoffe sowie der Flavonole deutlich anstieg.
Bei dem Vergleich der Rebsorten stellte sich heraus, dass sie Sorte Grüner Veltliner deutlich höhere Konzentrationen an Myricetin aufwies als die restlichen weißen Weine. Die Konzentrationen von Quercetin, Kämpferol und Isorhamnetin unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Rebsorte Zweigelt zeigte zu den restlichen Rotweinen nur beim Vergleich der Mediane von Kämpferol eine deutlich niedrigere Konzentration. Dies konnte jedoch durch den paarweisen Vergleich nicht bestätigt werden. Alle anderen Ergebnisse der Vergleiche der Rebsorten korrelieren mit denen der Vergleiche der Weinklassen.

Die hohe Inkohärenz der analysierten Weißweine innerhalb der Weinklassen kann unter anderem auf die unterschiedlichen Rebsorten zurückgeführt werden. Laut (HAMMER et al. 2020) ist der Gesamtpolyphenolgehalt (Folin-Ciocalteu) auch stark von der Rebsorte und deren Bestandteilen abhängig. Des Weiteren waren die genauen Verarbeitungsschritte der Weine wie Maischekontakt und dessen Temperaturverlauf sowie Schönung der Weinproben nicht immer bekannt.
Die Frage, ob das Terroir auch einen Einfluss auf die Analyten hat, konnte im Zuge dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Die authentischen Weine aus unterschiedlichen österreichischen Regionen wiesen zu geringen Konzentrationen auf, um sie hinsichtlich regionaler Charakteristika zu unterscheiden. Gleiches galt daher auch für den Vergleich zwischen den Jahrgängen.

Tabelle 1: **Mittelwerte, Mediane und Standardabweichungen aus den Weinklassen der einzelnen Analyten nach der Hydrolyse (freie- und ungebundene Form), kleiner Erfassungsgrenze (<LOQ), kleiner Nachweisgrenze (<LOD)**

	Mittelwert [mg/l]	**Median [mg/l]**	**Standardabweichung**
Myricetin gesamt			
Weißwein klassisch	0,371	0,454	0,307
Weißwein mit Maischestandzeit	0,827	0,951	0,254
Weißwein mit Maischegärung	0,620	<LOQ	0,997
Rosè	0,573	0,515	0,624
Rotwein klassisch	9,402	4,787	9,402
Trockenbeerenauslese	18,945	23,097	10,615
Quercetin gesamt			
Weißwein klassisch	0,591	<LOD	0,591
Weißwein mit Maischestandzeit	<LOQ	0,581	0,347
Weißwein mit Maischegärung	1,565	1,181	1,159
Rosè	0,607	0,720	0,306
Rotwein klassisch	8,008	5,818	7,344
Trockenbeerenauslese	7,858	7,885	7,344
Kämpferol gesamt			
Weißwein klassisch	<LOD	<LOD	0,240
Weißwein mit Maischestandzeit	<LOQ	<LOQ	0,305
Weißwein mit Maischegärung	<LOD	<LOD	0,255
Rosè	<LOD	<LOD	0,456
Rotwein klassisch	1,126	0,785	1,199
Trockenbeerenauslese	4,098	4,427	1,254
Isorhamnetin gesamt			
Weißwein klassisch	<LOD	<LOD	0,190
Weißwein mit Maischestandzeit	<LOD	<LOD	0,046
Weißwein mit Maischegärung	<LOD	<LOD	0,054
Rosè	1,124	1,050	0,424
Rotwein klassisch	3,665	3,171	2,202
Trockenbeerenauslese	3,420	3,775	1,990

Zusammenfassung

Aufgrund der Literaturrecherche und den hier in dieser Arbeit generierten Daten ist anzunehmen, dass nicht nur verfahrenstechnologische Schritte (Maischestandzeit), sondern auch das Wetter und die Region signifikante Einflüsse auf das Profil der Flavonole haben. Für weitere Untersuchungen in Bezug auf die Maischestandzeit empfiehlt es sich Weine, bei welchen die exakten Maischestandzeiten und deren Temperaturen bekannt sind, zu analysieren und zu vergleichen. Um Konzentrationsunterschiede

zwischen Sorten, Weinbaugebieten oder Jahrgängen (authentische Weine) bewerten zu können, müssen in jedem Fall sensiblere Detektoren (Massenspektrometer) eigesetzt werden. Dann könnte es möglich sein die Einflussfaktionen von Terroir und Wetter bzw. Verarbeitung (Oxidation u.a.) und Gärung (Mazeration), näher zu klären.

Abstract

Recent studies suggest that the intake of flavonols such as myricetin, quercetin, kaempferol and isorhamnetin can exert health-promoting effects on the human body (HOLLAND et al. 2022). These flavonols have sometimes also been detected in wines, but the majority of publications on flavonols in wines mainly deal with red wine varieties. In this work, the occurrence of the four most frequent representatives of flavonols in Austrian white wines was determined, and for comparative purposes, some red and Prädikat wines were also examined. For this purpose, an HPLC method was developed and validated to detect the low concentrations (<0.1-50 mg/L) of the individual flavonols in the wines. In order to also detect the glycosidically bound flavonols, the glycosidic bonds were cleaved with the help of acid hydrolysis and then the total flavonols were quantified. The levels of free and total flavonols were recorded and compared in authentic and commercial wines from different locations, vintages, varieties and ageing protocols. In the course of the analyses, it turned out that in most white wine samples total contents of myricetin and quercetin in the range of 0.3 - 0.7 mg/L could be detected after acid hydrolysis. Besides red wines, the highest levels of myricetin were found in Beerenauslesen (30 mg/l), followed by white wines with a longer maceration period and maceration. Comparisons of the grape varieties showed that the Grüner Veltliner variety had significantly higher concentrations of myricetin than the other white wine varieties. In general, there was a clear correlation between the concentrations of flavonols and the mash contact.

Literatur

HAMMER S, WINTERHALTER P, ZÄNGLEIN M (2020): Modellversuche zu Ermittlung des Einflusses einzelner Traubenbestandteile auf den Polyphenolgehalt in Maische-vergorenen Weißweinen, Mitt. Klosterneuburg 70: 129-147.

HOLLAND TM, AGARWAL P, WANG Y, DHANA K, LEURGANS SE, SHEA K, BOOTH SL, RAJAN KB, SCHNEIDER JA, BARNES LL (2023): Association of Dietary Intake of Flavonols With Changes in Global Cognition and Several Cognitive Abilities. Neurology. 2023 Feb 14;100(7):e694-e702. doi: 10.1212/WNL.0000000000201541.

KÖNITZ R (2012): Der Einfluss ausgewählter oenologischer Verfahren auf die Polyphenolgehalte und die sensorische Weinqualität bei den Rebsorten Vitis vinifera Riesling, Spätburgunder und Cabernet Franc (Doctoral dissertation, Gießen, Justus-Liebig-Universität, Diss.,).

MC DONALD M S, HUGHES M, BURNS J, LEAN M E, MATTHEWS D, CROZIER A (1998): Survey of the free and conjugated myricetin and quercetin content of red wines of different geographical origins. Journal of agricultural and food chemistry, 46(2), 368-375.

PAJOVIĆ-ŠĆEPANOVIĆ R, WENDELIN S, EDER R (2018): Phenolic composition and varietal discrimination of Montenegrin red wines (Vitis vinifera var. Vranac, Kratošija, and Cabernet Sauvignon). European Food Research and Technology, Zeitschrift für Lebensmittel- Untersuchung und -Forschung (A). 244(12): 2243-2254.

SCHNEIDER V (2018): Orange-Wein: Tannine im Fokus, das deutsche Weinbaumagazin, Kellerwirtschaft, Nr. 10, 19. Mai 2018, S. 28.

TOMASCHEWSKI G, EBNER L (2000): Extrakt aus roten Weintrauben-Gewinnung und Einsatz in „Functional Foods “. Wissenschaftliche Beiträge 2004, 9. Jg., S. 74-81.

WUCHERPFENNIG K, FRANKE I (1963): Auftrennung von Weininhaltsstoffen durch Gel-Filtration. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 124(1): 22-35.

Adresse der Autoren

HBLA und BA für Wein- und Obstbau, Abteilung Forschung, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

* Ansprechpartner: HR DI Dr. Reinhard Eder, Reinhard.Eder@weinobst.at

POSTER

Exploring Xenobiotic Phase II Biotransformation in Human Samples by LC-MS/MS

Untersuchung der Phase II Biotransformation von Xenobiotika in Humanproben durch LC-MS/MS

Yasmin Fareed[1*], Dominik Braun[1], Mira Flasch[1], Daniel Globisch[2], Benedikt Warth[1]

Siehe Seite 19 ALVA-Förderpreis

Insektenförderungspotential verschiedener Grünflächen-Typen

Insect promotion potential of different types of green areas

Katharina Zenz*, Katharina Sandler, Katharina Pospisil, Daniela Lehner,
Christine Pavitschitz, Eva Erhart

Einleitung

Der starke Rückgang von Insekten in Österreich ist besorgniserregend, denn diese bestäuben nicht nur Wild- und Kulturpflanzen, sondern sind auch am Abbau organischer Materialien beteiligt und stellen wichtige Nahrungsquellen für viele Tiergruppen dar. Vor allem die Zerstörung von Lebensräumen, Flächenversiegelung, Umweltgifte und der Klimawandel tragen wesentlich zu ihrem Verschwinden bei (DEGUINES et al. 2016, KRATSCHMER et al. 2021, WARREN et al 2020, ZURBUCHEN & MÜLLER 2012).
Um diesen negativen Entwicklungen entgegenzuwirken ist es wichtig, Grünflächen in Siedlungsgebieten biodiversitätsfreundlich zu gestalten. Denn Blühflächen sind wichtige Lebensräume und zugleich essenzielle Nahrungsquellen für viele Tiergruppen. Damit tatsächlich biodiversitätsfördernde Wirkungen erzielt werden, sind Artzusammensetzung und -vielfalt der Pflanzen an einen Standort ausschlaggebend. In diesem Sinne befasst sich diese Studie mit dem Insektenförderungspotential sechs verschiedener Pflanzenmischungen.

Material und Methoden

Von 2021 bis 2022 wurde das Insektenförderungspotential sechs verschiedener Grünflächentypen (4 Blumenwiesen-Mischungen (zwei Blumenwiesenmischungen namhafter Hersteller: Blumenwiese - AS und Blühmischung – SM; eine standortangepasste Blühmischung aus regionalem Saatgut - BM, eine Wiese mit Einsaat - WE, ein Kräuterrasen - KR und ein Staudenbeet mit heimischen Wildpflanzen - SB) im Versuchsgarten der Bio Forschung Austria in Wien-Essling untersucht. Als Vergleichsfläche diente ein intensiv gepflegter Gartenrasen (IG).
Vegetationsaufnahmen: Zur Erfassung des Blütenangebots wurde der Blühaspekt der jeweiligen Versuchsfläche mit einer 5-teiligen Skala geschätzt, wobei 1 keine Blüten und 5 ein umfassendes, prächtiges Blütenangebot auf der ganzen Fläche bedeutete. Außerdem wurden alle Pflanzen, sowie deren phänologischer Zustand von April bis September erfasst, wobei der phänologische Zustand mit einer Skala von 0 (vegetativ) bis 5 (Fruchtansatz) notiert wurde.
Erhebung der Wildbienen: Wildbienenerhebungen fanden einmal pro Monat von April bis September bei mind. 16 °C Lufttemperatur, nicht zu hohen Windgeschwindigkeiten sowie einer geringen Bewölkung statt. Hierfür wurden die Tiere pro Fläche für jeweils 5 Minuten mithilfe eines Keschers gefangen und Wildbienen-Pflanzen-Interaktionen festgehalten. Individuen, bei welchen eine genaue Artbestimmung bereits im Feld stattfinden konnte, wurden mit Artnamen und Individuenzahl im Protokoll vermerkt und anschließend freigelassen. Die im Feld schwer zu bestimmenden Arten hingegen wurden mithilfe von Essigäther getötet und zur späteren Artbestimmung mitgenommen.
Erhebung der Tagfalter: Die Artanzahl, die Abundanz sowie der Blütenbesuch der Tagfalter wurde ebenfalls von April bis September in 15-minütigen Zählungen bei guten Wetterbedingungen erhoben. Bei eindeutiger Erkennbarkeit wurden die Tagfalter im Flug bestimmt. Andernfalls wurden sie mit Hilfe eines Keschers eingefangen und in ein Becherglas überführt. Dort wurden sie anschließend anhand von Merkmalen an der Flügelunterseite bestimmt, bevor sie wieder freigelassen wurden.
Erhebung der Blütenbesucherrate: Um die Häufigkeit der unterschiedlichen blütenbesuchenden Insektengruppen auf den Untersuchungsflächen zu untersuchen, wurde die Blütenbesucherrate erhoben. Die Zählungen fanden von April bis September bei gleichen Wetterbedingungen statt.
Bei jeder Begehung wurden alle Insekten, welche mit Blüten innerhalb einer repräsentativen 2 m² Fläche interagierten, für eine Minute gezählt und wie folgt klassifiziert: Honigbienen, Hummeln, andere Wildbienen, Wespenähnliche, Tagfalter, Schwebfliegen, andere Fliegen, Käfer, Heuschrecken, Wanzen, sowie sonstige auffällige Tiere wie Ameisen oder Spinnen.
Zur statistischen Auswertung wurden der Shannon-Wiener-Index als Maß für die Biodiversität, die Evenness als Maß der Gleichverteilung der Individuen einer Stichprobe auf verschiedene Arten, sowie eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Vegetationsaufnahmen: In der Fläche Wiese mit Einsaat (WE) wurden in beiden Jahren, mit 45 und 41 Arten die höchste Artanzahl gemessen. (Abbildung 1). Im Jahr 2021 stand die Blühmischung (SM) nur um eine Pflanzenart nach, wobei hier anzumerken ist, dass die meisten Pflanzen nicht aus der Saatgut-Mischung, sondern Beikräuter waren. Der intensiv gepflegte Gartenrasen (IG) war in beiden Jahren mit 14 bzw. 10 Arten die artenärmste Fläche. Die meisten insektenbestäubten Pflanzenarten konnten auf der Wiese mit Einsaat (WE), sowie im Staudenbeet (SB) gefunden werden und die Hälfte aller gefundenen Pflanzenarten wurden den vier Familien Asteraceae, Poaceae, Fabaceae und Lamiaceae zugeordnet. Das Staudenbeet wies in beiden Untersuchungsjahren die höchste Anzahl an Pflanzenfamilien auf.

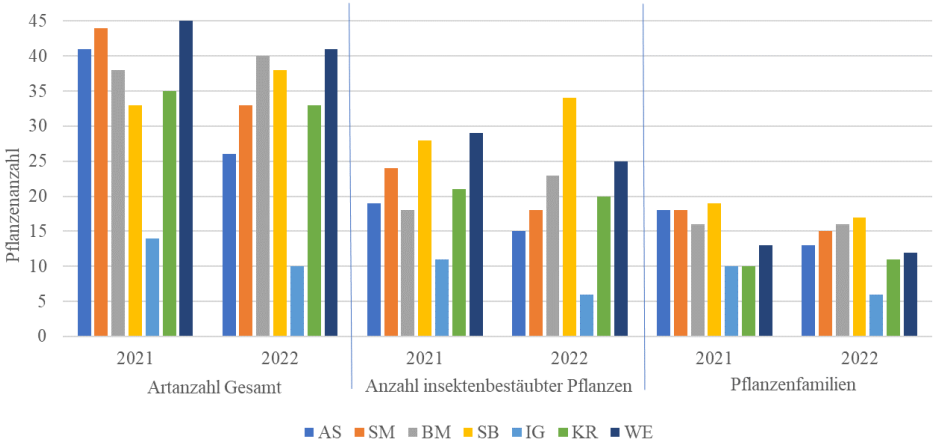


Abbildung 1: **Anzahl von Pflanzenarten und -familien pro Versuchsfläche in den Jahren 2021 und 2022. (AS) Blumenwiese, (SM) Blühmischung, (BM) Regionale Saatgutmischung, (SB) Staudenbeet, (IG) Intensiv gepflegter Gartenrasen, (KR) Kräuterrasen und (WE) Wiese mit Einsaat.**

Erhebung der Wildbienen: Insgesamt konnten 50 Wildbienenarten nachgewiesen werden. Sowohl im Jahr 2021 als auch im Jahr 2022 waren das Staudenbeet (SB) dicht gefolgt von der regionalen Saatgutmischung (BM) die in Summe am stärksten von unterschiedlichen Wildbienenarten frequentierten Flächen (Abbildung 2). Der intensiv gepflegte Gartenrasen wurde hingegen am wenigsten besucht. So konnten im gesamten Untersuchungszeitraum mit nur zwei Wildbienenarten die signifikant geringste Artenanzahl festgestellt werden. Diese Beobachtung deckt sich ebenso mit dem errechneten Shannon-Index (Abbildung 3). Dieser zeigt ebenfalls deutlich, dass Staudenbeet und regionale Saatgutmischung die höchste Wildbienendiversität aufweisen.

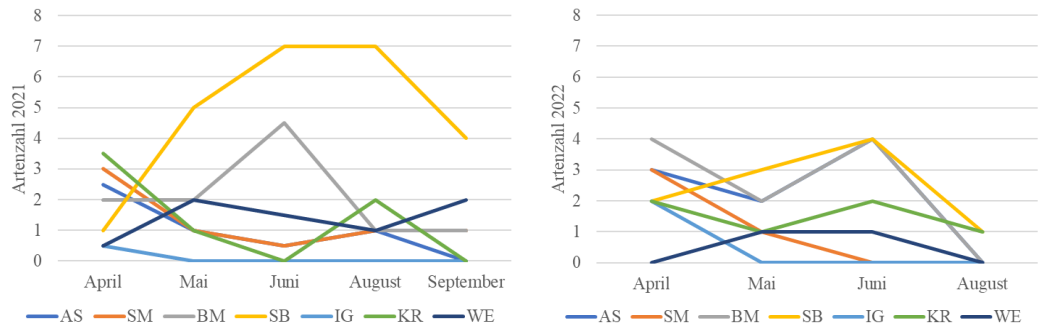


Abbildung 2: **Artenzahl der beobachteten Wildbienen auf den Untersuchungsflächen im Jahresverlauf 2021 und 2022. (AS) Blumenwiese, (SM) Blühmischung, (BM) Regionale Saatgutmischung, (SB) Staudenbeet, (IG) Intensiv gepflegter Gartenrasen, (KR) Kräuterrasen und (WE) Wiese mit Einsaat.**

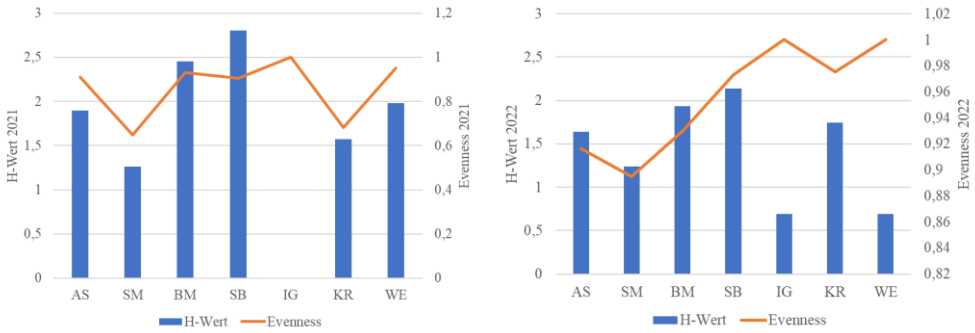


Abbildung 3: **Shannon-Index und Evenness für die Wildbienen der Untersuchungsflächen (AS) Blumenwiese, (SM) Blühmischung, (BM) Regionale Saatgutmischung, (SB) Staudenbeet, (IG) Intensiv gepflegter Gartenrasen, (KR) Kräuterrasen und (WE) Wiese mit Einsaat im Jahr 2021 (links) und 2022 (rechts).**

Erhebung der Tagfalter:
Insgesamt konnten auf den Flächen 26 Tagfalterarten nachgewiesen werden. Auf den meistbesuchten Flächen KR, WE und SB wurden Arten aufgenommen, welche auf keiner anderen Fläche gesichtet wurden (SB: Admiral, KR: Zweibrütiger Würfel-Dickkopffalter, Segelfalter, Kleiner Würfeldickkopffalter, Tagpfauenauge, WE: Schwarzkolbiger Braundickkopffalter, Kleiner Feuerfalter). Auf IG wurden hingegen die wenigsten Individuen und Arten gezählt (Abbildung 4).
Die zum Teil abrupte Zu- und Abnahme der Artenzahl in den beiden Untersuchungsjahren kann sowohl mit dem Auftreten der Tagfaltergeneration wie auch mit starken Änderungen des Wetters zusammenhängen. Denn die Witterung hat einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung und das Auftreten der Tagfalter. Längere kältere, heiße oder nasse Wetterperioden können den Tagfaltern das Leben erschweren und Einfluss auf ihre Entwicklung nehmen.

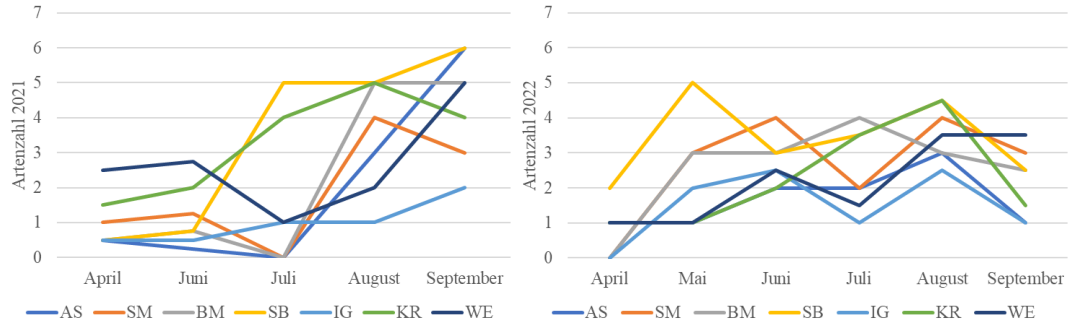


Abbildung 4: **Artenzahl der beobachteten Tagfalter auf den Untersuchungsflächen im Jahresverlauf 2021 und 2022. (AS) Blumenwiese, (SM) Blühmischung, (BM) Regionale Saatgutmischung, (SB) Staudenbeet, (IG) Intensiv gepflegter Gartenrasen, (KR) Kräuterrasen und (WE) Wiese mit Einsaat.**

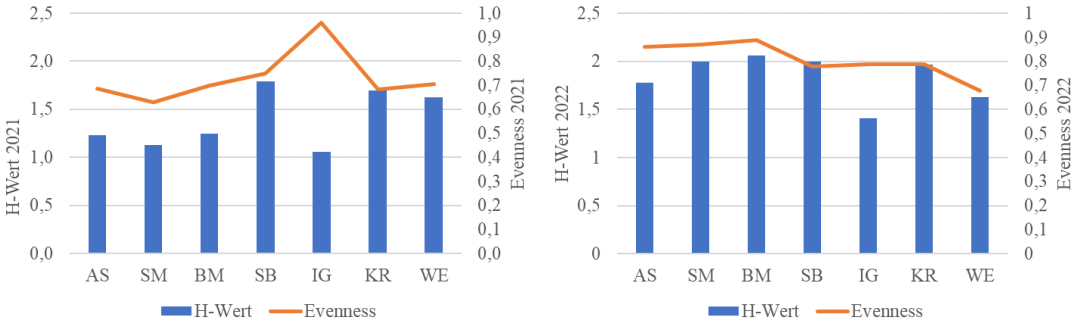


Abbildung 5: **Shannon-Index und Evenness für die Tagfalter der Untersuchungsflächen (AS) Blumenwiese, (SM) Blühmischung, (BM) Regionale Saatgutmischung, (SB) Staudenbeet, (IG) Intensiv gepflegter Gartenrasen, (KR) Kräuterrasen und (WE) Wiese mit Einsaat im Jahr 2021 (links) und 2022.**

Erhebung der Blütenbesucherrate: Generell gab es im Untersuchungsjahr 2021 mehr Blütenbesuche als im Untersuchungsjahr 2022. Das ist auf die starken Hitzeperioden in 2022 zurückzuführen. Die Flächen

vertrockneten und boten kein ausreichendes Nahrungsangebot für Blütenbestäuber. Insgesamt wurden 758 Blütenbesuche beobachtet, wobei die Flächen SB und SM am häufigsten besucht wurden und am seltensten die Fläche IG. Die Besucher waren meist Käfer und Wildbienen, gefolgt von Wanzen. Bei der Gruppe der Tagfaltern konnten nur 13 Individuen in Interaktion mit einer Blüte beobachtet werden. Die meisten Insekten bevorzugten die Stauden der Versuchsfläche SB. Vor allem die Tauben-Skabiose, das Kleine Habichtskraut, die Gewöhnliche Wiesen-Witwenblume, der Wiesen-Salbei, die Heide-Königskerze und die Zypressen-Wolfsmilch waren beliebt. Die Fläche SM war mit 203 Blütenbesuchen besonders populär. Die meisten Schwebfliegen und anderen Fliegen wurden auf den Blüten der Mauretanischen Malve, dem Rotklee und dem Echten Leinkraut der Versuchsfläche SM gezählt. Die Mauretanische Malve, der Rotklee und das Echte Leinkraut wurden außerdem stark von Käfern, Wanzen und Heuschrecken besucht Auf der Fläche BM suchten 2021 vor allem Heuschrecken am häufigsten die Kornrade auf. In 2022 wurde wiederum die Färber-Hundskamille verstärkt besammelt, gefolgt vom Einjährigen Berufskraut. Der Kräuterrasen war vor allem für Käfer und Fliegen interessant. Der Mittlere Wegerich wurde hier am meisten besucht. Auf der Wiese mit Einsaat konnten vor allem Käfer- und Heuschreckenbesuche auf der Wiesen-Margerite sowie dem Echten Labkraut beobachtet werden. Auf der Fläche IG gab es die wenigsten Blütenbesuche, nämlich auf Gundelrebe und Weißklee.

Diese Studie zeigte, dass Insekten vor allem Flächen mit heimischen Blütenpflanzen wie das Staudenbeet, die Regionale Saatgutmischung oder den Kräuterrasen besuchen. Außerdem bieten nicht zu intensiv gepflegte Flächen mit aufkommenden Beikräutern wie Löwenzahn, Kompasslattich, Gewöhnlichem Bitterkraut oder Purpurroter Taubnessel wichtige Nahrungsquellen für Insekten. Die Anwesenheit und das Überleben unterschiedlicher Tagfalter- und Wildbienenarten in einem Lebensraum ist zum einen von einer ausreichend vorhandenen, artspezifischen Nahrungsquelle und zum anderen von genügend, ebenfalls artspezifischen Kleinstrukturen für deren Reproduktion abhängig. Fehlt eine dieser beiden überlebenswichtigen Ressourcen in einem Lebensraum oder ist sie in einem nicht ausreichenden Maß vorhanden, verringert sich die Anzahl der überlebensfähigen Nachkommen drastisch und die Art verschwindet aus dem Gebiet. Die heimischen Stauden und Blütenpflanzen der Flächen SB und BM, aber auch von WE bieten den verschiedensten Insektengruppen eine ausreichende Nahrungsquelle. Zusätzlich finden die Tiere in der näheren Umgebung ausreichend Kleinstrukturen (Totholz, verdorrte Pflanzenstängel und andere Pflanzenteile, schütter bewachsene Bodenstellen, Steinhaufen usw.) für ihren Nestbau und als Überwinterungsmöglichkeit. Ein mit einem Mähroboter intensiv gepflegter Gartenrasen bietet hingegen keine ausreichenden Nahrungsquellen und ist frei von abwechslungsreichen Kleinstrukturen. Außerdem sind diese Roboter eine Gefahr für größere Tiere wie Igel, Eidechsen oder Frösche, aber auch für kleinere wie Spinnentiere und Insekten. So konnten Wildbienen beim Pollensammeln auf Löwenzahn und Gänseblümchen beobachtet werden, bevor sie vom aktiven Mähroboter überfahren und zerkleinert wurden. Eine gute Alternative hierzu stellt der Kräuterrasen dar. Dieser benötigt wenig Pflege, ist trockenverträglich und bedarf keiner zusätzlichen Wasser- und Düngergaben. Nicht nur reich an Nahrungsquellen und Nistplätzen, sondern auch optisch attraktiv ist das Staudenbeet, welches mit insektenfördernden Blütenpflanzen angelegt werden kann. Hier können auch die ansonsten unliebsamen insektenfördernden Beikräuter ihren verdienten Platz zwischen heimischen Staudenpflanzen einnehmen. In Kombination mit offenen Bodenflächen stellen diese Grünflächenelemente wichtige Lebensräume für Insekten dar, weswegen sie zur Förderung der Artenvielfalt empfohlen werden.

Zusammenfassung

Um Grünflächen in Siedlungsgebieten biodiversitätsfreundlich gestalten zu können wurde in der vorliegenden Arbeit das Insektenförderungspotential 7 verschiedener Grünflächentypen (Kräuterrasen, 4 Blumenwiesen-Mischungen, intensiv gepflegter Gartenrasen, Staudenbeet mit heimischen Wildpflanzen) untersucht. Es wurden Vegetationsaufnahmen durchgeführt, Blühaspekte erhoben, Wildbienen und Tagfalter Artanzahlen und Abundanzen erfasst, und die Blütenbesucherrate verschiedener Insektengruppen aufgezeichnet. Auf den Flächen wurden zwischen 2 (intensiv gepflegter Gartenrasen) und 25 Wildbienenarten (Staudenbeet), und zwischen 6 (intensiv gepflegter Gartenrasen) und 18 Tagfalterarten (Kräuterrasen) beobachtet. Im Staudenbeet wurden die höchsten Bienen-Individuenzahlen festgestellt. Der intensiv gepflegte Gartenrasen wies eine signifikant geringere Anzahl von Wildbienenarten und -individuen auf als alle anderen Untersuchungsflächen. In 43 Aufnahmen wurden 758 blütenbesuchende Insekten beobachtet. Die meistbesuchten Blütenpflanzen waren Mauretanische Malve, Heide-Königskerze, Wiesenmargerite und Taubenskabiose. Außerdem wurden besonders Beikräuter wie Löwenzahn,

Rotklee und Wegerich stark frequentiert. Die Ergebnisse zeigen, dass sich zur Förderung der Insektenvielfalt extensiv gepflegte Grünflächen mit heimischen Blütenpflanzen empfehlen. Diese stellen wichtige Lebensräume für Insekten dar und können als grüne Korridore und Trittsteinbiotope fungieren.

Abstract

In order to be able to design green spaces in settlement areas in a biodiversity-friendly way, the insect promotion potential of 7 different types of green spaces (herbaceous lawn, 4 flower meadow mixtures, intensively maintained garden lawn, perennial bed with native wild plants) was investigated in the present work. Vegetation surveys were conducted, flowering aspects were surveyed, wild bee and butterfly species numbers and abundances were recorded, and flower visitation rates of different insect groups were recorded. Between 2 (intensively maintained lawn) and 25 wild bee species (perennial bed), and between 6 (lawn) and 18 butterfly species (herbaceous lawn) were observed in the plots. The perennial bed had the highest number of bee individuals. The intensively maintained lawn had significantly lower numbers of wild bee species and individuals than all other study sites. In 43 surveys, 758 flower-visiting insects were observed. The most visited flowering plants were Mauritanian mallow, white mullein, meadow daisy, and pigeon cabbage. In addition, weeds such as dandelion, red clover, and plantain were especially highly frequented. The results show that extensively maintained green spaces with native flowering plants are more recommended for promoting insect diversity. These provide important habitats for insects and can act as green corridors and steppingstone biotopes.

Literatur

DEGUINES N, JULLIARD R, DE FLORES M, FONTAINE C (2016). Functional homogenization of flower visitor communities with urbanization. Ecology and Evolution. 6(7): 1967 – 1976.

KRATSCHMER S, ZETTEL H, OCKERMÜLLER E, ZIMMERMANN D, SCHODER S, NEUMAYER J, GUSENLEITNER F, ZENZ K, MAZZUCCO K, EBMER AW, KUHLMANN M (2021). Thread Ahead? An Experts‘ Opinion on the Need for Red Lists of Bees to Mitigate Accelerating Extinction Risks – The Case of Austria. Bee World. 98 (3): 74-77.

WARREN SM, MAES D, VAN SWAAY C, GOFFART P, VAN DYCK H, BOURN NAD, WYNHOFF I, HOARE D, ELLIS S (2020). The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible solutions. PNAS, 118(2): 1–10.

ZURBUCHEN A, MÜLLER A (2012). Wildbienenschutz – von der Wissenschaft zur Praxis. Zürich, Bristol-Stiftung; Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 162 pp.

Adresse der Autoren

Bio Forschung Austria, Esslinger Hauptstraße 132–134, A-1220 Wien

* Ansprechpartner: Katharina Zenz MSc, k.zenz@bioforschung.at

Österreichische Kartoffelsortenversuche im Rahmen des ADAPT-Projekts

Austrian potato variety trials in the ADAPT project

Alexandra Ribarits[1*], Svenja Bomers[1], Susanne Kirchmair[2],
Philipp von Gehren[1], Josef Söllinger[3]

Zusammenfassung

Das auf fünf Jahre angelegte EU Horizon-2020 Projekt ADAPT (Accelerated Development of multiple-stress tolerAnt PoTato) untersucht die molekularen und phänotypischen Reaktionen der Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.) auf abiotische Stressfaktoren. Ziel von ADAPT ist es, neue Strategien zu entwickeln, um die Kartoffel für die schwierigen klimatischen Bedingungen der Zukunft fit zu machen. Die Ergebnisse sollen Pflanzenzüchter:innen die Arbeit erleichtern, um der Landwirtschaft schneller und effizienter stresstolerante Kartoffelsorten zur Verfügung zu stellen. ADAPT vereint das akademische und angewandte Fachwissen von 17 internationalen Projektpartnern: Sieben Universitäten und drei Forschungseinrichtungen, vier Kartoffelzüchtungsunternehmen, ein Entwickler von Screening-Technologien, die non-profit EU-Organisation Europatat und die AGES. In acht verschiedenen Arbeitspaketen werden Methoden der Molekularbiologie, Stressphysiologie, Systembiologie und Analytik mit molekularer Züchtung und hochentwickelter Technik kombiniert. Arbeitspaket 6 ("Pathways to impact") sorgt für die gezielte und effiziente Nutzung und Umsetzung der Projektergebnisse sowie für deren Kommunikation und Verbreitung an verschiedene Zielgruppen. Die AGES führt gemeinsam mit dem österreichischen Kartoffelzüchtungsunternehmen NÖS Feldversuche durch, um die Ergebnisse aus den anderen Arbeitspaketen zu validieren und Verbesserungen der Standardprotokolle für die Wertprüfung (VCU) vorzuschlagen.

Material und Methoden

Im Jahr 2022 wurde das erste Jahr der österreichischen Kartoffelsortenversuche erfolgreich abgeschlossen. Dieselben 16 Kartoffelsorten wurde an vier verschiedenen Standorten in Österreich angebaut. Bei der Auswahl der 16 Sorten wurde darauf geachtet, dass diese ein breites Spektrum an abiotischer Stresstoleranz repräsentieren - von anfällig bis tolerant. Die Sorten wurden von den an ADAPT beteiligten Kartoffelzüchtungsunternehmen bezogen: Acoustic, Lady Rosetta und Musica von Meijer Potato, Colomba und Rosi von HZPC, Belmonda von Solana sowie Erika, Valdivia, Chiara, Meireska, Ditta und Graziosa von der NÖS. Darüber hinaus wurden Agata, Agria, Désirée und Spunta getestet. Die Sorte Désirée dient als Referenzsorte, die in alle Versuche des ADAPT-Projekts einbezogen wird. Um der Bedeutung des Biosektors sowohl in Österreich als auch in der EU Rechnung zu tragen, wurden die Feldversuche teilweise unter biologischen Anbaubedingungen durchgeführt. Alle Standorte befanden sich in Niederösterreich, genauer gesagt in 2286 Fuchsenbigl und 2042 Großnondorf (konventionell), sowie in 2011 Sierndorf und 3900 Schwarzenau (biologisch). An allen Versuchsstandorten wurde das Standardprotokoll für die Wertprüfung von Kartoffeln in Österreich befolgt und um weitere Datenerhebungen ergänzt.

Ergebnisse und Diskussion

Verschiedene technologische Ansätze ergänzten die phänotypische Bewertung der Sorten, um relevante Merkmale im Zusammenhang mit der Reaktion der Kartoffel auf abiotische Stressfaktoren zu ermitteln. Dazu zählten Drohnenflüge, Umweltsensoren einschließlich Bodensensoren, Knollenansatzprüfungen sowie RNA- und Metabolomanalysen.
Aus den Daten, die durch Drohnenflüge an zwei Tagen im Juni und Juli gesammelt wurden, konnten mehrere Indizes ermittelt werden, die potenziell Aufschluss darüber geben, wie die Pflanzen mit abiotischen Stressfaktoren umgehen. Konkret waren das die Indizes NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) und CIRED (Chlorophyll Index based on

NIR and RED band). Darüber hinaus wurde die Vegetationsbedeckung bestimmt, um die Entwicklung der Sorten zu untersuchen.
Zu den mittels Umweltsensoren gemessenen Umweltdaten zählten Luft- und Bodentemperatur, Luft- und Bodenfeuchte und Leitungsfähigkeit des Bodens, die im Laufe der Vegetationsperiode alle 20 Minuten über und innerhalb des Bestandes, so wie in 20 cm und 5 cm Tiefe gemessen wurden.
Der Zeitpunkt der Knollenbildung kann einen erheblichen Einfluss auf das Ertragspotenzial von Kartoffelsorten haben. Daher wurden an zwei Versuchsstandorten (Fuchsenbigl und Großnondorf) zusätzliche Parzellen angelegt, um die Unterschiede in dem Knollenansatz der 16 Sorten zu drei Zeitpunkten im Juni und Juli zu bewerten.
Um die unterschiedlichen Stressreaktionen der Sorten zu beobachten, wurde in Fuchsenbigl ein Versuch während der Wachstumsperiode viermal bewässert, während der andere nicht bewässert wurde.
An zwei Tagen im Juni und Juli wurden Blattproben für Laboranalysen entnommen, um stressbedingte Veränderungen in der Physiologie (Metabolomik) und in der Genexpression (RNA) zu untersuchen.

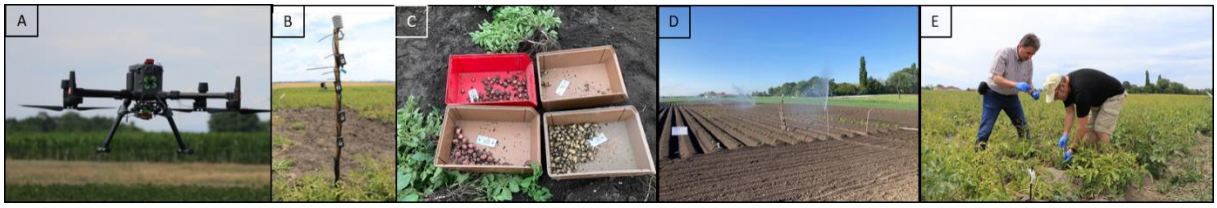


Abbildung 1: **Verschiedene technologische Ansätze zur Ermittlung relevanter Merkmale im Zusammenhang mit der Reaktion der Kartoffel auf abiotische Stressfaktoren in den Feldversuchen im Jahr 2022: (A) Drohnenflüge, (B) Umweltsensoren, (C) Knollenansaztzprüfungen, (D) Beregnung, (E) Entnahme von Blattproben für RNA- und Metabolomanalysen.**

Die Feldversuche generieren große Mengen an Daten, die uns helfen werden, die Schlüsselkomponenten der Anpassung an Umweltbelastungen zu identifizieren. Die Daten werden in den Modellierungsansatz des ADAPT-Partners National Institute of Biology (NIB) in Slowenien einfließen (Arbeitspaket 5). Darüber hinaus werden wir die Möglichkeit prüfen, die Bewertung der abiotischen Stresstoleranz als ein Merkmal in die Sortenprüfung aufzunehmen. Im Jahr 2023 ist das gleiche Versuchsdesign geplant, um die Ergebnisse der österreichischen Sortenversuche von 2022 zu validieren. Regelmäßige Updates und weitere Informationen finden Sie auf der Website des Projekts (adapt.univie.ac.at) sowie auf dem Twitter-Account (@eu_Adapt).

Förderung

Dieses Projekt wurde durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 der Europäischen Union (Grant Agreement GA 2020 862-858) gefördert.

Abstract

The five-year EU Horizon 2020 project ADAPT (Accelerated development of multiple-stress tolerant potato) investigates the molecular and phenotypic responses of potato (*Solanum tuberosum* L.) to abiotic stresses. The goal of ADAPT is to develop new strategies to make potatoes fit for the challenging climatic conditions of the future. The findings should facilitate the work of plant breeders in order to provide farmers with stress-tolerant potato varieties more quickly and efficiently. AGES is conducting field trials together with the Austrian potato breeding company NOES to validate results from other work packages and to propose improvements to the standard value for cultivation and use (VCU) testing protocols. The field trials generate large amounts of data that will help us unravel key components associated with adaptation to environmental stresses. We will furthermore assess the possibility of including the evaluation of abiotic stress tolerance as a characteristic in variety testing. In 2023, the same trial design is planned to validate the results of the 2022 Austrian variety trials.

Adressen der Autoren

[1] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Institut für Saat- und Pflanzgut, Pflanzenschutzdienst und Bienen, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

[2] Niederösterreichische Saatbaugenossenschaft (NÖS), Meires 25, A-3841 Windigsteig

[3] Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH (AGES), Institut für Saat- und Pflanzgut, Pflanzenschutzdienst und Bienen, Wieningerstraße 8, A-4020 Linz

[*] Ansprechpartnerin: DI Dr. Alexandra RIBARITS, alexandra.ribarits@ages.at

Weißbrand an *Physalis peruviana* – neu für Österreich

White smut of *Physalis peruviana* – new for Austria

Gerhard Bedlan[1], Julia Kauschitz[2], Juliane Reiterer[2], Stefan Hamedinger[3]

Einleitung

Am 13. September 2022 wurde im Gemüseanbaugebiet des Eferdinger Beckens (Oberösterreich) an lebenden Blättern und Kelchen von *Physalis peruviana* (Selektion `Schönbrunner Gold´) der Brandpilz *Entyloma australe* gefunden (KAUSCHITZ et al. 2023).

Material und Methoden

Die Brandsporen und Konidien wurden mit Wittmann's Blau gefärbt (WITTMANN 1970).
Die sexuelle als auch asexuelle Form wurden morphologisch bestimmt, die sexuelle Form molekularbiologisch bestätigt (KAUSCHITZ et al. 2023).

Ergebnisse und Diskussion

Historisches

Die Erstbeschreibung von *Entyloma australe* erfolgte von SPEGAZZINI (1880a) an lebenden Blättern von *Physalis hirsuta* aus Argentinien in Buenos Aires entlang des Rio de la Plata in der Nähe des Stadtteiles Recoleta im April 1880. Die Sori befinden sich subepidermal in weißen, verdickten, etwas eingewölbten Flecken blattunterseits. Die Sporen werden interzellular gebildet. Sie sind rundlich bis polygonal, hyalin und messen 10-14 µm im Durchmesser.
Im Juni 1880 findet SPEGAZZINI (1880b) in den Befallsflecken von *Entyloma australe* an lebenden Blättern von *Physalis hirsuta* einen Pilz mit Konidien, den er als *Cylindrosporium australe* definiert. Fundort ist der Stadtteil La Boca von Buenos Aires an der Einmündung des Riachuelo-Flusses in den Rio de la Plata.
Er beschreibt den Pilz so: Die Konidien sind fadenförmig, gerade oder gebogen, an beiden Seiten schmäler werdend (80-90 x 2-3), hyalin, körnig gefüllt, gebündelt-pinselartig aus den Stomata wachsend. Es erfolgte eine Umbenennung der asexuellen Form dieses Pilzes durch CIFERRI (1959) in *Entylomella australe*.

Schadbild

Auf den Blättern sind oberseits kleine, rundliche bis unregelmäßige, gelbe Flecken zu sehen, die einen Durchmesser von 1-5 mm (meist 2-3 mm) haben. Die Flecken können auch zu größeren Einheiten zusammenfließen. Sie sind gegenüber dem grünen Blattgewebe etwas erhöht und sehen „blasig aufgetrieben" aus. Blattunterseits sind darauf dichte weiße Strukturen zu sehen. Hält man so ein Blatt gegen das Licht, erscheinen die Flecken braun.
Die dichten weißen Strukturen blattunterseits wurden als ein Befall durch den Brandpilz *Entyloma australe* identifiziert. Es wurden sowohl die Brandsporen als auch die Sporen der asexuellen Form *Entylomella australe* nachgewiesen.

Krankheitserreger

Die Brandsporen messen 10-12 µm im Durchmesser. Sie sind glatt, rund, manche sind auch etwas oval geformt. Die Konidien der asexuellen Form sind dimorph: es werden sowohl kleine hakenförmige, als auch lange fadenförmige Konidien gebildet. Die hakenförmigen Konidien sind mehr oder weniger zylindrisch, an einem Ende leicht hakenförmig gebogen, hyalin, glatt, mit Öltropfen und messen 12,05-20,62 x 1,38-2,96 (im Durchschnitt 15,46 x 2,24 µm). Die fadenförmigen Konidien messen 20,62-52,24 x 1,24-2,62 µm (im Durchschnitt 32,17 x 1,75 µm). Die unterschiedliche Bildung zweier Konidientypen ist witterungsabhängig. So werden die hakenförmigen kleineren Konidien bei warmem, trockenem Wetter, beide Typen bei feuchtem und nassem Wetter gebildet (WARD 1887).

Die hakenförmigen Konidien werden sehr heftig abgestoßen, während die fadenförmigen Konidien von den sie hervorbringenden Hyphen leicht abgetrennt werden, jedoch nicht wie die hakenförmigen Konidien abgestoßen werden (HANNA 1938).
In den Samen getrockneter Früchte konnte dieser Brandpilz nicht nachgewiesen werden.
Beobachtungen am Karlsruher Naturkundemuseum sprechen dafür, dass der Pilz in der einjährigen Wirtspflanze in den Samen überdauert und nach dem Auskeimen der Jungpflanze diese ganz durchwächst (https://neobiota2021.de/de/ausstellung/neobiota).

Zusammenfassung

Der Weißbrand der *Physalis peruviana*, *Entyloma australe*, sowie dessen asexuelle Form *Entylomella australe* wurden im September 2022 erstmals für Österreich an *Physalis peruviana* (Selektion `Schönbrunner Gold´) nachgewiesen.

Abstract

White smut of *Physalis peruviana*, *Entyloma australe*, und its asexual stage *Entylomella australe* were first reported in September 2022 for Austria on *Physalis peruviana* (selection `Schönbrunner Gold´).

Literatur

KAUSCHITZ J, BEDLAN G, REITERER J, HAMEDINGER St (2023): First report of *Entyloma australe* on *Physalis peruviana* in Austria. New Disease Reports, *New Disease Reports*, 48, e12202. https://doi.org/10.1002/ndr2.12202

CIFERRI R (1959): Tentative arrangement of the conidial stages of *Tilletiaceae*. Omagiu lui Traian Savulescu cu prilejul implinirii a 70 de ani (1). Academia Republicii Populare Romine, p. 174-180

HANNA E F (1938): The discharge of conidia in species of *Entyloma*. Mycologia 30 (5), p. 526-536

SPEGAZZINI, C (1880a): Fungi Argentini. Anales de La Sociedad Científica Argentina 10 (1), p. 5-33.

SPEGAZZINI, C (1880b): Fungi Argentini. Anales de La Sociedad Científica Argentina 10 (4), p. 145-168.

WARD H M (1887): On the structure and life-history of *Entyloma Ranunculi* (Bonorden). Phil. Trans. Roy. Soc. London B178: 173-185

WITTMANN, W (1970): Ein neues Rezept zur Herstellung mykologischer Präparate. PflSchber., Bd. 41, Heft 5/6/7, p. 91-94.

Internet Ressourcen

https://neobiota2021.de/de/ausstellung/neobiota

Adressen der Autoren

[1] Phytopathologie Wien

[2] AGES GMBH, Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Wien

[3] BBK Eferding Grieskirchen Wels, Wels

[*] Ansprechpartner: Dr. Gerhard BEDLAN, phytopathologie@bedlan.at

Seimatosporium hypericinum, eine neue Blatt- und Stängelfleckenerkrankung an Johanniskraut in Österreich

Seimatosporium hypericinum, a new leaf and stem spot disease of St. John's wort in Austria

Astrid Plenk

Zusammenfassung

In den vergangen Jahren trat in österreichischen Beständen von Johanniskraut, Hypericum perforatum, eine neue Blatt- und Stängelfleckenkrankheit, die durch *Seimatosporium hypericinum* verursacht wird auf. Die typishen Symptome sind Nekrosen und Rissbildung an den Stängeln und rötlich-bernsteinfarbene nekrotische Flecken auf den Blättern. Pilze aus der Gattung Seimatosporium sind als Krankheitserreger an verschiedenen Nutz- und Zierpflanzengruppen bekannt. Sie befallen Blätter, Stängel und Früchte der Gattungen *Prunus, Rubus, Rosa, Salix, Cornus, Ledum, Rhododendron* und *Hypericum*. Da die Krankheit in den Beständen erst seit kurzem auftritt, können zum Scchadpotential derzeit nur wenige Aussagen getroffen werden. Auffällig war, dass in vershiedenen Saatgutproben der Erreger an Blätt- und Stängelresten festgestellt werden konnte. Ob dies zu einer Neuinfektion innerhalb der Bestände führt muss erst überprüft werden. Sollte dies der Fall sein, so müsste ein verstärktes Augenmerk auf die Reinigung von Saatgutpartien gelegt werden. Ferner müssen weitere Untersuchunge Klären, ob eine direkte Übertragung mit dem Saatgut möglich ist.

Abstract

In recent years, a new leaf and stem spot disease caused by *Seimatosporium hypericinum* has appeared in Austrian stands of St. John's wort, Hypericum perforatum. The typical symptoms are necrosis and cracking on the stems and reddish-amber coloured necrotic spots on the leaves. Fungi from the genus Seimatosporium are known as pathogens on various groups of useful and ornamental plants. They attack leaves, stems and fruits of the genera *Prunus, Rubus, Rosa, Salix, Cornus, Ledum, Rhododendron* and *Hypericum*. As the disease has only recently appeared in the stands, only few statements can be made about the damage potential at present. It was noticeable that the pathogen could be found on leaf and stem remnants in various seed samples. Whether this leads to a new infection within the stands must first be checked. If this is the case, more attention should be paid to the cleaning of seed lots. Further investigations must also clarify whether direct transmission with the seed is possible.

Adresse der Autorin

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Nachhaltige Pflanzenproduktion, Spargelfeldstraße 191, A-1220 Wien

* Ansprechpartner: Mag. Astrid Plenk, astrid.plenk@ages.at

Topfversuche mit *Beauveria*-Formulierungen zur Bekämpfung von *Melolontha melolontha* L.

Pot trials with Beauveria *formulations for the control of* Melolontha melolontha *L.*

Hannah Embleton, Maria Zottele, Lisa-Maria Raschbichler, Hermann Strasser

Einleitung

Das granuläre Produkt Melocont™-P mit dem Wirkstoff *Beauveria brongniartii* (BIPESCO 2) wird in Österreich seit mehr als 30 Jahren zur Bekämpfung vom *Melolontha melolontha* L. und *M. hippocastani* F. eingesetzt. Diese Formulierungsvariante ist in Steilhanglagen jedoch aufgrund der gängigen Applikationsmethode (Traktoren mit Schlitzsämaschinen) nicht anwendbar. Da ein starker Befall zu Ertragseinbußen, bis hin zu einer vollständigen Zerstörung der Grasnarbe führt, und diese wiederum das Risiko von Murenabgängen und Erdrutschen erhöht, benötigt es eine Dispersionsformulierung, welche zur Bekämpfung der Maikäferengerlinge im Steilhang mit passenden, leichteren Maschinen eingesetzt werden kann. Pilze wie *B. brongniartii* sind aufgrund ihrer Vielgestaltigkeit in der Lage, diverse Morphotypen zu bilden (Bernardo et al., 2020), welche unterschiedliche Eigenschaften bezüglich Hydrophobizität, UV-Resistenz, Virulenz, Herstellung und Lagerungsfähigkeit aufweisen. Um einer praxistauglichen Dispersionsformulierung näher zu kommen, wurde ein Topfversuch unter Gewächshausbedingungen durchgeführt, um Prototypformulierungen auf der Grundlage verschiedener anamorpher Stadien des Produktionsstammes BIPESCO 2 bewerten zu können. Zur Beurteilung der Wirksamkeit wurden den Töpfen Maikäferengerlinge zugesetzt, um neben der Persistenz auch die Mortalität durch die verschiedenen Pilzstadien über 16 Wochen zu beobachten.

Material und Methoden

Formulierungen: es wurden vier Prototypformulierungen basierend auf unterschiedlichen Stadien des Produktionsstammes BIPESCO 2 verwendet: Melocont™ Liquid (Kulturbrühe; Myzel, Blastosporen / Submerskonidien), Melocont™ WP (Sporenpulver; Luftkonidien), gewaschenes Melocont™-P und Melocont™-P (Myzel und Luftkonidien), wobei letzteres als Referenzprodukt diente. Die beiden Behandlungen `sterile Gerste´ und das Insektizid Agritox® dienten als Kontrolle. Die Konzentration der eingesetzten Produkte entspricht in etwa der Konzentration an Sporen, die auch in Feldapplikationen angestrebt wird (zwischen $1*10^{12}$ und $1*10^{13}$ Sporen pro Hektar).

Versuchsaufbau: Die Anordnung der Töpfe im Gewächshaus erfolgte nach dem Zufallsprinzip. In die Töpfe (340 x 145 x 134 mm) wurden zwei Kilogramm Erde gegeben und anschließend die unterschiedlichen Formulierungen hinzugefügt (sechs Töpfe pro Behandlung). Alle Produkte wurden gut mit dem Boden vermischt, mit Ausnahme der Gerstenkörner, die in regelmäßigen Abständen in den Boden eingebracht wurden. In drei der sechs Parallelen wurden Engerlinge eingesetzt und anschließend in allen Töpfen Grassamen ausgesät.

Probennahme und Evaluation: Mit einem Rillenbohrer wurden 7, 14, 28, 42, 56 und 108 Tage nach Ausbringung der Formulierungen Bodenproben entnommen, die Stichproben wurden zufällig verteilt im Topf gezogen. Die koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Gramm Boden Trockengewicht (TG) wurden mit Hilfe eines Standardverfahrens zur Reisolierung auf Selektivagar bestimmt (Laengle et al., 2005). Bei der letzten Probenahme wurden alle verbliebenen Engerlinge eingesammelt und die Mortalität in den jeweiligen Behandlungen errechnet. Alle während der Probenahme getöteten Larven wurden von der Gesamtzahl der Larven in dem betreffenden Topf abgezogen.

Ergebnisse und Diskussion

Die getesteten Pilzformulierungen führten zu einer hohen Pilzdichte, die während des gesamten Versuchs aufrechterhalten werden konnte. Aus den beiden Kontrollbehandlungen (Agritox® und sterile Gerste) wurden keine *Beauveria* Kolonien isoliert. Die erste Probenahme zeigte, dass die Behandlungen zu einer Pilzdichte über dem empfohlenen Niveau von 5.000 KBE g^{-1} Boden TG führten (Abbildung 1). Im Laufe des Versuchs nahm die Pilzdichte bei den Behandlungen Melocont_gewaschen, Sporenpulver

und Kulturbrühe ab, wobei die letzte Probenahme immer noch eine Pilzdichte > 1000 KBE g^{-1}- Boden TG aufwies. Im Vergleich zu den anderen Behandlungen zeigte die Anwendung von Melocont™-P eine größere Variabilität und Fluktuation der Pilzabundanz im Laufe der 16 Wochen, zum Beispiel stieg die Dichte von der fünften auf die sechste Probenahme nochmals an. Einzeln betrachtet zeigten die Behandlungen mit Melocont™-P und Sporenpulver eine signifikant höhere Pilzabundanz in Anwesenheit der Engerlinge ($p < 0,01$). Eine hohe Engerlingsmortalität wurde in den Behandlungen festgestellt. Da die meisten Engerlinge nach Ende des Versuches jedoch nicht mehr auffindbar waren, soll eine zusätzliche Untersuchung zeigen, dass die durch den Pilz verursachte Infektion zu einer Mineralisierung des Engerlings innerhalb der Versuchszeit von 16 Wochen geführt hat.

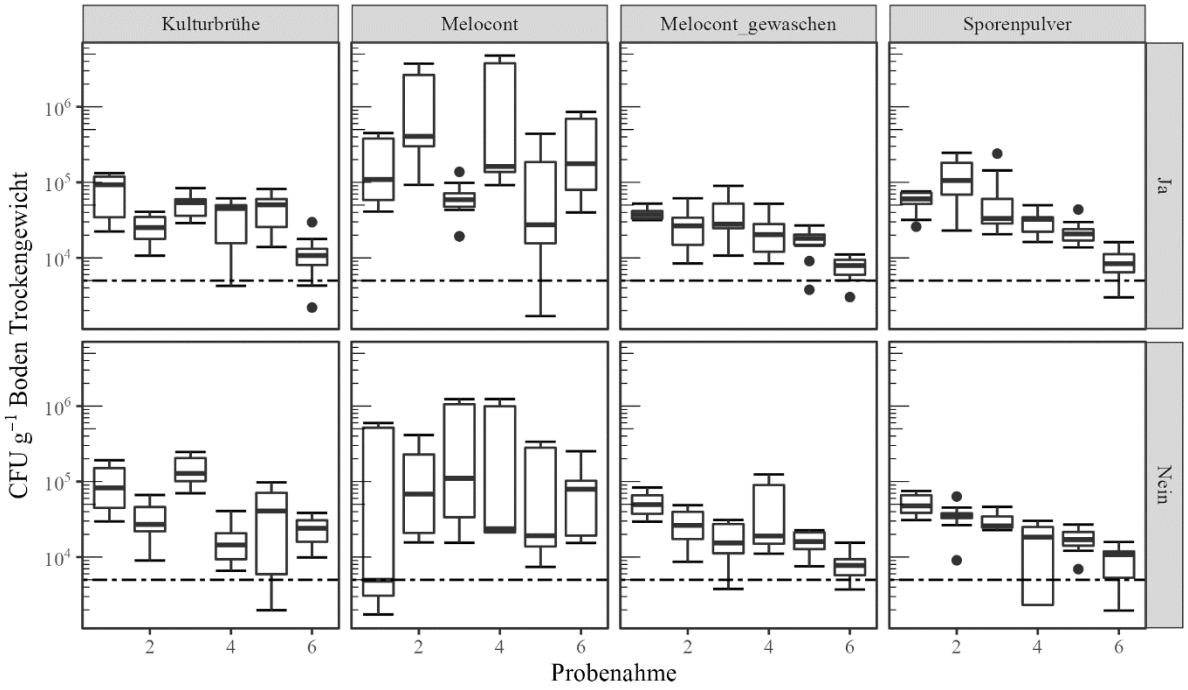


Abbildung 1: **Vier Pilzformulierungen - Melocont™ Liquid (Kulturbrühe), Melocont™-P (Melocont), gewaschenes Melocont™-P (Melocont_gewaschen) und Melocont™ WP (Sporenpulver) - wurden über einen Zeitraum von 16 Wochen in einem Topfversuch getestet. Die Probenahmezeitpunkte 1, 2, 3, 4, 5, 6 entsprechen den Tagen 7, 14, 28, 42, 56 und 108 nach der Behandlung. Die Auswirkung der Zugabe von Engerlingen wird durch Aufteilung der Daten in zwei Teilstichproben dargestellt. Ja: drei Töpfe pro Behandlung mit Engerlingen, und Nein: drei Töpfe pro Behandlung ohne Engerlinge.**

Zusammenfassung

Besonders steile Hänge in höheren Lagen sind erosionsgefährdet, weshalb eine gute Vegetationsdecke und Wurzeldichte notwendig ist, um diese Gefahr zu verringern (Tasser et al., 2003; Graiss et al., 2008). Mit der neuerlich verbesserten MMexit Applikationsmaschine kann eine Dispersionsformulierung zur Bekämpfung von Engerlingen in den Boden von Steilhängen ausgebracht werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass sowohl Kulturbrühe als auch Dispersionsformulierungen mit Luftkonidien vielversprechende Produkte darstellen können. Da ein solches marktreifes Dispersionsprodukt jedoch noch nicht fertig entwickelt wurde, sollen sich weitere Studien damit beschäftigen, welches anamorphe Pilzstadium in Bezug auf die Produktion, die Kosten, die Wirksamkeit und die Persistenz am besten geeignet ist. In laufenden Feldversuchen in Tux / Tirol wird die Praxistauglichkeit der verbesserten MMexit durch Einbringen einer flüssigen Sporenformulierung in den Boden der Steilhänge geprüft.

Abstract

Especially steep slopes in higher altitude are in danger of erosion, which is why a good vegetation cover and root density are necessary to decrease this risk (Tasser et al., 2003; Graiss et al., 2008). With the recently improved MMexit application technique, a dispersion formulation can be applied to the soil of

steep slopes to control white grub infestations. The results of this study show that both a culture broth and a dispersion formulation with aerial conidia could be promising products. However, as such a market-ready product is yet to be developed, further studies should focus on determining which propagule type is most appropriate regarding production, cost, effectiveness and persistence. Ongoing field experiments in Tux / Tyrol are assessing the practicability of the improved MMexit by injecting a liquid spore formulation into the soil of the steep slopes.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Firma Agrifutur s.r.l (Alfianello/Italien) und der Firma Samen Schwarzenberger GmbH (Völs/Tirol), welche uns für Testzwecke Melocont^{TM} Pilzgerste, die Flüssigwirkstoffe und das Bodensubstrat für die Topfversuche zur Verfügung gestellt haben. Auch möchten wir uns beim Amt der Tiroler Landesregierung (Abt. Landwirtschaftliches Schulwesen, Jagd und Fischerei) für die finanzielle Unterstützung bedanken.

Literatur

BERNARDO C C, PEREIRA-JUNIOR R A, LUZ C, MASCARIN G M, FERNANDES É K K (2020) Differential susceptibility of blastospores and aerial conidia of entomopathogenic fungi to heat and UV-B stresses. Fungal Biology 124(8), 714–722.

GRAISS W, KRAUTZER B, PARTL C (2008) The influence of vegetation on erosion following restoration in high zones. Conference proceeding, Interpraevent 2.

LAENGLE T, PERNFUSS B, RAFFALT J, STRASSER H (2005a) Appendices: Risk Assessment of Fungal Biocontrol Agents Standards. Sydowia 57.

TASSER E, MADER M, TAPPEINER U (2003) Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. Basic and Applied Ecology 4, 271–280.

Adresse der Autoren

Universität Innsbruck, Institut für Mikrobiologie, Technikerstraße 25a, A-6020 Innsbruck

Auswirkungen unterschiedlicher Unterstock-Bodenpflegemaßnahmen auf Nichtzielorganismen im Weinbau

Effects of different under-vine weed management strategies on non-target organisms in viticulture

Katharina Neubacher[1*], Markus Redl[1], Constanze Hauser[1], Silvia Winter[1], Siegrid Steinkellner[1], Monika Riedle-Bauer[2], Michael Kirchinger[3], Edgar Remmele[3]

Einleitung

Im Unterstockbereich konkurrieren Rebwurzeln mit Beikräutern um Wasser und Nährstoffe. Im Rahmen des Projektes „ABOW-AT“ (Alternative Beikrautregulierung im Obst- und Weinbau auf Basis autonomer Technologien) erfolgte neben der Testung der direkten beikrautunterdrückenden Wirkung unterschiedlicher Unterstock-Bodenpflegemaßnahmen auch eine Erhebung der Nebeneffekte auf Nichtzielorganismen wie Raubmilben, Ohrwürmer und arbuskuläre Mykorrhizapilze in Freilandversuchen. Raubmilben agieren als Antagonisten gegenüber Schadmilben (DUSO et al. 2012). Ohrwürmer werden bei geringer Populationsdichte zu den Nützlingen gezählt, bei zu hoher Populationsdichte können sie jedoch durch Kot an den Trauben einen Fehlton im Wein erzeugen (HUTH et al. 2009). Arbuskuläre Mykorrhizapilze weisen eine stressreduzierende, wachstumsfördernde Wirkung auf und verbessern das Abwehrverhalten der Pflanze gegenüber Pathogenen (TROUVELOT et al. 2015).

Material und Methoden

An einem Standort in Langenzersdorf wurden 5 Varianten der Beikrautregulierung und 1 Kontrollparzelle ohne Beikrautkontrolle in vierfacher Wiederholung im Jahr 2022 angelegt. Zu den 5 Varianten der Beikrautregulierung zählten eine mechanische Bodenbearbeitung, eine Behandlung mit synthetischen Herbiziden, die Regulierung mit einem natürlichen Herbizid, eine Kombination aus Bodenbearbeitung und natürlichem Herbizid sowie eine aufspritzbare Mulchabdeckung.
Die Erhebung der Raubmilbendichte fand 3-mal statt. Pro Wiederholung wurden 25 Rebblätter gesammelt, nach der Methode von BOLLER (1984) und HILL und SCHLAMP (1984) ausgewaschen, auf Filterpapiere überführt und angefärbt. Die unter dem Mikroskop ausgezählten Raubmilben wurden in Relation zur ermittelten Blattfläche gesetzt. Um die Ohrwurmdichte nach der Methode von HUTH et al. (2009) zu eruieren wurden Bambusfallen an 2 Terminen für 14 Tage an den Rebstöcken montiert. Anschließend wurden die Ohrwürmer auf Familienniveau ausgezählt. Die Kolonisierungsrate der Rebwurzeln mit arbuskulären Mykorrhizapilzen wurde einmalig im August 2022 erhoben. Pro Wiederholung wurden von 2 Rebstöcken Rebwurzeln aus einer Tiefe von 20-50 cm im Unterstockbereich entnommen. Die Rebwurzeln wurden nach der Methode von VIERHEILIG et al. (1998) gewaschen, mit H_2O_2 gebleicht, in KOH gekocht und mit Essig-Tinten-Lösung gefärbt. Der Kolonisierungsgrad wurde mikroskopisch bestimmt (MCGONIGLE et al. 1990).

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Raubmilbendichte waren über alle Varianten und Termine hinweg keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Die Raubmilbenanzahl nahm aber über die Saison ab. Die fehlende Signifikanz bei der Raubmilbendichte könnte auf ausreichende Nahrungsquellen durch die Fahrgasse und Pollen der Rebe zurückzuführen sein. Ein erhöhtes Aufkommen an Raubmilben zu Beginn der Bonitur-Termine im Frühling wurde bereits öfter beobachtet (MÖTH et al., 2021). Am 1. Bonitur-Termin konnte zwischen den Varianten kein signifikanter Unterschied bei der Ohrwurmdichte festgestellt werden. Die Mulchabdeckung führte einzig am 2. Bonitur-Termin zu einem signifikant erhöhten Auftreten an Ohrwürmern. Bei den Varianten mit einer Bodenbearbeitung im Unterstockbereich gab es aber ein tendenziell geringeres Vorkommen an Ohrwürmern. Das vermehrte Auftreten von Ohrwürmern unter der aufspritzbaren Mulchabdeckung könnte dadurch zu erklären sein, dass Ohrwürmer dazu tendieren, Gruppen zu formen und sich auf engem Raum gemeinsam aufzuhalten (ORPET et al., 2019). Ob die Mulchabdeckung auch als Nahrungsquelle für Ohrwürmer dient ist bisher unerforscht. Es konnten keine

signifikanten Effekte der Unterstockbodenpflegemaßnahmen auf arbuskuläre Mykorrhizapilze festgestellt werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Pflegemaßnahmen des schmalen Streifens unter den Rebstöcken kaum einen Einfluss auf die Nicht-Ziel-Organismen haben. Lediglich bei der Ohrwurmdichte gab es Effekte.

Zusammenfassung

Rebwurzeln und Beikräuter konkurrieren im Unterstockbereich um Wasser und Nährstoffe. Fünf Varianten der Beikrautregulierung (mechanisch, synthetische Herbizide, natürliche Herbizide, mechanisch/natürliche Herbizide kombiniert und aufspritzbare Mulchabdeckung) wurden in Langenzersdorf im Jahr 2022 getestet um Informationen zu den Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen zu erhalten. Die getesteten Varianten hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Raubmilbendichte auf den Rebblättern. Die Unterstock-Pflegemaßnahmen zeigten nur an einem Bonitur-Termin ein signifikant höheres Aufkommen an Ohrwürmern bei der Variante mit aufspritzbarer Mulchabdeckung. Einflüsse der Beikrautregulierung auf arbuskuläre Mykorrhizapilze konnten nicht festgestellt werden. Diese Studie liefert wichtige Ergebnisse zur Einschätzung der Wirkung von Bodenpflegemaßnahmen im Unterstockbereich im Weinbau auf Nicht-Ziel-Organismen.

Abstract

In the under-vine area, the main roots of the vine have to compete with weeds for water and nutrients Five variants of weed control strategies (mechanical, synthetic herbicides, natural herbicides, mechanical/natural herbicides combined, and sprayable mulch cover) were tested at Langenzersdorf in 2022 to gain information on the effects on non-target organisms. The tested weed control strategies had no significant effect on predatory mite density on grape leaves. The under-vine weed management strategies showed a significantly higher occurrence of earwigs in the version with sprayable mulch cover on only one sampling date. Influences of weed control on arbuscular mycorrhizal fungi were not detected. This study provides important results for assessing the effect of under-vine soil management practices on non-target organisms in viticulture.

Literatur

BOLLER E (1984): Eine einfache Ausschwemm-Methode zur schnellen Erfassung von Raubmilben, Thrips und anderen Kleinarthropoden im Weinbau. Schweiz. Z. Obs. Weinbau 120, 16–17.

DUSO C, POZZEBON A, KREITER S, TIXIER MS, CANDOLFI M (2012): Management of phytophagous mites in European vineyards, in: BOSTANIAN NJ, VINCENT C, ISAACS R (Eds.), Arthropod management in vineyards: Pests, approaches, and future directions. Springer Netherlands, Dordrecht, 191–217.

HILL GK, SCHLAMP HA (1984): Einsatz der Waschmethode zur Ermittlung des Raubmilbenbesatzes auf Rebblättern. Die Wein Wiss. 39, 255–262.

HUTH C, SCHIRRA KJ, SEITZ A, LOUIS F (2009): Untersuchungen zur Populations-Ökologie und Populationskontrolle des Gemeinen Ohrwurms *Forficula auricularia* (Linnaeus) in pfälzischen Rebanlagen. J Kulturpflanzen, 61,8, 265-27.

MCGONIGLE TP, MILLER MH, EVANS DG, FAIRCHILD GL, SWAN JA (1990): A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-abuscular mycorrhizal fungi. New Phytol. 115, 495-495.

MÖTH S, WALZER A, REDL M, PETROVIC B, HOFFMANN C, WINTER S (2021): Uneffected effects of local management and landscape composition on predatory mites and their food resources in vineyards. Insects 2021, 12, 180.

ORPET RJ, CROWDER DW, JONES VP (2019): Biology and management of European earwig in orchards and vineyards. J. Integr. Pest Manag., 10,21, 1–9.

TROUVELOT S, BONNEAU L, REDECKER D, VAN TUINEN D, ADRIAN M, WIPF D (2015): Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. Agron. Sustain. Dev. 35, 1449–1467.

VIERHEILIG H, COUGHLAN AP, WYSS U, PICHE Y (1998): Ink and Vinegar, a simple staining method technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. Appl. Environ. Microbiol. 64,12, 5004-7.

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien

[2] HBLA und BA für Wein- und Obstbau, Wienerstraße 74, 3400 Klosterneuburg

[3] Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe, Schulgasse 18, 94315 Straubing

[*] Ansprechpartnerin: DI Katharina Neubacher, katharina.neubacher@boku.ac.at

Bedeutung von Salatgemischen für die Ertragsstabilität im Ökologischen Anbau

Impact of lettuce line mixtures on yield stability in organic farming

Monika Götz[1*], Ulrike Behrendt[2]

Einleitung

Salate haben in Deutschland eine große Marktbedeutung. Nach Tomaten, Möhren und Zwiebeln stehen sie mit einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von 6,8 kg an vierter Stelle (Bundeszentrum für Ernährung 2019). Im Jahr 2020/21 wurden insgesamt rund 199.000 Tonnen Kopf- und Eisbergsalat konsumiert (Statistica 2022). Besonders stark ist die Nachfrage nach ökologisch erzeugten Produkten, die in Deutschland häufig aus dem europäischen Ausland gedeckt wird. Extreme Witterungsbedingungen und erhöhter Pathogendruck führen zu massivem Stress bei Pflanzen. Nur durch eine Sortimentserweiterung und Ertragsstabilisierung kann die Nachfrage nach Salat aus ökologischem Anbau befriedigt werden. Es werden Sorten mit verbesserter Stresstoleranz, guter Nährstoffverwertung, geringem Wasserbedarf und hoher Widerstandsfähigkeit, u. a. gegenüber dem Falschen Mehltau *Bremia lactucae* benötigt. Ziel war es daher, durch Anbau von Liniengemischen und Verwendung von Kreuzungspopulationen mit einer breiteren genetischen Basis und damit einer variableren Reaktion auf abiotische und biotische Stressfaktoren die Ertragssicherheit bei guter Produktqualität zu erhöhen.

Material und Methoden

Pflanzenmaterial: Zehn Liniengemische von Kopf- und Bataviasalaten sowie die Referenzsorten Neckarriesen (anfällig für *B. lactucae*) sowie Analena und Mafalda (widerstandsfähig gegenüber *B. lactucae*) wurden von 2017 bis 2021 unter praxisnahen Bedingungen angebaut.
Standorte: Die Prüfung der Liniengemische wurde an drei Züchter/Forschungsstandorten (Holste, Überlingen, Kleinmachnow bis 2019/Wolfenbüttel Ahlum ab 2020) durchgeführt. Die Erprobung ausgewählter Liniengemische auf ihre Anbauwürdigkeit erfolgte in vier Erwerbsbetrieben (Dietzenrode, Kreßberg, Überlingen, Vollersode). Die Standorte waren von Nord- bis Süddeutschland verteilt. Sie unterschieden sich stark in ihren Bodenwerten, dem Nährstoffangebot sowie der Witterungsbedingungen. Die Durchführung der Freilandversuche an den Standorten Kleinmachnow und Wolfenbüttel/Ahlum erfolgte auf ökologisch zertifizierten Versuchsflächen. Bei den anderen Standorten handelt es sich um Gartenbaubetriebe mit ökologischer Wirtschaftsweise nach den Demeter-Richtlinien.
Versuchsanlage: Die Liniengemische wurden jeweils im Vergleich zu den beiden Referenzsorten in zwei bis drei Sätzen pro Versuchsjahr angebaut. Der Anbau der Liniengemische an den Züchter/Forschungsstandorten erfolgte jährlich als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen (10 Liniengemische á 36 Pflanzen pro Parzelle/Wiederholung; in Wolfenbüttel/Ahlum 20 Pflanzen pro Parzelle/Wiederholung). Der erste Satz wurde im Frühjahr (Ende April bis Anfang Mai) angepflanzt und im Sommer zur Gemüsereife beurteilt. Der Herbstsatz diente der Sichtung in Bezug auf Resistenz gegenüber Schaderregern, insbesondere gegenüber *B. lactucae*. In den Erwerbsbetrieben wurde 2018 und 2019 mit einem reduzierten Prüfumfang von zwei Wiederholungen gearbeitet. Auch wurde das Prüfsortiment auf 5 Liniengemische begrenzt. 2020 und 2021 wurden zusätzlich zu den Gemischen ihre Komponenten einzeln angebaut.
Bonitur: Es wurde in Bezug auf Merkmale wie Erntefähigkeit, Homogenität des Habitus und Erntefenster sowie Krankheitsresistenz geprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Standortbedingungen und Befallssituation mit *B. lactucae:*
Entsprechend ihrer geografischen Lage waren die Wuchsbedingungen an den Standorten in den Jahren unterschiedlich. 2017 gab es durch die feuchte Witterung bedingt vor allem an den *Bremia*-relevanten Standorten wie Überlingen höhere Verluste (Tabelle 1). In Kleinmachnow wurde der Herbstsatz gegen Krähenfraß mit Netz abgedeckt, was einen sehr hohen *Bremia*-Befall bedingte (Tabelle 2).

In den extrem heißen und trockenen Jahren 2018 und 2019 litten die Salate besonders unter Hitzestress, was zu Ausfällen durch Innenbrand und Blattrandnekrosen führte. 2020 war ein durch die trockene Witterung sehr befallsarmes Jahr. Außer in Holste vor allem im ersten Satz gab es kaum Verluste durch *B. lactucae*. 2021 war der Befallsdruck dagegen hoch, erstmals auch am Standort Kreßberg.

Tabelle 1: **Erntefähigkeit (% Anteil marktfähiger Köpfe) der LG an den Züchterstandorten im Herbstsatz 2017 bis 2021**

	2017			2018			2019			2020				2021			
Herbst	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KB**	**WF**	**HO**	**ÜB**	**KB**	**WF**
LG 1	60	5	22	72	40	86	76	20	79	60	57	91	18	54	59		79
LG 2	59	1	47														
LG 3	79	10	44	92	35	93	79	25	91	40	62	91	20	64	74	81	84
LG 4	82	5	40	85	26	83	74	28	77								
LG 5	70	14	38	85	26	79	73	21	80								
LG 5n														87	81	89	74
LG 6	86	8	42	89	49	78	72	14	81								
LG 6n														92	88	90	92
LG 7	90	61	42	96	50	99	92	53	89	73	57	98	88	91	88	71	94
LG 8	97	57	52	99	71	99	98	45	90	72	88	96	88	91	85	84	87
LG 9	86	50	39	96	58	98	87	26	93								
LG 10	81	28	54	89	49	94	89	53	84	58	43	91	53	74	89	86	56
Neckarriesen	0	7	0	72	18	88	38	48	66	31	92	72	20	16	11	84	50
Analena	24	0	14	89	63	95	26	58	88								
Mafalda										38	88	90	50	95	82	96	96

0-19% erntefähig
20-39% erntefähig
40-59% erntefähig
60-79% erntefähig
80-100% erntefähig

HO Standort Holste
ÜB Standort Überlingen
KL Standort Kleinmachnow
WF Standort Wolfenbüttel Ahlum

Tabelle 2: **Ausfälle durch Bremia lactucae im Herbstanbau an den Züchterstandorten 2017 bis 2021**

	2017			2018			2019			2020				2021			
Herbst	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KLM**	**HO**	**ÜB**	**KB**	**WF**	**HO**	**ÜB**	**KB**	**WF**
LG 1	20	87	75	3	34	0	20	31	0	10	0	0	0	36	32		10
LG 2	19	73	31														
LG 3	14	69	51	4	48	0	15	32	0	11	1	0	0	24	12	16	0
LG 4	12	66	47	3	36	0	17	26	0								
LG 5	18	63	56	4	54	0	19	37	0								
LG 5n														8	5	10	0
LG 6	8	47	40	2	24	0	16	19	0								
LG 6n														2	0	8	0
LG 7	0	25	56	1	19	0	1	18	0	16	5	0	0	4	0	28	0
LG 8	3	30	47	0	15	0	0	11	0	11	1	0	0	5	5	15	8
LG 9	7	31	59	2	32	0	4	25	0								
LG 10	5	55	44	8	14	0	3	21	0	11	6	0	0	15	10	13	31
Neckarriesen	50	86	99	17	78	0	60	35	0	38	0	4	0	84	87	16	50
Analena	76	100	85	0	16	0	73	13	0								
Mafalda										0	0	1	0	0	0	1	0

Klasse 1 < 15 % Ausfall durch *B. lactucae*
Klasse 2 15-25 % Ausfall durch *B. lactucae*
Klasse 3 > 25 % Ausfall durch *B. lactucae*

HO Standort Holste
ÜB Standort Überlingen
KLM Standort Kleinmachnow
WF Standort Wolfenbüttel Ahlum

<u>Vergleich der Gemische zu den Einzelkomponenten:</u>
2019 wurden in Holste die Liniengemische sowie die einzelnen Komponenten der Gemische im Sommer und Herbst vergleichend angebaut. Um die Wirkung der Liniengemische herauszustellen, wurden die Ernteergebnisse und die Verluste durch *B. lactucae* zwischen den Liniengemischen und dem Mittelwert ihrer Einzelkomponenten verglichen. Insbesondere hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegenüber *B. lactucae* sind deutliche Effekte sichtbar (Abb. 1). Bei den Kopfsalaten erwiesen sich insbesondere im Herbstanbau 2019 alle Liniengemische (LG1 - LG6) jeweils deutlich weniger anfällig für *B. lactucae*

als der Mittelwert der jeweiligen Einzelkomponenten. Bei den Bataviasalaten, die im Vergleich zu den Kopfsalaten generell weniger anfällig für *B. lactucae* sind, war der positive Effekt durch die Liniengemische (LG7 bis LG10) ebenfalls sichtbar.

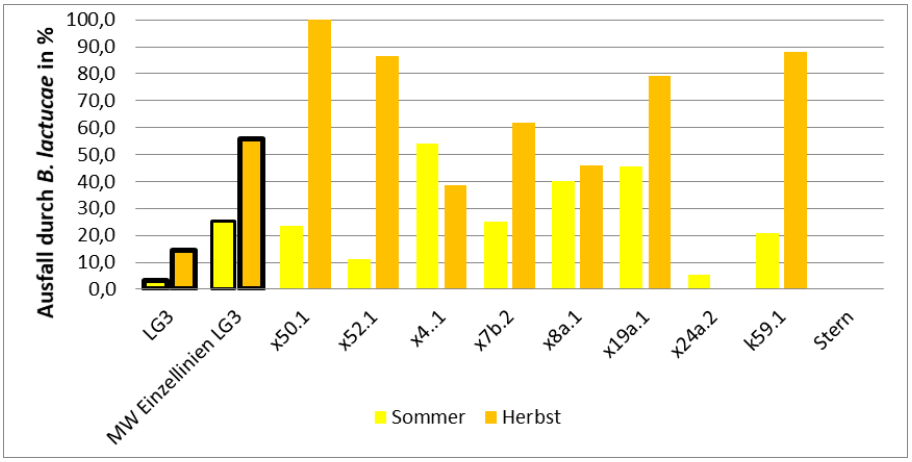


Abbildung 1: **Prozentualer Ausfall durch *Bremia lactucae* im Liniengemisch LG3 im Vergleich zu dem Mittelwert der Linien (MW Einzellinien) und den Einzellinien des Liniengemisches. Holste Sommer und Herbst 2019.**

Die stabilisierende Wirkung der Gemische spiegelt sich auch in den gesamten Ernteergebnissen wider (Abb. 2). Bei den Kopfsalaten waren die Erträge der Liniengemische deutlich stabiler als im Mittelwert der Einzellinien. Bei den Bataviagemischen kam der positive Effekt insbesondere dann zum Tragen, wenn für einzelne Komponenten des Liniengemisches eine erhöhte Anfälligkeit für *B. lactucae* vorlag.

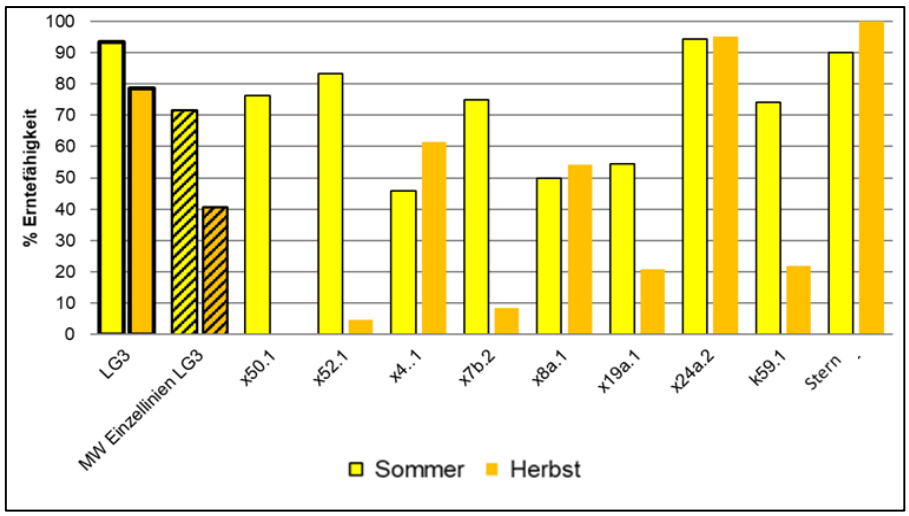


Abbildung 2: **Prozentuale Erntefähigkeit des Liniengemisches LG3 im Vergleich zu dem Mittelwert der Linien (MW Einzellinien) und den Einzellinien des Liniengemisches. Holste Sommer und Herbst 2019.**

2020 und 2021 wurden an insgesamt vier Standorten die Liniengemische mit dem Mittelwert aus den Einzelkomponenten verglichen. Der Mehrwert der Gemische bestätigte sich durch die geringeren Verluste durch *B. lactucae* an allen Standorten mit Ausnahme von LG7 in Kreßberg und LG5 in Wolfenbüttel Ahlum. Die Erntefähigkeit war entsprechend bei den Liniengemischen erhöht.
Wie für LG3 dargestellt ist (Abb. 3), enthielten die Liniengemische Einzellinien wie x24 und Stern, die dem Befallsdruck durch *B. lactucae* gut standhalten konnten, während andere wie x50 und x53 hoch anfällig waren. Daraus ergab sich im Herbst eine durchschnittliche Ausfallrate von 57 % gegenüber

16 % in dem Liniengemisch. Im Sommer war der positive Effekt des Liniengemisches ebenso sichtbar. Anfällige Einzellinien waren im Liniengemisch LG3 2021 bereits ausgetauscht.

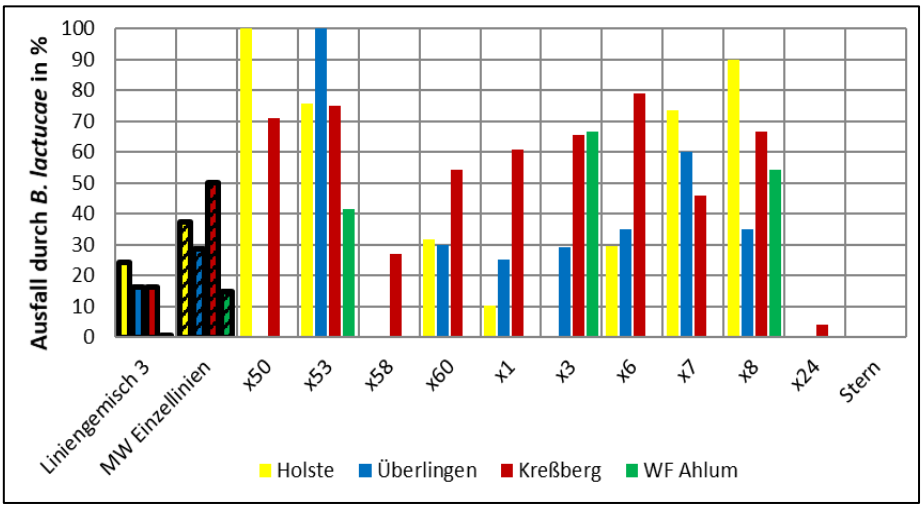


Abbildung 3: **Prozentualer Ausfall durch *Bremia lactucae* im Liniengemisch LG3 im Vergleich zu dem Mittelwert der Linien (MW Einzellinien) und den Einzellinien des Liniengemisches an den vier Standorten. Herbst 2021.**

Fazit: Die Liniengemische im Kopfsalatbereich sind phänotypisch für die Vermarktung ausreichend homogen, variabel in ihrer Reaktion gegenüber Stressoren wie *B. lactucae* sowie deutlich stabiler in der Ertragssicherheit und können das Angebot an Sorten zukünftig bereichern. Die Ernte kann eine gewisse Aufmerksamkeit erfordern, da bei entsprechender Befallssituation durch *B. lactucae* ein kleiner Teil der Pflanzen durch Infektion mit diesem Schaderreger ausfallen kann. Mit sehr hohen Ausfällen ist jedoch nicht zu rechnen.
Bei Bataviamischungen wurde bewusst eine vielfältige Zusammensetzung angestrebt, um im Rahmen der Vermarktungsstrategie „bunte Kiste“ in den Verkauf zu kommen. Die bunten Gemische werden direkt vom Feld in die Kiste geerntet. Sie können in der Regel in Einmalernte geschnitten werden, wenn der Termin nicht zu früh gewählt wird und haben dabei eine gute Feldhaltbarkeit. Bataviasalate sind aufgrund ihrer Feldresistenz gegenüber *B. lactucae* ertragsstabiler als Kopfsalate. Bei höherem Befallsdruck sind jedoch auch hier die Gemische gegenüber einzelnen Linien überlegen.
Mittlerweile stehen mehrere anbauwürdige Liniengemische aus Kopf- und Bataviasalaten für die Praxis zur Verfügung (Götz & Behrendt 2021).

Zusammenfassung

Durch den Anbau von Salat-Linienmischungen sollen Ertragsverluste durch den Falschen Mehltau *Bremia lactucae* reduziert und die Erträge im ökologischen Anbau stabilisiert werden. Bei Kopfsalat lagen die Erträge der Linienmischungen in der Regel über den Durchschnittserträgen der Einzellinien. Dies war auch bei Bataviasalat bei hohem Befallsdruck der Fall. Die Linienmischungen müssen jedoch regelmäßig an die aktuell auftretenden Rassen von *B. lactucae* angepasst werden. Dazu ist ein jährliches Monitoring der Pathogenrassen erforderlich.
Kreuzungspopulationen können insbesondere zum Austausch von *B. lactucae* anfällig gewordenen Linien in Linienmischungen genutzt werden.

Abstract

By cultivation of lettuce line mixtures yield losses due to Bremia lactucae infection should be reduced and harvests should be stabilised in organic farming. In lettuce, the yields of the line mixtures were generally higher than the average yields of the individual lines. This was also the case with Batavia lettuce under high infestation pressure. In any case line mixtures have to be adapted regularly to abundant races of *B. lactucae* from time to time. This requires annual monitoring of the pathogen races.

The crossbred populations can be used in particular to replace lines in the line mixtures that have become susceptible to *B. lactucae*.

Literatur

Bundeszentrum für Ernährung (2019): https://www.bzfe.de/inhalt/salate-erzeugung-6565.html.
GÖTZ M, BEHRENDT U (2021): Sortimentserweiterung und Ertragsstabilisierung bei Bio-Salaten – Anpassung an ökologische Anbaubedingungen und Verbesserung der Resistenz gegenüber „Falschem Mehltau“ (Bremia lactucae). Praxismerkblatt: www.orgprints.org/28390.
STATISTICA (2022): https://de.statista.com/statistik/daten/studie/290660/umfrage/konsum-von-kopf-salat-in-deutschland.

Adressen der Autoren

[1] Julius Kühn-Institut (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Messeweg 11-12, D-38104 Braunschweig

[2] Oldendorfer Saatzucht/Kultursaat e. V., Oldendorfer Landstr. 10. D-27729 Holste

[*] Ansprechpartner: Dr. Monika GÖTZ, monika.goetz@julius-kuehn.de

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Praxiserprobung eines neuen Züchtungskonzeptes für einen stabilen ökologischen Salatanbau“ (Förderkennzeichen: FKZ 2815OE048, FKZ 2819OE110) durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL) gefördert.

Samtfleckenkrankheit an Tomate - Eignung eines neuen Züchtungskonzeptes für den ökologischen Landbau und Überblick über die aktuelle Befallssituation in Deutschland

Tomato leaf mold – Suitability of a new breeding concept for organic farming and overview of the current infestation situation in Germany

Monika Götz[1*], Benjarong Karbowy-Thongbai[1*], Florian Jordan[2]

Einleitung

Im ökologischen Tomatenanbau stellt die Samtfleckenkrankheit, verursacht durch den Pilz *Fulvia fulva* (*Ff*, syn. *Passalora fulva*, *Cladosporium fulvum*) ein zunehmendes Problem dar. Zur Regulierung des Erregers werden resistente Sorten empfohlen, die umfassend vor Infektionen schützen sollen. In den letzten Jahren wurden insbesondere monogen bedingte Resistenzen immer häufiger durchbrochen. Ziel des Projektes war es daher eine neue, auf das Pathosystem Tomate/*F. fulva* angepasste Züchtungsstrategie (F4-Kreuzungsnachkommen) zu erproben. Weiterhin sollten neue Resistenzquellen erschlossen und validiert werden. Dabei standen die Ertragsstabilität sowie die Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber *F. fulva* im Fokus. Weitere Merkmale wie die Homogenität der Pflanzen- und Fruchteigenschaften, Nährstoffverwertungsvermögen, Festigkeit und Lagerfähigkeit der Früchte sowie ein ansprechendes Aussehen und guter Geschmack der Früchte wurden ebenfalls berücksichtigt.
Zudem sollte ein Überblick über die auftretenden Pathotypen von *F. fulva* in Deutschland gewonnen sowie deren Dynamik untersucht werden.

Material und Methoden

Kulturführung am Züchterstandort Holste: Der Anbau erfolgte im nicht geheizten Glashaus auf Dämmen, eintriebig im Reihenabstand von 1 m sowie 0,5 m in der Reihe. Die Pflanzen wurden mit kompostiertem Rinder- und Pferdemist gedüngt (350 dt ha^{-1}). Der Bestand wurde mit Heulage gemulcht. Die Bewässerung erfolgte als Sprühbewässerung von unten. Die Pflanzen wurden regelmäßig entblattet. Es wurden mehrmalige Jauchengaben mit Brennnessel durchgeführt. Alle Pflanzen wurden regelmäßig auf das Auftreten von *F. fulva* bonitiert.
Kulturführung am Standort Überlingen: Der Anbau erfolgte im geheizten Glashaus flach als eintriebige Layerkultur am hohen Spanndraht (3,20 m). Der Reihenabstand betrug 0,8 m, der Pflanzabstand 0,5 m. Es wurde mit präpariertem Pflanzen/Kuhmistkompost (300 dt ha^{-1}) und zusätzlich Ackerbohnenschrot auf Ertrag gedüngt. Die Bewässerung erfolgte über Tröpfchenschlauch und Sprühbewässerung von unten. Der Bestand wurde wöchentlich entblattet, gelayert nach dem Ankommen am Spanndraht und beerntet.
Pathogen: Zum einen standen definierte Pathotypen von *F. fulva* aus der Pathogenbank von MATREF (GEVES, Frankreich) zur Verfügung, zum anderen wurden kontinuierlich Isolate von symptomatischem Blattmaterial von diversen Standorten in Deutschland, Österreich und der Schweiz gewonnen (Meyer & Gärber 2021). Von den Kulturen wurden Einsporisolate hergestellt, die morphologisch und mittels DNA-Barcoding identifiziert wurden. Die Pathotypen ausgewählter Isolate wurden mittels Tomatendifferenzialsortiment von MATREF mod. nach CPVO-TP/044/4 sowie molekularbiologisch mod. nach Stergiopoulos et al. (2007) und Medina et al. (2015) analysiert.
Resistenzscreening der neuen Tomatenlinien: Die Untersuchungen wurden unter standardisierten Bedingungen nach der Richtlinie CPVO-TP/044/4 (modifiziert) durchgeführt. Ausgewählte Linien sowie Referenzsorten/-linien wurden auf ihre Resistenz gegenüber den *F. fulva*-Isolaten (*Ff* 1.2.5, *Ff* 2.3.6.9) getestet. Dazu wurden drei Wochen alte Pflanzen mit einer Sporensuspension ($1–5 \times 10^5$ Sporen ml^{-1}) tropfnass besprüht, drei Tage bei 100 % relativer Feuchte und anschließend bei ~ 80 % relativer Feuchte in einer vollklimatisierten Gewächshauskabine randomisiert kultiviert (22 °C, 12 h Licht/12 h Dunkel). Die Bonituren erfolgten 7, 14 und 21 Tage nach Inokulation auf Symptomausprägung und Sporulation des Pathogens.

Ergebnisse und Diskussion

Beim Projektpartner Oldendorfer Saatzucht (Kultursaat e. V.) standen zahlreiche Elternlinien zur Verfügung, die sich durch besondere Resistenzeigenschaften auszeichneten. Die Resistenzeigenschaften der daraus neu gekreuzten Nachkommenschaften/Linien gegenüber *F. fulva* wurden an den Züchterstandorten unter Praxisbedingungen sowie mittels Resistenzscreening mit definierten *F. fulva*-Isolaten unter standardisierten Bedingungen (JKI-G) überprüft. Während in den ersten Versuchsjahren noch häufig eine Aufspaltung der Eigenschaften einer Nachkommenschaft beobachtet werden konnte, war die F4-Generation deutlich homogener.
Im direkten Vergleich der natürlichen Infektionen mit *F. fulva* an den Züchterstandorten mit den künstlichen Infektionen am JKI/G im Jahr 2020 zeigt sich für den anfälligen Standard gr47 sowie für Roterno F1 eine sehr gute Übereinstimmung (Tab.1). Im Gegensatz dazu wurde bei den Nachkommenschaften für beide Isolate eine z. T. deutlich stärkere Infektion nach künstlicher Inokulation beobachtet, was auf die für das Pathogen optimalen Bedingungen in der Gewächshauskabine zurückzuführen ist. Bei Vergleich der Anfälligkeit/Resistenz der Linien bezogen auf die inokulierten *F. fulva*-Isolate zeigten sich wieder deutliche Unterschiede der einzelnen Linien. Diese Ergebnisse belegen die große Bedeutung des Screenings mit definierten *F. fulva*-Pathotypen.

Tabelle 1: **Befall von Tomaten mit *Fulvia fulva* bei natürlicher Infektion an den Praxisstandorten und nach künstlicher Infektion bei JKI/G 2020.**

		2020					
	Linie	**Praxisstandort Holste**	**JKI/G (*Ff* 1.2.5)**	**JKI/G (*Ff* 1.2.5)**	**Praxisstandort Überlingen**	**JKI/G (*Ff* 2.3.6.9)**	**JKI/G (*Ff* 2.3.6.9)**
Anfälliger St.	gr47						
Resistenter St.	RoternoF1						
Lösungsansatz 2 partielle Resistenz	x1						
	x2						
	x4						
	x6						
	x7						
	x9						
	ph49						
	ph50						
Lösungsansatz 1 F4 Nachkommenschaft	x10						
	x11						
	x13						
	x14						
	x16						
	x17						
	x18						
	x19						
	x20						
	x21						
	x22						
	x23						
	x24						
	x24a						
	x25						
	x27						
	W27						
	x29						
	x30						
	x32						

An diesem Standort nicht angebaut bzw. in diesem Versuch nicht mitgeführt
Alle Pflanzen (weitestgehend) befallsfrei
Nur ein Teil der Pflanzen befallen; Aufspaltung
Alle Pflanzen befallen; geringe-mittlere Ausprägung der Symptome
Alle Pflanzen befallen; Sporulation des Pathogens

Aus der Züchtungstätigkeit wurden diverse Linien mit vielversprechenden Resistenzeigenschaften auch gegenüber den neuen aggressiven *F. fulva*-Isolaten selektiert. In einem ersten Versuchsanbau wurden zwei dieser Linien an 5 Partnerstandorten auf ihre Eigenschaften hin evaluiert. Um weiterführende Aus-

sagen zur Züchtungsstrategie der F4-Nachkommenschaften zu erhalten, wurden Wiederholungskreuzungen angelegt und diese in ihren Eigenschaften mit den ursprünglichen Ausgangskreuzungen in der F2-Generation verglichen. Diese Überprüfungen zeigten vielversprechende Ergebnisse.

Screening auf Pathotypen von *F. fulva*:
Es wurden mehr als 110 Isolate von 32 Standorten gesammelt und identifiziert. Von 39 Isolaten wurde der Pathotyp ermittelt (Abb. 1) und eine Karte des Vorkommens unterschiedlicher Pathotypen in Deutschland erstellt (Abb. 2).

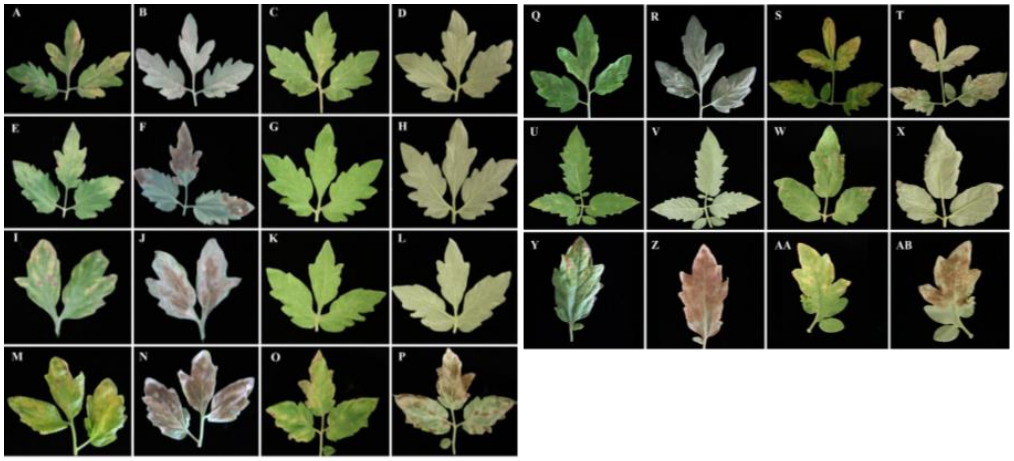


Abbildung 1: **Symptomentwicklung der Linien des Differenzialsortiments 21 Tage nach Inokulation mit Fulvia fulva Ff 1.2.3.6.9. Abgebildet sind jeweils die Blattober- und unterseiten von: A-B) 'Vagabond', C-D) 'Vagabond' F1 X IVT 1149, E-F) 'Vétomold', G-H) F1 'Vétomold' Cf-2 x IVT 1149 Cf-5, I-J) F77-38, K-L) IVT 1149, M-N) IVT 1154, O-P) 'Monalbo', Q-R) 'Purdue' 135, S-T) 'Stirling Castle', U-V) V121, W-X) 'Bellafonte', Y-Z) 'Moneymaker', AA-AB) F1 'Roterno'.**

Die Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit vor allem von der geografischen Lage in Deutschland, Österreich und der Schweiz diverse unterschiedliche Pathotypen des Erregers zu finden sind. Weitere Provenienzen des Erregers sind noch zu identifizieren (Abb. 2, gelbe Markierungen).

Abbildung 2: **Auftreten von Fulvia fulva-Pathotypen in Deutschland (Untersuchungen 2018 - 2022; gelbe Sterne: noch nicht identifizierte Isolate).**

Es treten deutschlandweit Isolate mit zwei bis 5 Avirulenzgenen auf. Isolate mit *Avr9*, die die *Cf-9*-vermittelte Resistenz brechen und ursprünglich in der Bodenseeregion auftraten, sind mittlerweile auch im Norden weit verbreitet. Interessant ist, dass Isolate mit *Avr5* bisher nur am Züchterstandort Holste zu finden sind. Isolate mit *Avr4* konnten bisher nicht gefunden werden. Nur bei einem Isolat konnte an der *Cf-4* aufweisenden Testsorte 'Purdue' eine leichte Infektion mit schwacher Sporulation gefunden werden, die molekularbiologischen Ergebnisse stimmten in diesem Fall nicht mit dem Screening am Testsortiment überein, so dass hier eine erneute Testung an der Sorte 'Purdue' erfolgen muss. Es konnten mehrere *F. fulva*-Pathotypen zeitgleich an einem Standort nachgewiesen werden. Zudem deutet sich eine Dynamik über die Jahre an. Konkrete Aussagen bezüglich des Auftretens bestimmter Pathotypen an unterschiedlichen Tomatensorten/-linien und deren Dynamik können auf Grund der zu geringen Datenlage noch nicht getroffen werden.

Zusammenfassung

Die die durch *Fulvia fulva* hervorgerufene Samtfleckenkrankheit stellt im ökologischen Tomaten-Anbau ein zunehmendes Problem dar, da bisherige, monogen bedingte Sortenresistenzen durch neue Pathotypen des Pilzes durchbrochen werden. Zur Lösung dieses Problems wurde eine neue Züchtungsstrategie für Tomate unter Verwendung von F4-Populationen getestet und neue Resistenzquellen erschlossen. Es konnten mehrere Tomatenlinien mit vielversprechenden Resistenzeigenschaften auch gegen die neuen aggressiven *F. fulva*-Pathotypen selektiert werden. Eine erste Überprüfung der Wiederholbarkeit des Züchtungsansatzes belegen dessen grundsätzliche Praxistauglichkeit. Diese Ergebnisse zeigen den bedeutenden Fortschritt der neuen Züchtungsstrategie, auf die in Zukunft aufgebaut werden kann, um die Ertragsstabilität im organischen Tomatenanbau zu gewährleisten und die auch für den integrierten Anbau von Nutzen sein kann.
Um die regionale Verbreitung und die Dynamik der Pathotypenentwicklung des Erregers zu erfassen, wurde das Auftreten von *F. fulva*-Pathotypen in Deutschland über mehrere Jahre untersucht. Die Daten liefern wichtige Informationen für Züchter und Anbauer, wie z. B. die Relevanz bestimmter Resistenzgene oder die Verwendung von Sorten mit einem Resistenzspektrum, das den am Anbauort vorkommenden *F. fulva*-Pathotypen entspricht.

Abstract

Tomato leaf mold, caused by *Fulvia fulva*, is an increasing thread in organic tomato production as previous monogenic resistance is broken by new pathotypes of the fungus. To overcome this problem, a new breeding strategy for tomato using F4 populations was tested and new sources of resistance were evaluated. A number of tomato lines have been selected with promising resistance characteristics, also to the new aggressive pathotypes of *F. fulva*. A first evaluation of the reproducibility of the breeding approach proves its basic practicability. These results show the significant progress of the new breeding strategy, which can be built upon in the future to ensure yield stability in organic tomato production and can also be useful for integrated tomato cultivation.
The occurrence of *F. fulva* pathotypes in Germany was studied over several years to determine the regional distribution and the dynamics of pathotype development. The data provide important information for breeders and growers, such as the relevance of specific resistance genes or the use of varieties with a resistance spectrum that corresponds to the *F. fulva* pathotypes occurring at the site of cultivation.

Literatur

CPVO-UPOV-Richtlinie Tomate TG44-11: http://www.cpvo.europa.eu/documents/TP/veg/TP_SOLANUM_LYCOPERSICUM_044-4Rev.pdf bzw. http://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg044.pdf
MEDINA R, LOPEZ SMY, FRANCO MEE, ROLLAN C, RONCO BL, SAPARRAT MCN, DE WIT PJGM BALATTI PA (2015): A survey on occurrence of *Cladosporium fulvum* identifies race 0 and race 2 in tomato-growing areas of Argentina. Plant Dis 99(12). 1732-1737. DOI: 10.1094/PDIS-12-14-1270-RE.
MEYER U, GÄRBER U (2021): Bestimmung der in Deutschland vorkommenden Pathotypen des Erregers der Samtfleckenkrankheit an Tomate, *Fulvia fulva*. J Kulturpflanzen 73, 32–40. DOI: 10.5073/JfK.2021.01-02.04.

STERGIOPOULOS I, DE KOCK MJD, LINDHOUT P, DE WIT PJGM (2007): Allelic variation in the effector genes of the tomato pathogen *Cladosporium fulvum* reveals different modes of adaptive evolution. MPMI 20(10): 1271–1283, DOI:10.1094 / MPMI -20-10-1271.

Adressen der Autoren

[1] Julius Kühn-Institut (JKI) Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün, Messeweg 11-12, D-38104 Braunschweig

[2] Oldendorfer Saatzucht/Kultursaat e. V., Oldendorfer Landstr. 10. D-27729 Holste

[*] Ansprechpartner: Dr. Monika GÖTZ, monika.goetz@julius-kuehn.de; Dr. Benjarong KARBOWY-THONGBAI, benjarong.karbowy-thongbai@julius-kuehn.de

Die Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts „Neues Konzept für die ökologische Tomatenzüchtung“ (Förderkennzeichen: FKZ 2815OE056, FKZ 2819OE120) durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL) gefördert.

Das Mycoinsektizid *Metarhizium*: Eine endophytische Pilzassoziation zum Nutzen der Rübenpflanze *Beta vulgaris*

The mycoinsecticide Metarhizium: an endophytic fungal association for the benefit of the beet plant Beta vulgaris

Chiara Cattani, Maria Zottele, Hermann Strasser*

Einleitung

Die kommerzielle Nutzung von entomopathogenen Pilzen als Bioinsektizide ist ein wichtiger Forschungsschwerpunkt, aber nur wenige Studien befassen sich mit der endophytischen Lebensweise dieser Organismen (VEGA et al. 2008). Entomopathogene zeigen verschiedene Interaktionen mit Pflanzen- sowohl als Endophyten als auch in der Rhizosphäre- wodurch sie eine wichtige ökologische Rolle spielen, unter anderem durch die Bereitstellung von Pflanzennährstoffen, durch die Förderung des Pflanzenwachstums und die Kontrolle von Pflanzenpathogenen (QUESADA-MORAGA et al. 2020). Diese neu entdeckte ökologische Funktion des endophytischen Wachstums stellt eine weitere Möglichkeit für integrierte Pflanzenschutzstrategien dar. Der Rübenderbrüssler (A*sproparthenis punctiventris*) ist ein wichtiger Pflanzenschädling in Europa, der schwere Schäden an Zuckerrübenkulturen verursachen kann. Da chemische Wirkstoffe durch Zulassungseinschränkungen vom Markt verschwinden sind biologische Alternativen gefragt. Der Einsatz von *Metarhizium* in der Zuckerrübe (*Beta vulgaris*)- sowohl direkt als auch endophytisch- soll nun als zusätzliche Maßnahme getestet werden.

Material und Methoden

Applikation: Für die Applikationen wurde das Produkt Granmet^{TM}-WP (Agrifutur s.r.l, Alfianello) auf Basis von *Metarhizium brunneum* Ma 43 in 0,1% Tween® 80 eingewogen und mit Antischiuma (Cifo Srl, Bologna) und NeoWett (Kwizda Holding GmbH, Wien) versetzt (laut Dosierempfehlung). Für die Kontrolle wurden Pflanzen mit 0,1% Tween® 80 behandelt. Die Sporensuspension wurde entweder durch eine Sprühapplikation auf die Blätter von Zuckerrübenpflanzen (BBCH 12; n=50 pro Behandlung; Sprühvolumen pro Pflanze: 2 ml; $5*10^7$ Sporen/ml) aufgetragen oder durch eine Inokulation des Bodens im Wurzelfußbereich unter Zuhilfenahme einer Pipette eingebracht (BBCH 12; n=50 pro Behandlung; Injektionsvolumen pro Pflanze: 100 µl; Sporenkonzentration: $5*10^7$ Sporen/ml).
Probennahme / *Metarhizium*- Monitoring: Nach 7, 14, 21 und 28 Tagen wurden jeweils 10 Pflanzen aus dem Gewächshaus entnommen und die gesamte Pflanzenbiomasse oberflächensterilisiert. Dafür wurden die Pflanzen 2 Minuten in 1,5% Natriumhypochlorit (NaClO), 2 Minuten in 70% Ethanol und dreimal 2 Minuten in sterilem destilliertem Wasser getaucht und anschließend in Wurzel-, Stamm- und Blattsegmente unterteilt. Aus diesen Teilen wurden je 10 Unterproben steril entnommen, auf selektives Sabouraud- 2%-Glukose- Agarmedium überführt und bei 25°C bis zu zwei Wochen inkubiert. Pilzliches Wachstum aus den Pflanzenteilen wurde makro- sowie mikroskopisch beurteilt. *Metarhizium* spp. Kolonien wurden vereinzelt und für eine nachfolgende genetische Analyse auf Genotypen- Niveau gesichert. Zusätzlich wurde die *Metarhizium* Abundanz im Bodensubstrat der Topfpflanzen nach LA-ENGLE et al. (2010) bestimmt.
Beurteilung Pflanzenwachstum: Um die Auswirkung der Behandlungen auf das Pflanzenwachstum beurteilen zu können, wurde ab Beginn der Behandlung bis zum Ende zweimal wöchentlich der TraitFinder (Phenospex B.V., The Netherlands) verwendet um Parameter wie Größe, Biomasse und Grünanteil zu beurteilen.

Ergebnisse und Diskussion

Unsere Untersuchung soll mögliche endophytische Interaktionen zwischen dem entomopathogenen Pilz *Metarhizium brunneum* und der Zuckerrübe nachweisen. Wir möchten zeigen, dass durch die Gegenwart des Pilzes *Metarhizium* die Pflanzen geschützt bzw. die Pflanzengesundheit gesichert werden kann. Dies erscheint uns besonders kurz nach dem Auflaufen der Pflanzen als wichtig, da zu diesem Zeitpunkt die Pflanzen besonders empfindlich und anfällig für Angriffe durch Krankheitserreger und Schädlinge sind.

Jüngste Arbeiten konnten bereits zeigen, dass *Metarhizium* spp. aktiv das Gewebe bestimmter Pflanzen besiedeln kann (z.B. BEHIE et al. 2015). Durch unsere *Metarhizium* Bodenapplikation konnten wir bereits erste Kolonisierungen im Wurzelbereich der Zuckerrübe feststellen. Durch die Sprühapplikation der Blattoberflächen konnte auch eine endophytische Besiedelung in den oberirdischen Pflanzenorganen der Zuckerrübe festgestellt werden (Abbildung 1A). Zudem konnte die Persitenz der Endophytisierung von *Metarhizium* nach der Sprühbehandlung der Blätter über einen Zeitraum von über 21 Tagen sichergestellt werden. Erst 28 Tage nach der Inokulation hat diese abgenommen. STONE & BIDOCHKA (2020) weisen darauf hin, dass *Metarhizium* das Pflanzengewebe in Abhängigkeit vom Pilzstamm, den Umweltbedingungen (z. B. ultraviolette Strahlung, Temperatur, Feuchtigkeit), der Wirtsart und der Inokulationsmethode besiedelt. Eine genaue Besiedelungsverteilung je nach Inokulationsmethode muss für die Zuckerrübe noch in weiteren Untersuchungen ausgearbeitet werden. Neben den ersten Hinweisen, dass *M. brunneum* Ma 43 grundsätzlich dazu in der Lage ist die Zuckerrübe endophytisch zu besiedeln, konnten wir mit beiden Inokulationsmethoden nach 14 Tagen eine Zunahme des Höhenwachstums und der Biomasse der behandelten im Vergleich zu den Kontrollpflanzen feststellen (Abbildung 1B).

Um zu testen, inwieweit endophytisches Wachstum von *Metarhizium* in der Zuckerrübenpflanzen das Verhalten und die Vitalität von Rübenderbrüsslern (*A. punctiventris*) beeinflusst, werden in einem Folgeversuch sowohl Choice- als auch Non- Choice Bioassays durchgeführt. Dafür werden entweder mit Pilz behandelte oder unbehandelte Kontrollpflanzen den Käfern als Futterquelle angeboten. Bei allen Pflanzen werden die Fraßschäden bestimmt und die Käfer bis zu ihrem Tod in Quarantäne gehalten. Auftretende Mykosen werden nach ihrer Vereinzelung ausgewertet. In Bioassays soll zusätzlich die direkte Behandlung der Käfer (5* 10^6 Sporen pro Individuum; n=20) getestet werden.

Nun gilt es, die positiven Zusammenhänge zwischen Pflanzenwachstum/ -gesundheit der Zuckerrübe und endophytischer Besiedlung mit *Metarhizium* weiter zu bestätigen und die Mechanismen der Besiedelung genauer zu beleuchten.

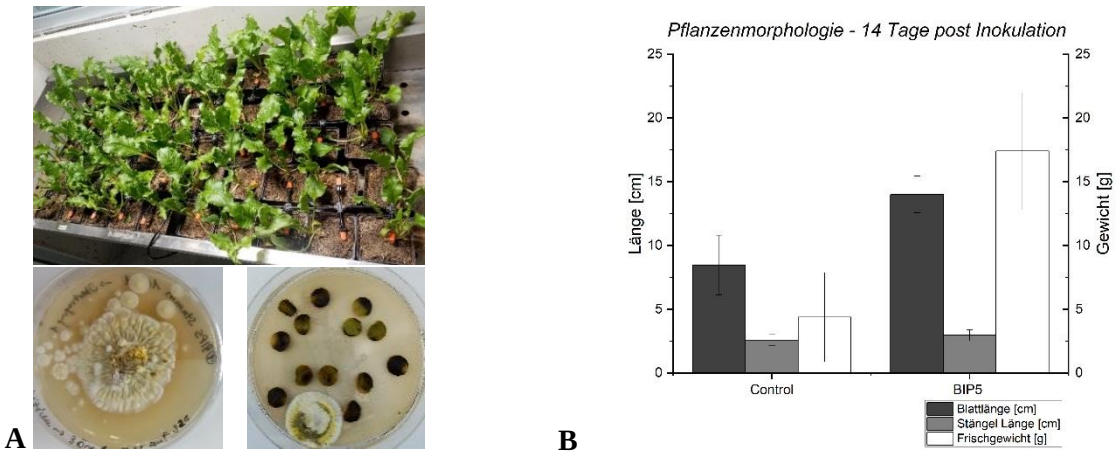


Abbildung 1: **Nach Behandlung von Zuckerrübenpflanzen soll ein endophytisches Wachstum des Pilzes Metarhizium erfolgen. Der Grad der Kolonisation wird durch Reisolation des Pilzes auf Selektivmedium beurteilt (A). Es gilt herauszufinden, ob Zuckerrüben durch eine Pilzbehandlung im Vergleich zu unbehandelten Pflanzen einen Gesundheits- und Ertragsvorteil erfahren (B).**

Zusammenfassung

Das Entomopathogen *Metarhizium brunneum* kann sich als Endophyt im Pflanzengewebe von Rübenpflanzen ansiedeln. Aufgrund seiner ökologischen Rolle als Endophyt kann sein Anwendungsbereich als Bioinsektizid und Biostimulans somit erweitert werden. Unter Verwendung des Sporenpulverprodukts Granmet™-WP (auf Basis des biologischen Wirkstoffes *M. brunneum* Ma 43) wurde der Grad der

Besiedlung von Zuckerrüben (*B. vulgaris*) untersucht. Darüber hinaus wurden die wachstumsfördernden und -stärkenden Eigenschaften von *Metarhizium* bei der Zuckerrübe analysiert. Diese Studie soll zeigen, ob die mit *M. brunneum* behandelte bzw. besiedelte Zuckerrüben –Pflanze vom Fraßschädling *A. punctiventris* nachhaltig geschützt werden kann. Neben der direkten Infektion soll auch das Verhalten der Käfer bei Anwesenheit des Pilzes beurteilt werden.

Abstract

The entomopathogen *Metarhizium brunneum* can endophytically colonise the plant tissue of sugar beet plants. Due to its ecological role as an endophyte, its scope of application as a bioinsecticide and biostimulant can thus be extended. Using the spore powder product Granmet^{TM}-WP (based on the biological agent *M. brunneum* Ma 43), the degree of colonisation of sugar beet (*B. vulgaris*) was investigated. In addition, the growth-promoting and -strengthening properties of *Metarhizium* in sugar beet were analysed. The aim of this study is to show whether sugar beet plants treated or colonised with *M. brunneum* can be sustainably protected from the pest *A. punctiventris*. In addition to direct infection, the behaviour of the beetles in the presence of the fungus will also be assessed.

Danksagung

Die Studie wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft finanziert (DaFNE Nr. 101749). Die Autoren bedanken sich bei den Firmen Agrifutur s.r.l. (Alfianello, Italien) und Samen Schwarzenberger GmbH (Völs, Österreich) für die Bereitstellung von Sachmitteln.

Literatur

BEHIE SW, JONES SJ, BIDOCHKA MJ (2015): Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi Metarhizium and Beauveria. Fungal Ecology 13, 112-119.

LAENGLE T, STRASSER H (2010): Developing a risk indicator to comparatively assess environmental risks posed by microbial and conventional pest control agents. Biocontrol Science and Technology 20, 659-681.

QUESADA-MORAGA E (2020): Entomopathogenic fungi as endophytes: their broader contribution to IPM and crop production. Biocontrol Science and Technology 30, 864-877.

STONE LB, BIDOCHKA MJ (2020): The multifunctional lifestyles of Metarhizium: evolution and applications. Applied Microbiology and Biotechnology 104, 9935-9945.

VEGA FE (2008): Insect pathology and fungal endophytes. Journal of Invertebrate Pathology 98, 277-279.

Adresse der Autoren

Leopold- Franzens Universität Innsbruck, BIPESCO Team Innsbruck, Institut für Mikrobiologie, Technikerstraße 25, A-6020 Innsbruck.

*Ansprechpartner: Dr. Hermann Strasser, hermann.strasser@uibk.ac.at

Glomerella Leaf Spot in Südtiroler Apfelanlagen und *in vivo*-Strategien

Glomerella Leaf Spot in southtyrolean apple orchards and *in vivo*-strategies

Evi Deltedesco*, Stefanie Primisser, Sabine Öttl

Einleitung

Glomerella Leaf Spot (GLS) ist eine relativ neu auftretende Pilzerkrankung des Apfels. Bisher wurde diese vor allem in feuchten, subtropischen Anbaugebieten Südamerikas und im Südwesten der USA beobachtet (Astolfi et al., 2022). Im Spätsommer 2019 konnte GLS erstmals in der Region Emilia-Romagna (Italien) in einer Cripps Pink$^{(cov)}$/Rosy Glow$^{(cov)}$-Ertragsanlage bestätigt werden. Im Herbst 2020 wurde ein erstes Auftreten im Südtiroler Etschtal bestätigt. Berichte aus den Anbaugebieten, welche bereits Erfahrung mit GLS haben, weisen auf eine sehr kurze Inkubationszeit hin. Innerhalb weniger Tage nach einer Infektion sind erste rötlich-braune bis violette Blattflecken erkennbar, welche sich rasch zu großflächigen, gelben Stellen entwickeln können (Alaniz, Cuozzo, Martínez, Stadnik, & Mondino, 2019; Casanova et al., 2017; Rockenbach et al., 2016; Velho, Alaniz, Casanova, Mondino, & Stadnik, 2015). Eine massive Entblätterung von bis zu 90 % des Blattmaterials ist möglich und diese kann zu einem erheblichen Rückgang der Produktivität führen (González, Sutton, & Correll, 2006; B. Wang, Li, Dong, Wang, & Zhang, 2015). Da die Photosyntheseleistung der Pflanze reduziert und die Nährstoffspeicherung der Apfelbäume stark beeinträchtigt wird, kann die Produktion im folgenden Jahr verringert sein (Araujo & Stadnik, 2013; Velho et al., 2015; C. Wang, Zhang, Li, Wang, & Dong, 2012). Zeitverzögert treten leicht eingesunkene, bräunliche und kreisförmige Läsionen von 1-3 mm Durchmesser auf den Früchten auf . Generell gelten Sorten, die Abkömmlinge der Sorte 'Golden Delicious' sind, wie beispielswese 'Gala' oder 'Cripps Pink$^{(cpvr)}$ ' und 'Rosy Glow$^{(cov)}$' als sehr anfällig für die Krankheit (Araujo & Stadnik, 2013; Rockenbach et al., 2016; Velho et al., 2015; Velho, Stadnik, & Wallhead, 2019). Hingegen nehmen Araujo and Stadnik (2013) an, dass Sorten der Gruppe 'Delicious' und deren Nachkommen wie z. B. 'Fuji', eine vollständige Resistenz gegen dieses Pathogen ausgebildet haben.

GLS kann durch verschiedene Arten der Gattung *Colletotrichum* hervorgerufen werden: Diese umfasst gegenwärtig fast 200 Arten, welche zahlreiche Kulturpflanzen infizieren können. Daher wurde *Colletotrichum* im Jahr 2012 von Experten unter die Top 10 der gefährlichsten Pflanzenpathogene weltweit gewählt (Dean et al., 2012). Die Taxonomie von *Colletotrichum* wurde in den vergangenen Jahren mehrfach Änderungen unterworfen: Eine umfassende Charakterisierung der zahlreichen *Colletotrichum*-Arten äußerst schwierig und bedarf einer Kombination aus morphologischer Identifizierung, molekularbiologischen Analysen sowie Pathogenitätstests. Um jedoch zumindest eine übergeordnete Identifizierung der pathogenen Arten zu erhalten, erfolgt die Zuordnung des Pilzes zu einem Artkomplex häufig mittels genetischer Analysen.

Beim Apfel spielen global gesehen zwei dieser *Colletotrichum*-Artkomplexe eine Rolle: Der *Colletotrichum gloeosporoides*-Komplex (CGSC; engl.: *Colletotrichum gloeosporoides* species complex) und *Colletotrichum acutatum*-Komplex (CASC; engl.: *Colletotrichum acutatum* species complex). Die molekularbiologische Zuordnung zu den Artkomplexen erfolgte bis vor Kurzem mittels phylogenetischer Analysen basierend auf der Sequenzierung von folgenden vier Genloci: Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase (GAPDH), Actin (ACT), β-Tubulin (TUB2) und Calmodulin (CAL) (Weir, Johnston, & Damm, 2012). Tiefergehende Sequenzanalysen zeigten kürzlich jedoch, dass die genetische Variabilität der Gattung *Colletotrichum* deutlich höher ist als ursprünglich angenommen, sodass für die eindeutige Identifizierung auf Artniveau die Analyse weiterer Genloci notwendig ist (Khodadadi et al., 2020; Martin, Krawczyk, Khodadadi, Aćimović, & Peter, 2021; Rojas et al., 2010; Willie Anderson Vieira et al., 2020; Willie AS Vieira et al., 2017). In der Folge haben sich weitere Genabschnitte, die für die DNA-Lyase (APN2) und Glutamine Synthetase (GS) codieren, sowie der intergenischen Region zwischen dem APN2-Locus und des mating-type-Gens (ApMat), als nützlich erwiesen, die verschiedenen *Colletotrichum*-Arten zu unterscheiden (Doyle, Oudemans, Rehner, & Litt, 2013; Willie Anderson Vieira et al., 2020; Willie AS Vieira et al., 2017).

Durch diese andauernde Überarbeitung der Taxonomie von *Colletotrichum* sp. kommt es laufend zur Beschreibung neuer Arten, von denen einige als Pathogene für den Apfel relevant sein können. In Brasilien und Uruguay werden GLS-Symptome beispielsweise vorwiegend durch *C. fructicola* (früher *C.*

gloeosporioides) verursacht (Alaniz et al., 2019; Prihastuti, Cai, Chen, McKenzie, & Hyde, 2009; Rockenbach et al., 2016; Velho et al., 2015); diese Art wird gegenwärtig der Musae-Gruppe des CGSC zugeordnet (Weir et al., 2012). Neuere Mitglieder der Musae-Gruppe, wie zum Beispiel *C. chrysophilum* oder die ebenfalls erst neu beschriebene Art *C. noveboracense*, wurden kürzlich in den USA mit der Bitterfäule des Apfels (ABR; engl.: apple bitter rot) in Verbindung gebracht (Khodadadi et al., 2020; Martin et al., 2021). Da es sich bei *C. chrysophilum* und *C. noveboracense* um sehr eng verwandte Arten von *C. fructicola* handelt, kamen Astolfi et al. (2022) zur Annahme, dass es sich möglicherweise bei den zuvor als *C. fructicola* beschriebenen Isolaten ebenfalls um *C. chrysophilum* und *C. noveboracense* handeln könnte. Deshalb hat dieses Forschungsteam repräsentative, GLS-verursachende Isolate aus Uruguay und Brasilien mit den insgesamt sechs der zuvor genannten Genloci neu bestimmt: ApMat, APN2, CAL, GAPDH, GS, TUB2, zudem wurde der nicht codierende DNA-Abschnitt der ribosomalen *internal transcribed spacer*-Region (ITS1) sequenziert (Khodadadi et al., 2020; Willie Anderson Vieira et al., 2020). Alle Isolate, welche zuvor der Art *C. fructicola* zugeordnet wurden, wurden nun als *C. chrysophilum* identifiziert.

In Südtirol wurde das Auftreten der Pilzkrankheit im Jahr 2020 und 2022 nach sehr warmen Sommertagen, gefolgt von stärkeren Niederschlägen und einer hohen Luftfeuchtigkeit, ab August beobachtet (Deltedesco & Oettl, 2023). Der Nachweis von GLS erfolgte bisher auf Blättern und Früchten der Sorten Rosy Glow$^{(cov)}$, Gala, Granny Smith und MC38$^{(s)}$/Crimson Snow® aus kommerziell bewirtschafteten Apfelanlagen. Aufgrund der wenigen offiziellen Berichte aus europäischen Anbaugebieten, sind Informationen zur Epidemiologie der Krankheit und folglich zu den Infektionsbedingungen und Bekämpfungsstrategien in unseren Breitengraden noch dürftig. Für weiterführende Untersuchungen zur Infektionsbiologie, zum Krankheitsverlauf und zur Entwicklung von zielgerichteten Bekämpfungsstrategien ist es deshalb von höchster Bedeutung: (a) die genaue Art des Krankheitserregers zu identifizieren, (b) *in vivo*-Pathogenitätstest durchzuführen, um einen wissenschaftlichen Zusammenhang zwischen dem Pilz als Krankheitserreger und dem Schadbild herzustellen und (c) die Sortenanfälligkeit gegenüber dem Erreger *in vitro* zu untersuchen, mit einem besonderen Schwerpunkt auf den aktuell in Südtirol angepflanzten Vertragssorten von hoher wirtschaftlicher Bedeutung.

Material und Methoden

Morphologische und genetische Charakterisierung:
Symptomatische Blätter und Früchte wurden im Jahr 2020 in stark betroffenen Cripps Pink$^{(cov)}$/Rosy Glow$^{(cov)}$ Anlagen im Etschtal beprobt. Im Labor wurden Explantate von nekrotisierten Blattflecken und Läsionen der Frucht entnommen und auf Kartoffeldextroseagar (PDA; engl.: potato dextrose agar)-Nährmedium bei optimalen Bedingungen (12 Stunden bei UV-A Licht/12 Stunden Dunkelheit-Photoperiode, 25 °C) kultiviert. Nach 5-10 Tagen erfolgte eine makroskopische Bestimmung des Pilzes anhand der Sporen. Anschließend wurde aus den Pilzkolonien die DNA mit dem kommerziell erhältlichen Kit DNeasy® Plant Mini (Qiagen, Germany) isoliert und acht Genloci (ApMAT, APN2, CAL, GAPDH, GS, TUB2, ACT und ITS) mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR; engl.: polymerase chain reaction) vervielfältigt und eine Sequenzanalyse (LGC Genomics GmbH, Deutschland) durchgeführt. Anschließend erfolgte ein BLAST (basic local alignment search tool)-Abgleich der einzelnen Sequenzen mit dem bereits veröffentlichten Vergleichserbgut in der NCBI (National Center for Biotechnology Information)-Datenbank. Die populationsgenetischen Zusammenhänge der in Südtirol vorkommenden Arten wurden anhand einer MLST (engl.: multilocus sequence typing)-Analyse, basierend auf der DNA-Information der acht obengenannten DNA-Abschnitte, untersucht. Zusätzlich wurden Sequenzen von Referenzisolaten, welche in der NCBI-Datenbank hinterlegt sind (*C. fructicola* CBS:125397 und AFK156; *C. tropicale* CBS:124949, *C. gloeosporioides* ICMP:17821 und *C. theobromicola* CBS:124949), in die phylogenetische Analyse integriert (Deltedesco & Oettl, 2023).

In vivo-Pathogenitätstest auf Früchten:
Im Jahr 2021 wurde die Überprüfung der Koch'schen Postulate wurde auf Früchten der Sorten Gala und Cripps Pink$^{(cpvr)}$/Pink Lady® durchgeführt: Für diesen *in vivo*-Pathogenitätstest wurde ein Versuch mit jeweils 16 Äpfeln im Labor durchgeführt. Zu diesem Zwecke wurde vom *Colletotrichum* sp.-Reinisolat

eine Sporenlösung hergestellt. Jede Frucht wurde mit 70 % EtOH oberflächensterilisiert und anschließend an fünf Stellen mit einer sterilen Nadel verwundet. Jeweils acht Früchte wurden mit einer Sporenlösung (1 x 10^6 Sporen ml^{-1}) in 0.05 % Tween20 behandelt, als Kontrolle dienten acht Früchte, welche mit einer Lösung ohne Sporen (0.05 % Tween20) inokuliert wurden. Die Früchte wurden bei hoher Luftfeuchtigkeit aufbewahrt und bei 25 °C für 12 Stunden bei Tageslicht und für 12 Stunden Dunkelheit eingelagert. Die Entwicklung der Symptome wurde laufend überprüft. Um die Koch'schen Postulate in ihrer Gesamtheit zu erfüllen, erfolgte die Re-Isolation des Pilzes aus den künstlich inokulierten Früchten und eine neuerliche genetische Bestimmung.

Sortenanfälligkeit:

In Zusammenarbeit mit dem VOG-Verband der Südtiroler Obstgenossenschaften wurden von Januar bis April 2023 *in vivo*-Pathogenitätstests auf aktuell in Südtirol angepflanzten Sorten durchgeführt: Gala, Scifresh(cov)/Jazz™, CivM49(cov)/RedPop®, Shinano Gold(cov)/yello®, Pinova, Ipador(cov) /Giga®, Red Delicious, Cripps Pink(cpvr)/Pink Lady®, Golden Delicious, Fuji, Bonita, Nicoter(cov/Kanzi®, Scilate(cov)/envy™, Granny Smith, Cripps Red(cpvr)/Joya®, SQ159(cov)/Natyra®, Scilate(cov)/envy™, Braeburn, WA 38(cov)/Cosmic Crisp® und MC 38(cov)/Crimson Snow®. Um einen möglichen Effekt der unterschiedlichen Lagerungsdauer der Sorten auf die Anfälligkeit gegenüber *Colletotrichum* auszuschließen, wurden die verschiedenen Apfelsorten, welche bereits seit der Ernte 2022 gelagert wurden, sukzessive nach genau fünf Monaten aus den Lagerungszellen geholt. Anschließend erfolgte, wie bereits oben beschrieben, ein *in vivo*- Pathogenitätstest mit jeweils sechs Früchten für die Inokulation mit Sporenlösung und jeweils sechs Früchte als Kontrolle. Die Früchte wurden bei hoher Luftfeuchtigkeit inkubiert und bei 25 °C für 12 Stunden bei Tageslicht und für 12 Stunden Dunkelheit eingelagert. Die Entwicklung der Symptome wurde laufend überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Die morphologische Bewertung der Isolate zeigte eine weiß-cremefarbene bis pfirsichfarbene Oberseite und eine graue Unterseite (Abbildung 1). Zusätzlich wurde eine mikroskopische Identifikation anhand der Sporen vorgenommen: Die Konidiosporen waren zylindrisch, mit abgerundeten Enden und hatten im Durchschnitt eine Länge von 16.39 ± 1.37 µm und 5.75 ± 0.81 µm Breite (*n = 33*), ähnliche morphologische Merkmale wurden in der Literatur für die Art *C. chrysophilum* beschrieben (Fuentes-Aragón et al., 2021).

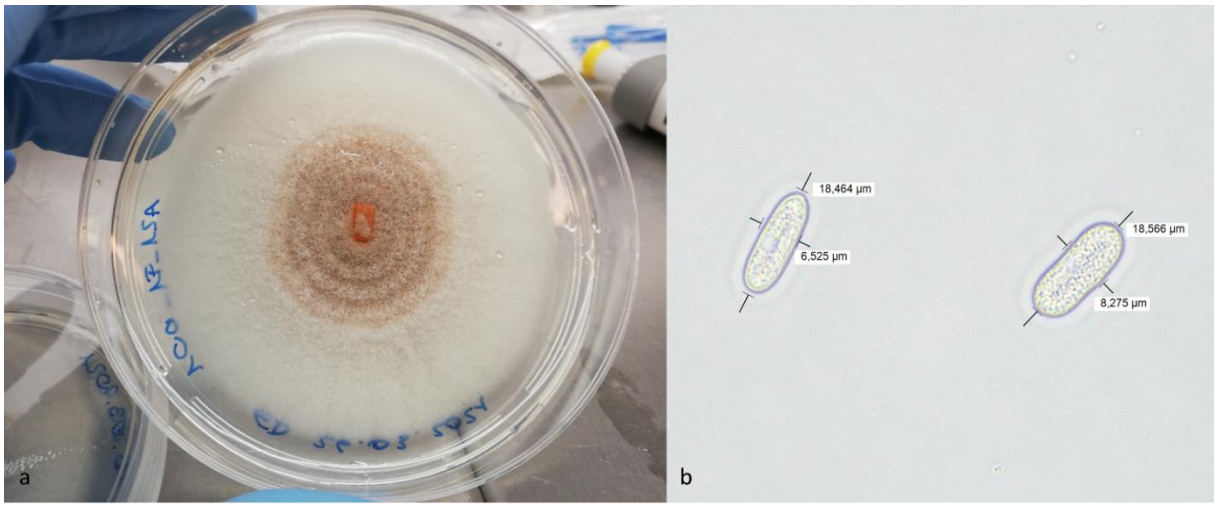


Abbildung 1: **(a) Morphologie von *Colletotrichum chrysophilum* auf dem Nährmedium (PDA) und (b) Konidiosporen im Mikroskop**

Die phylogenetische Analyse (Abbildung 2) bestätigte die Zuordnung der aus Südtirol stammenden *Colletotrichum*-Isolate zur Art *C. chrysophilum* . Dabei ergab die MegaBlast-Analyse eine 100 %ige Identität zum Referenzgenom von *C. chrysophilum* für ITS (NR_160821), für ACT (KX093982), APN2 (KX094018), CAL (KX094063), GAPDH (KX094183); eine Identität von 99,29 % zeigte sich für TUB2 (KX094285), 99,85 % für Mat1-2 (KX094325) und 99,87 % für GS (KX094204). Die Sequenzen wurden in der NCBI-GenBank hinterlegt (ITS: OK485032; ACT: OK539650; APN2: ON624100; CAL:

ON624104; GAPDH: OK539654; GS: ON624108; TUB2: OK539658; Mat1-2: ON645973) (Deltedesco & Oettl, 2023).
Der *in vivo*-Pathogenitätstest zur Erfüllung der Koch'schen Postulate wurde erfolgreich durchgeführt: Erste Symptome traten fünf Tage nach der Inokulation mit Sporenlösung auf den Früchten auf. Nach 15 Tagen Inkubation wurden Symptome nur an den mit der Sporensuspension inokulierten Äpfeln beobachtet: an 95 % der einzelnen Wunden von Cripps Pink$^{(cpvr)}$/Pink Lady® und an 77,5 % von Gala. Durch die Re-Isolation des Pilzes und der molekularbiologischen Identifikation der Reinisolate als *C. chrysophilum*, wurden die Koch'schen Postulate in ihrer Gesamtheit erfüllt. Die Sequenzen wurden wiederum in der Datenbank hinterlegt (ITS: OK485033-OK485035; ACT: OK539651-OK539653; APN2: ON624101-ON624103; CAL: ON624105-ON624107; GAPDH: OK539655-OK539657; GS: ON624109; TUB2: OK539659-OK539661; Mat1-2: ON645974-ON645976). Bisher bestätigte eine Studie *C. chrysophilum* ausschließlich als Erreger der Apfelbitterfäule in Europa (Cabrefiga, Pizà, Vilardell, & Luque, 2022). Astolfi et al. (2022) reklassifizierten *C. chrysophilum* aber als Hauptverursacher von GLS bei Äpfeln in Südbrasilien und Uruguay und betonten, dass *C. chrysophilum* auch der potenzielle Erreger von GLS in Europa sein könnte. Dies bestätigt die Beobachtungen aus dem Jahr 2020 in Südtirol, wo massive Blattflecken den Symptomen an Früchten vorausgingen (Deltedesco et al 2022). Der Pathogenitätstest wurde in der Zwischenzeit auch erfolgreich auf den Blättern von Golden Delicious-Sämlingen durchgeführt und somit kann *C. chrysophilum* als effektiver Erreger von GLS in Südtirol bezeichnet werden (Manuskript in Bearbeitung).
Vorläufige Ergebnisse zur Sortenanfälligkeit zeigten, dass es möglich ist, alle Sorten unter Laborbedingungen zu inokulieren. Es ist denkbar, dass (a) eine aus anderen Anbaugebieten berichtete Resistenz einzelner Sorten gegenüber *Colletotrichum*-Arten lediglich aus Feldbeobachtungen stammt und daher andere Ursachen als eine genetische Resistenz anzunehmen sind (Rockenbach, Velho, Alaniz, & Stadnik, 2018). (b) Eine systematische Überprüfung der Sortenanfälligkeit *in vitro* fehlt in den Literaturangaben hingegen bislang. (c) *C. chrysophilum* eine höhere Pathogenität aufweist als andere *Colletotrichum* Arten.
Diese Ergebnisse zur Identifikation der pathogenen Art, die Bestätigung des Erregers sowie die Bewertung der Sortenanfälligkeit bilden nun die Grundlage für *in vitro*- und *in vivo*-Screenings von fungiziden Wirkstoffen und Biologicals der neuen Generation. Zusammen mit agronomischen Maßnahmen sollen diese Erkenntnisse zur Erarbeitung gezielter, maßgeschneiderter Pflanzenschutz- und Eindämmungsstrategien in Südtirol beitragen.

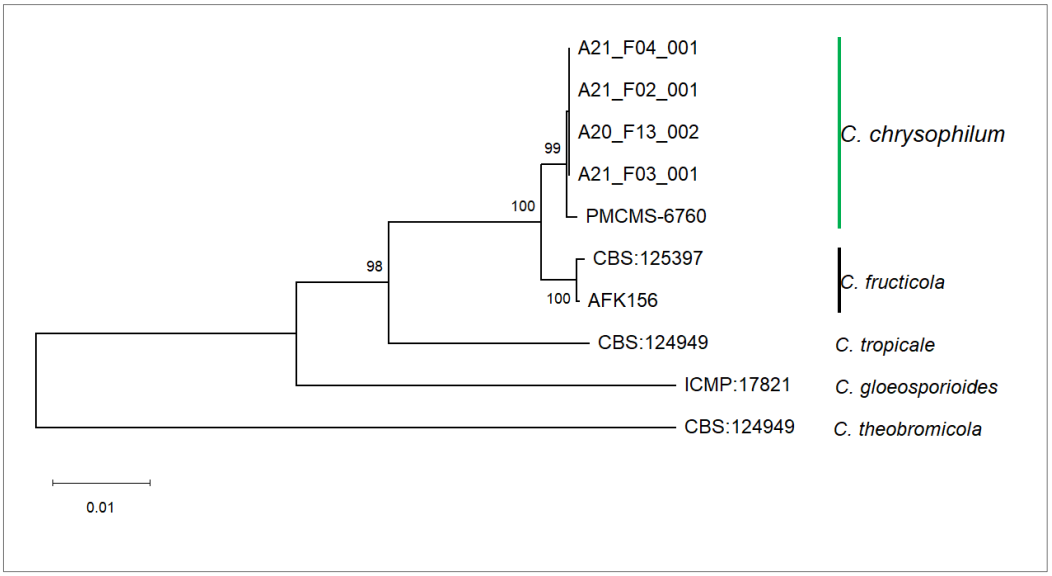


Abbildung 2: **Phylogenetischer Stammbaum der *Colletotrichum*-Arten, basierend auf den Genloci von Actin (ACT), DNA Lyase (APN2), Calmodulin (CAL), Glyceraldehyde-3-phosphate Dehydrogenase (GAPDH), Glutamine Synthetase (GS), β -Tubulin (TUB2), der intergenischen Region zwischen dem APN2-Locus und des partial mating type-Gens (ApMat) und der ITS1 (internal transcribed spacer)-Region (Deltedesco & Oettl, 2023). Bei A20_F13_002 handelt es sich um das Reinisolat aus dem Jahr 2021, isoliert aus den symptomatischen Früchten, bei A21_F04_001, A21_F02_001 und A21_F03_001 handelt s sich um die Isolate, welche aus den künstlich inokulierten Früchten isoliert wurden.**

Zusammenfassung

Glomerella Leaf Spot (GLS) des Apfels wird durch verschiedene Arten von *Colletotrichum* verursacht. Die Krankheit ist in feuchten, subtropischen Anbaugebieten seit langem bekannt, in den europäischen Anbaugebieten kam GLS hingegen bislang nicht vor. Ende August 2020 wurden in vereinzelten Anlagen der Provinz Südtirol (Italien) bislang unbekannte Symptome an Blättern und Äpfeln festgestellt: Nekrotische Läsionen und Chlorosen an Blättern führten zu vorzeitigem Blattfall bei den Sorten Gala, Granny Smith und Cripps Pink$^{(cpvr)}$/Rosy Glow$^{(cov)}$/Pink Lady®; kurz darauf wurden an den Früchten runde, bräunliche Läsionen von wenigen Millimetern Durchmesser beobachtet. In ersten morphologischen und molekularbiologischen Analysen wurden die Isolate, die aus den Läsionen gewonnen wurden, der Gattung *Colletotrichum* zugeordnet. Tiefergehende Multi-Locus-Sequenzanalysen, basierend auf den Genloci Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase (GAPDH), Actin (ACT), β-Tubulin (TUB2) und Calmodulin (CAL), DNA-Lyase (APN2) und Glutamine Synthetase (GS) codieren, sowie der intergenischen Region zwischen dem APN2-Locus und des partial mating type-Gens (ApMat) und der internal transcribed spacer (ITS)-Region, wurden die Isolate der Art *Colletotrichum chrysophilum* zugeordnet. *In vivo*-Pathogenitätstests an den Früchten und Sämlingen wurden durchgeführt und die Koch'schen Postulate vollständig erfüllt. Weiters wurde die Sortenanfälligkeit an den wichtigsten in Südtirol gepflanzten Apfelsorten überprüft und vorläufige Ergebnisse zeigen eine erfolgreiche Inokulation aller Sorten.

Abstract

Glomerella leaf spot (GLS) is caused by several *Colletotrichum* species. So far, GLS was restricted to apple growing areas of humid, subtropical climate, and was not reported from Europe. But, extreme weather conditions, including heavy rainfall and warm temperatures in summer 2020, led to an unknown symptomatology in apple orchards of South Tyrol province (Italy): necrotic lesions and chlorosis developed on leaves and, premature leaf dropping was observed. Within a few days, circular, brownish spots appeared on above 90 % of apples in affected orchards. Fungal isolates were obtained from symptomatic leaves and fruit spots, morphological analysis was performed as well as multi-locus sequence analysis based on eight gene loci: the ITS region; actin (ACT), DNA-lyase (APN2), calmodulin (CAL), glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH), glutamine synthetase (GS), beta-tubulin (TUB2), and partial mating type gene (Mat1-2). Both analyses identified *Colletotrichum chrysophilum* as causal agent of GLS in South Tyrol. Pathogenicity assays on fruit and apple seedlings were established, and Koch's postulates were confirmed. Furthermore, the variety susceptibility of the most important apple varieties planted in South Tyrol was checked and preliminary results showed a successful inoculation of all varieties.

Literatur

ALANIZ, S., CUOZZO, V., MARTÍNEZ, V., STADNIK, M. J., & MONDINO, P. (2019). Ascospore infection and Colletotrichum species causing Glomerella leaf spot of apple in Uruguay. *The plant pathology journal, 35*(2), 100.

ARAUJO, L., & STADNIK, M. J. (2013). Cultivar-specific and ulvan-induced resistance of apple plants to Glomerella leaf spot are associated with enhanced activity of peroxidases. *Acta Scientiarum. Agronomy, 35*, 287-293.

ASTOLFI, P., VELHO, A. C., MOREIRA, V., MONDINO, P. E., ALANIZ, S. M., & STADNIK, M. J. (2022). Reclassification of the Main Causal Agent of Glomerella Leaf Spot on Apple into Colletotrichum chrysophilum in Southern Brazil and Uruguay. *Phytopathology, 112*(9), 1825-1832. doi:10.1094/phyto-12-21-0527-sc

CABREFIGA, J., PIZÀ, D., VILARDELL, P., & LUQUE, J. (2022). First report of Colletotrichum chrysophilum causing apple bitter rot in Spain. *Plant Disease, 106*(6), 1752.

CASANOVA, L., HERNÁNDEZ, L., MARTÍNEZ, E., VELHO, A., ROCKENBACH, M., STADNIK, M., . . . MONDINO, P. (2017). First report of Glomerella leaf spot of apple caused by Colletotrichum fructicola in Uruguay. *Plant Disease, 101*(5), 834-834.

DEAN, R., VAN KAN, J. A., PRETORIUS, Z. A., HAMMOND-KOSACK, K. E., DI PIETRO, A., SPANU, P. D., . . . ELLIS, J. (2012). The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology, 13*(4), 414-430.

DELTEDESCO, E., & OETTL, S. (2023). First report of Preharvest Decay caused by Colletotrichum chrysophilum on apples in Italy (South Tyrol). *Plant Disease*, PDIS-11-21-2453-PDN.
DOYLE, V. P., OUDEMANS, P. V., REHNER, S. A., & LITT, A. (2013). Habitat and host indicate lineage identity in Colletotrichum gloeosporioides sl from wild and agricultural landscapes in North America. *PLoS One*, *8*(5), e62394.
FUENTES-ARAGÓN, D., REBOLLAR-ALVITER, A., OSNAYA-GONZALEZ, M., ENCISO-MALDONADO, G. A., GONZALEZ-REYES, H., & SILVA-ROJAS, H. V. (2021). Multilocus phylogenetic analyses suggest the presence of Colletotrichum chrysophilum causing banana anthracnose in Mexico. *Journal of Plant Diseases and Protection*, *128*(2), 589-595.
GONZÁLEZ, E., SUTTON, T. B., & CORRELL, J. C. (2006). Clarification of the etiology of Glomerella leaf spot and bitter rot of apple caused by Colletotrichum spp. based on morphology and genetic, molecular, and pathogenicity tests. *Phytopathology*, *96*(9), 982-992.
KHODADADI, F., GONZÁLEZ, J. B., MARTIN, P. L., GIROUX, E., BILODEAU, G. J., PETER, K. A., . . . AĆIMOVIĆ, S. G. (2020). Identification and characterization of Colletotrichum species causing apple bitter rot in New York and description of C. noveboracense sp. nov. *Scientific reports*, *10*(1), 1-19.
MARTIN, P. L., KRAWCZYK, T., KHODADADI, F., AĆIMOVIĆ, S. G., & PETER, K. A. (2021). Bitter rot of apple in the mid-Atlantic United States: Causal species and evaluation of the impacts of regional weather patterns and cultivar susceptibility. *Phytopathology®*, *111*(6), 966-981.
PRIHASTUTI, H., CAI, L., CHEN, H., MCKENZIE, E., & HYDE, K. (2009). Characterization of Colletotrichum species associated with coffee berries in northern Thailand. *Fungal Diversity*, *39*(1), 89-109.
ROCKENBACH, M. F., VELHO, A. C., ALANIZ, S. M., & STADNIK, M. J. (2018). Resistance of apple leaves to infection by Colletotrichum fructicola acts independently of hypersensitive reaction and PR-1 and PR-10 gene expression. *Tropical Plant Pathology*, *43*, 360-370.
ROCKENBACH, M. F., VELHO, A. C., GONÇALVES, A. E., MONDINO, P. E., ALANIZ, S. M., & STADNIK, M. J. (2016). Genetic structure of Colletotrichum fructicola associated to apple bitter rot and Glomerella leaf spot in southern Brazil and Uruguay. *Phytopathology*, *106*(7), 774-781.
ROJAS, E. I., REHNER, S. A., SAMUELS, G. J., VAN BAEL, S. A., HERRE, E. A., CANNON, P., . . . ZHANG, Y. (2010). Colletotrichum gloeosporioides sl associated with Theobroma cacao and other plants in Panama: multilocus phylogenies distinguish host-associated pathogens from asymptomatic endophytes. *Mycologia*, *102*(6), 1318-1338.
VELHO, A. C., ALANIZ, S., CASANOVA, L., MONDINO, P., & STADNIK, M. J. (2015). New insights into the characterization of Colletotrichum species associated with apple diseases in southern Brazil and Uruguay. *Fungal Biology*, *119*(4), 229-244. doi:https://doi.org/10.1016/j.funbio.2014.12.009
VELHO, A. C., STADNIK, M. J., & WALLHEAD, M. (2019). Unraveling Colletotrichum species associated with Glomerella leaf spot of apple. *Tropical Plant Pathology*, *44*(2), 197-204.
VIEIRA, W. A., BEZERRA, P. A., da SILVA, A. C., VELOSO, J. S., CÂMARA, M. P. S., & DOYLE, V. P. (2020). Optimal markers for the identification of Colletotrichum species. *Molecular phylogenetics and evolution*, *143*, 106694.
VIEIRA, W. A., LIMA, W. G., NASCIMENTO, E. S., MICHEREFF, S. J., CÂMARA, M. P., & DOYLE, V. P. (2017). The impact of phenotypic and molecular data on the inference of Colletotrichum diversity associated with Musa. *Mycologia*, *109*(6), 912-934.
WANG, B., LI, B.-H., Dong, X.-L., WANG, C.-X., & ZHANG, Z.-F. (2015). Effects of temperature, wetness duration, and moisture on the conidial germination, infection, and disease incubation period of Glomerella cingulata. *Plant Disease*, *99*(2), 249-256.
WANG, C., ZHANG, Z., LI, B., WANG, H., & DONG, X. (2012). First report of Glomerella leaf spot of apple caused by Glomerella cingulata in China. *Plant Disease*, *96*(6), 912-912.
WEIR, B., JOHNSTON, P., & DAMM, U. (2012). The Colletotrichum gloeosporioides species complex. *Studies in mycology*, *73*, 115-180.

Adresse der Autorinnen

Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6 - Pfatten, 39040 Auer, BZ, Italien

* Ansprechpartner: Dr. Evi DELTEDESCO, evi.deltedesco@laimburg.it

Identifizierung charakteristischer Sequenzen des Nukleokapsidgens und Analyse der genetischen Variabilität des ash shoestring-associated virus (ASaV), eines neuen Erregers von Wald- und Stadtbäumen

Nucleocapsid gene characteristics and variation of ash shoestring-associated virus (ASaV) a new pathogen of forest and urban trees

Sahar Nouri*, Shaheen Nourinejhad Zarghani, Susanne von Bargen, Carmen Büttner

Zusammenfassung

Ein neuartiges *Emaravirus* wurde vor kurzem von Eschen (*Fraxinus* spp.) aus der Schweiz, Deutschland, Italien, Schweden und Frankreich gemeldet (GASKIN et al. 2021, SVANELLA-DUMAS et al. 2022, BÜTTNER et al., 2023), die Blattflecken, Chlorose, Kräuselung und Fadenblätrigkeit aufweisen. Das Virus hat daher den Namen ash shoestring-associated virus (ASaV, *Emaravirus fraxini*) erhalten. Das Genom von ASaV besteht aus fünf einzelsträngigen RNAs mit negativer Orientierung, die als RNA1-RNA5 bezeichnet werden. Eine RNA-abhängige RNA-Polymerase (RdRp) wird von RNA1 kodiert, RNA2 kodiert einen Glykoproteinvorläufer (GPP), das virale Nukleokapsidprotein (N) wird von RNA3 kodiert, RNA4 kodiert das Bewegungsprotein (MP), und ein Protein von 26 kDa mit unbekannter Funktion (P26) wird von RNA5 kodiert (GASKIN et al. 2021, REHANEK et al. 2022). Um die Sequenzvariation im viralen Nukleoprotein-Gen der gesammelten ASaV-Isolate zu untersuchen, wurde RNA aus 32 Proben von verschiedenen geografischen Standorten und Wirtsarten (*F. ornus* und *F. excelsior*) extrahiert. RT-PCR wurde unter Verwendung spezifischer Primer durchgeführt, um die RNA3 in nahezu voller Länge (1475 von 1483 Nukleotiden) zu amplifizieren. Die RT-PCR-Produkte wurden nach Klonierung in *E. coli* und Isolierung der entsprechenden pJet1.2-Konstrukte sequenziert. Die Daten wurden für die phylogenetische Analyse verwendet. Die Ergebnisse der Sequenzvergleiche der Nukleoproteinsequenzen von ASaV werden vorgestellt und diskutiert.

Abstract

A novel *Emaravirus*, tentatively named ash shoestring-associated virus (ASaV, *Emaravirus fraxini*), has been recently reported from ash trees (*Fraxinus* spp.) from Switzerland, Germany, Italy, Sweden, and France (GASKIN et al. 2021, SVANELLA-DUMAS et al. 2022, BÜTTNER et al. 2023), which express leaf mottling, chlorosis, curling, and shoestring. The genome of ASaV consists of five single-stranded RNAs in negative-sense, designated as RNA1-RNA5. An RNA-dependent RNA polymerase (RdRp) is encoded by RNA1, RNA2 encodes a glycoprotein precursor (GPP), the viral nucleocapsid protein (N) is encoded by RNA3, RNA4 codes the movement protein (MP), and a protein of 26 kDa with unknown function (P26) is encoded by RNA5 (GASKIN et al. 2021, REHANEK et al. 2022). To study the sequence variation in the viral nucleoprotein gene of the collected ASaV isolates, RNA was extracted from 32 samples from different geographical locations and host species (*F. ornus* and *F. excelsior*). RT-PCR was conducted by using specific primers to amplify near full-length RNA3 (1475 out of 1483 nucleotides). The RT-PCR products were subjected to sequencing after cloning in *E. coli* and purification of respective pJet1.2 constructs. The data were used for phylogenetic analysis. Results of sequence comparisons of the nucleoprotein sequences of ASaV are presented and discussed.

Literatur

BÜTTNER C, LANDGRAF M, COLINO HL, VON BARGEN S, BANDTE M (2022): Virus diseases of forest and urban trees. In: Forest Microbiology, Volume 3, Fred Asiegbu and Andriy Kovalchuk (eds), Elsevier Verlag, 61-97. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18694-3.00011-0
GASKIN TR, TISCHENDORF M, GÜNTHER I, REHANEK M, BÜTTNER C, VON BARGEN S (2021): Characterization of a novel Emaravirus affecting ash species (Fraxinus Spp.) in Europe. Forests 12, 1–21, DOI:10.3390/f12111574.
REHANEK M, KARLIN DG, BANDTE M, AL KUBRUSLI R, NOURINEJHAD ZARGHANI S, CANDRESSE T, BÜTTNER C, VON BARGEN S (2022): The complex world of emaraviruses – challenges, insights and prospects. Forests 13 (11), DOI: 10.3390/f13111868.
SVANELLA-DUMAS L, FAURE C, MARAIS A, CANDRESSE T (2022): First report of ash shoestring-associated virus (ASaV) infecting European ash (Fraxinus excelsior L.) in France. Plant Disease Oct 27, DOI:10.1094/PDIS-09-22-2272-PDN. 185, 55-65.

Adresse der Autorinnen

Humboldt-Universität zu Berlin, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Fachgebiet Phytomedizin, Lentzeallee 55/57, D-14195 Berlin

* Ansprechpartner: Dr. Sahar Nouri, sahar.nouri@hu-berlin.de

Interaktion von Spargelsorten mit *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* im Jungpflanzenstadium – ein Vergleich zwischen *in vitro* und Sandkultur

Interaction of asparagus cultivars with Fusarium oxysporum f.sp. asparagi at seedling stage - a comparison between in vitro *and sand cultivation*

Roxana Djalali Farahani-Kofoet, Jan Graefe, Rita Zrenner

Einleitung

Ertragseinbußen sowie Qualitätsminderung bei Spargel werden unter anderem durch den im Boden ubiquitär vorkommenden Pilz *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* verursacht. Zur Minimierung des Krankheitsausbruchs und der Krankheitsentwicklung spielt die Züchtung von resilienten Sorten eine bedeutende Rolle, v.a. die Lokalisierung der Abwehrmechanismen in der Pflanze. Untersuchungen der Wirt-Pathogen-Beziehung im frühen Pflanzenalter könnten dazu beitragen, diese Abwehrmechanismen zu ermitteln und zur Optimierung bzw. Verkürzung lang andauernder klassischer Züchtungsverfahren führen. In zwei zu vergleichenden Methoden wurden ausgesuchte Spargel-Sorten in steriler Anzucht in Kulturröhrchen mit Nährmedium (*in vitro*) und in Töpfen mit Sand als Substrat gesät, in Klimakammern kultiviert und auf Fusarium-Befall, Wurzelwachstumsmerkmale sowie molekulare Reaktion analysiert.

Material und Methoden

Pflanzenanzucht und Inokulation: Sand-Kultur: desinfizierte Spargelsamen der Sorten 'Backlim', 'Gijnlim', 'Grolim', 'Vitalim', 'Xenolim' 'Rapsody', 'Ramires' und 'Fortems' wurden direkt in sandgefüllten Töpfen ausgesät und in der Klimakammer für 14 Tage unter für Spargelanzucht geeigneten Bedingungen kultiviert. Nach dem Erscheinen des ersten Spargelstängels wurden die Hauptwurzeln mit 100 µL einer Sporenlösung (3 x 10^6 Sporen/mL) des *F. oxysporum* f.sp. *asparagi* (Foa) inokuliert. *In vitro* Versuch: desinfizierte Spargelsamen (s. oben; ohne 'Fortems') wurden nach einer modifizierten Methode nach Gossmann et al. (2001) in Kulturröhrchen in einer Klimakammer steril angezogen. 16 Tage alten Hauptwurzeln wurden unter sterilen Bedingungen mit 5µL Foa (s. oben) inokuliert.
Bonitur und Analysen: Die Entwicklung der Haupt- und Lateralwurzeln, die Befallsrate und das Pilzwachstum entlang der Hauptwurzeln wurden 5 dpi in Kulturröhrchen (*in vitro*) bonitiert. Nach 7 dpi wurden die Gesamtwurzeln aus den Substraten entnommen, gescannt und deren Gesamtwurzellänge und -wurzeloberfläche nach Kimura et al. (1999) bildanalytisch bestimmt. Die entnommenen Wurzeln der verschiedenen Spargelsorten aus beiden Kultivierungsmethoden wurden 5 dpi für Genexpressionsanalysen prozessiert. Es wurden die Gene *PR1* (Pathogenese-assoziiertes Protein 1), *POX* (kationische Peroxidase Klasse III) und *PAL* (Phenylalanin Ammoniumlyase), welche u.a. für die Pathogenabwehr relevant sind, analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Im Sandversuch konnte keine Interaktion zwischen Fusarium-Behandlung und Sorten festgestellt werden. Symptome an den Wurzeln waren erst 12 dpi festzustellen. Es kann wahrscheinlich davon ausgegangen werden, dass die Bedingungen im Sand zu trocken für das Pilzwachstum waren, obwohl regelmäßig gegossen wurde und das Pflanzenwachstum unbeeinträchtigt war. Unter den Sorten waren anhand der Gesamtwurzellänge eine schnell wachsende Gruppe ('Vitalim', 'Rapsody', 'Gijnlim', 'Backlim') und eine langsam wachsende Gruppe ('Ramires', 'Grolim', 'Xenolim' und 'Fortems') zu beobachten. Bei 'Vitalim' war das Wurzelwachstum von Foa-infizierten Wurzeln im Vergleich zur Kontrolle signifikant langsamer. Ähnlich verhielt es sich bei der Wurzeloberfläche (Abb. 1 A und B). Bei den Genexpressionsanalysen der Sandkultur konnte 5 dpi in den Wurzeln von 'Rapsody', 'Xenolim', 'Vitalim', und 'Grolim' eine signifikante Induktion von PR1 festgestellt werden; bei 'Fortems' und 'Backlim' war diese reduziert. Die Induktion von POX war ähnlich, diese war hoch bei 'Rapsody' und 'Xenolim' und reduziert bei 'Fortems' und 'Gijnlim'. Die Induktion von PAL war generell schwächer, in 'Rapsody' und 'Xenolim' jedoch hoch und in 'Backlim', 'Fortems' und 'Gijnlim' gering.
Die Ergebnisse aus Wurzelmessungen und Befall in Sandkultur zeigten, dass ein Resistenzscreening anhand der Wurzelmorphologie wenig geeignet ist. Daher wurde ein in vitro Versuch durchgeführt, in

dem das Pilzwachstum in den Kulturröhrchen neben dem Wurzelwachstum gut zu verfolgen war. Alle Sorten waren 5 dpi befallen. Die Sorte mit dem geringsten Befall war ‘Xenolim‘. Auch in diesem Versuch konnte keine Inokulation x Sorte-Interaktion in der Total-Wurzellänge festgestellt werden. Hier fielen ‘Vitalim‘ und ‘Gijnlim‘ als stark wachsende Sorten auf und ‘Grolim‘, ‘Ramires‘ und ‘Rapsody‘ waren in ihrem Wuchs deutlich gehemmter. Die Messungen der Wurzeloberfläche zeigten eine signifikante Inokulation x -Sorten-Interaktion. Die infizierten ‘Rapsody‘ ‘Gijnlim‘ und ‘Xenolim‘ Wurzeln wiesen größere Wurzeloberflächen auf als ihre Kontrollvarianten (Abb. 1 C und D). In den Genexpressionsanalysen bestätigten sich diese Ergebnisse. Im Vergleich zur Sandkultur war die Expression aller drei Gene deutlich höher. Die Expression von PR1 setzte sich bei ‘Raspdoy‘ und ‘Xenolim‘ deutlich von den anderen Sorten ab.

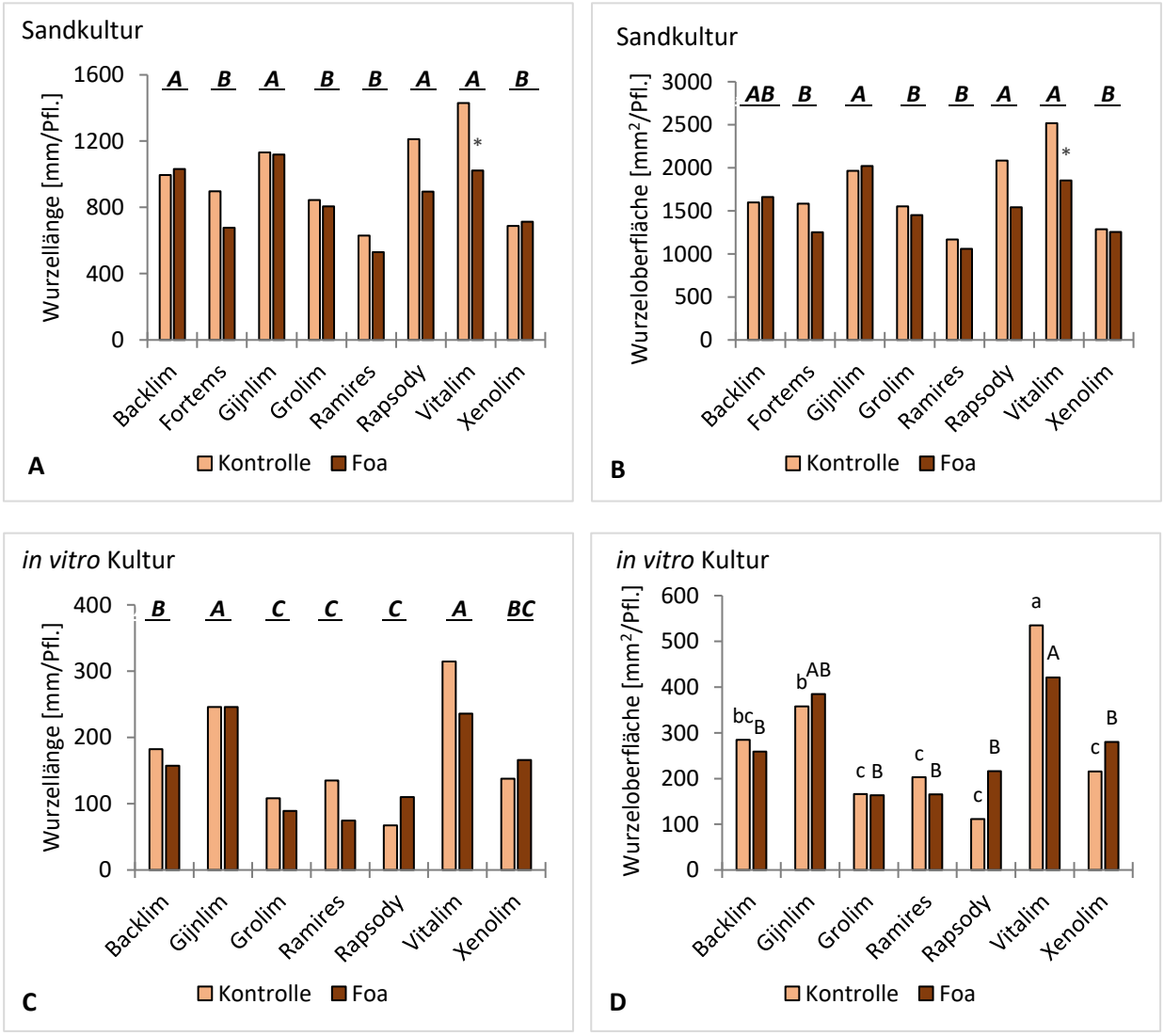


Abbildung 1: **Gesamtwurzellänge (mm) (A) und Gesamt-Wurzeloberfläche (mm²) von Haupt- und Lateralwurzeln (B) von ‘Backlim’, ‘Fortems’, ‘Gijnlim’, ‘Grolim’, ‘Ramires’, ‘Rapsody’, ‘Vitalim’, und ‘Xenolim’ in Sandkultur und (ohne ‘Fortems‘) *in vitro* Kultur 7 dpi. Die Pflanzen wurden entweder mit *Fusarium oxysporum* f.sp. *asparagi* (Foa) infizierten oder mit Wasser (Kontrolle) inokuliert. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten. Sternchen stehen für Signifikanz zwischen Kontrolle und Foa-inokulierter Sorte (Tukey test, P < 0.05).**

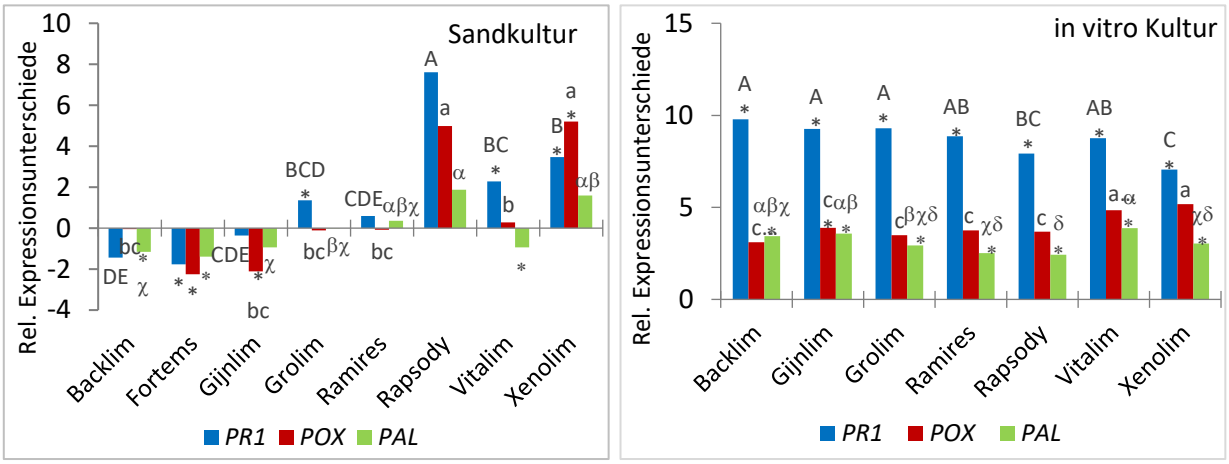


Abbildung 2: **Relative Genexpressionsunterschiede von *PR1*, *POX* und *PAL* gemessen 5 dpi in Wurzeln von mit *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi* (Foa) infizierten 'Backlim', 'Fortems', 'Gijnlim', 'Grolim', 'Ramires', 'Rapsody', 'Vitalim', und 'Xenolim' in Sandkultur und *in vitro* (ohne 'Fortems'). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten innerhalb des jeweiligen Gens (Tukey test, P < 0.05). Sternchen stehen für Signifikanz zwischen Kontrolle und Foa-inokulierter Sorte (t-test, *P* < 0.05).**

Zusammenfassung

In zwei zu vergleichenden Resistenzscreening-Methoden wurden ausgesuchte Spargel-Sorten in Töpfen mit Sandsubstrat und in steriler Anzucht in Kulturröhrchen mit Nährmedium (*in vitro*) kultiviert. Die Wurzelentwicklung sowie die Symptomausprägung an den Wurzeln wurden nach der Inokulation von 14-16 Tage alten Pflanzen mit einem *Fusarium oxysporum*-Isolat (Foa) zwischen den zwei Kultivierungsmethoden verglichen. In beiden Versuchen konnten Sorten-Unterschiede in der Wurzelmorphologie und Symptomatologie festgestellt werden. Im *in vitro* Versuch war die Wurzeloberfläche zwischen Foa und Wasser-inokulierten Varianten signifikant verschieden. Das Myzelwachstum von Foa war *in vitro* deutlich zu erkennen und hing von der Wuchsstärke der Wurzeln der einzelnen Sorten ab. Die Untersuchung von Expressionsänderungen relevanter Gene der Pathogenabwehr (*PR1*, *POX*, *PAL*) zeigte sortenspezifische Unterschiede.

Abstract

Two methods were compared using root morphological traits and gene expression analyses as evaluation parameters for screening of asparagus cultivars against *Fusarium oxysporum* (Foa). Selected asparagus cultivars were grown in pots with sand substrate and in sterile culture tubes with nutrient medium (*in vitro*) and cultivated in climate chambers. Root development and symptom expression on roots were compared between the two cultivation methods after inoculation of 14-16 day-old plants with a *Fusarium oxysporum* isolate (Foa). Varietal differences in root morphology and symptomatology were observed in both experiments. In the *in vitro* experiment root surface area between Foa and water-inoculated variants was significantly different. Mycelial growth of Foa was evident in *in vitro* experiments and depended on the root growth of each cultivar. Analyses of expression changes of the defence-related genes *PR1*, *POX*, *PAL* in cultivars inoculated with the pathogen showed cultivar-specific differences.

Literatur

GOSSMANN M., SCHOLZ, A, HENNIG, F, von BARGEN, S & Büttner, C. (2011). *Fusarium oxysporum*- und *F. proliferatum*-Isolate aus Spargel und deren Pathogenitätsüberprüfung in einer modifizierten *in vitro*-Schnelltestmethode. Gesunde Pflanzen 63, 175-182.

KIMURA K., KIKUCHI S & YAMASAKI S-I (1999). Accurate root length measurement by image analysis. Plant and Soil 216(1), 117-127.

Adressen der Autoren

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) e.V., Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren

* Ansprechpartnerin: Roxana Djalali Farahani-Kofoet, kofoetr@igzev.de

Die Entwicklung der Larven des Rübenderbrüsslers *Asproparthenis punctiventris* an verschiedenen Nahrungspflanzen

The development of sugar beet weevil Asproparthenis punctiventris larvae on different food plants

Elisabeth H. Koschier*, Lena Dittmann

Einleitung

Seit 2017 verursacht das Massenauftreten von *Asproparthenis punctiventris* Germar (Coleoptera: Curculionidae), dem Rübenderbrüssler, enorme Schäden im Zuckerrübenanbau in Ostösterreich. Untersuchungen zum Nahrungsspektrum des Rübenderbrüsslers hatten ergeben, dass der Käfer die Zuckerrübe *(Beta vulgaris* L. subsp. *vulgaris* Altissima Gruppe) und ihre nahen Verwandten bevorzugt, aber auch andere Pflanzenarten aus der Familie der Fuchsschwanzgewächse (Amaranthaceae) frisst. In einem nächsten Schritt sollte geprüft werden, ob und wie sich die Larven des Rübenderbrüsslers an diesen Pflanzen entwickeln können.

Material und Methoden

Für den Biotest zur Entwicklung von Larven an den Wurzeln von Nahrungspflanzen von Käferweibchen wurden Einzelpflanzen in Töpfen kultiviert. Nach Erreichen einer ausreichend großen Blatt- und Wurzelmasse wurden die Pflanzen mit 2 bis 3 Larven des Rübenderbrüsslers im ersten Larvenstadium (L1) belegt. Die Pflanzen wurden in einen Pflanzenwuchsraum bei 21 ± 2 °C, einer rel. Luftfeuchte von 46 ± 5 % und einer Photoperiode von 14:10 Stunden L: D gestellt und regelmäßig gegossen. Nach 42 Tagen wurden die Wurzeln nach Larven abgesucht, und alle lebend gefundenen Larven wurden mit einer Feinwaage gewogen. Nach Tielecke (1952) und eigenen Vorversuchen befinden sich die Larven auf Wurzeln von Zuckerrübenpflanzen nach 42 Tagen im vierten Larvenstadium, haben sich aber noch nicht verpuppt, was einen Vergleich mit der Entwicklung der Larven auf anderen Pflanzen ermöglicht. Der Biotest wurde mit 24 bis 36 Pflanzen pro Art wiederholt. Pflanzen, die vor Ablauf der 42-Tage-Frist abgestorben waren, und alle im Boden dieser Pflanzen gefundenen Larven wurden aus der statistischen Versuchsauswertung ausgeschlossen. Die Entwicklung von *A. punctiventris* an den Wurzeln folgender Pflanzen wurde getestet: Zuckerrübe, Rote Rübe (*B. vulgaris* L. subsp. *vulgaris* Conditiva Gruppe), Mangold (*B. vulgaris* L. subsp. *vulgaris* Cicla Gruppe), Wilde Rübe (*B. vulgaris* L. subsp. *maritima*), Gartenmelde (*Atriplex hortensis* L.), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album* L.), Erdbeerspinat (*C. foliosum* Asch.), Reismelde (Quinoa; *C. quinoa* L.), Rauhaariger Amarant (*Amaranthus retroflexus* L.*)*, Körneramarant (*A. hypochondriacus* L.) und Spinat (*Spinacea oleracea* L.).

Ergebnisse

Die Pflanzenart, auf der sich die Larven bis zum 4. Larvenstadium entwickelt hatten, beeinflusste ihr Gewicht signifikant (einfaktorielle ANOVA; $F = 5{,}99$, $df = 9, 151$, $p = 0{,}000$) (Abbildung 1). Die Larven auf den Wurzeln von Zuckerrübe, Mangold, Wilder Rübe, und Erdbeerspinat wiesen ein signifikant höheres Gewicht auf als die Larven auf Weißem Gänsefuß und Körneramarant. Es gab keinen signifikanten Gewichtsunterschied zwischen den Larven an den Wurzeln der Gartenmelde, Roten Rübe, Quinoa und Spinat im Vergleich zu den Larven an den zuvor genannten Pflanzen. An den Wurzeln des Rauhaarigen Amarants konnte sich keine einzige Larve entwickeln, dieses Ergebnis ist daher in Abbildung 1 nicht dargestellt.

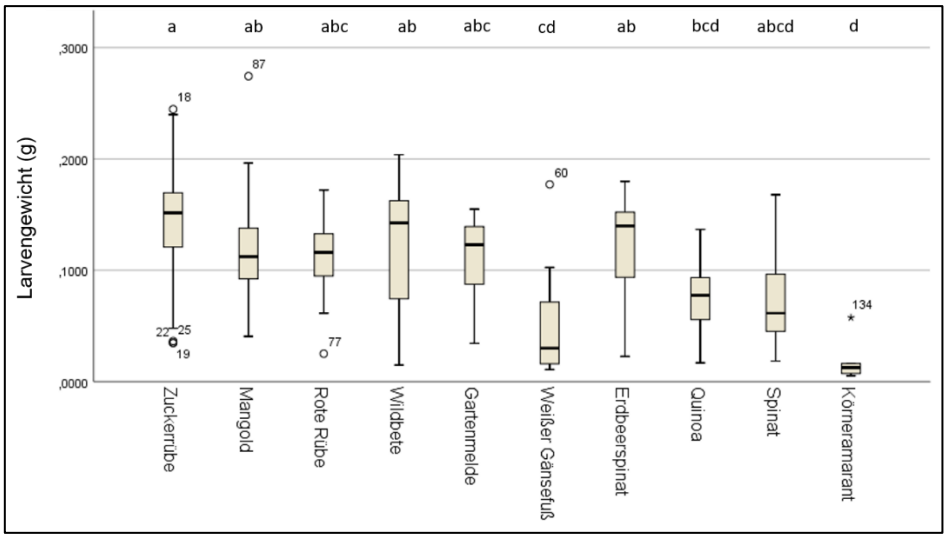


Abbildung 1: **Gewicht (g) der Larven von *A. punctiventris*, die sich an der jeweiligen Wirtspflanze im Zeitraum von 42 Tagen entwickeln konnten; unterschiedliche Buchstaben über den Boxplots stehen für signifikante Unterschiede zwischen den Pflanzenarten (Tukey-Test).**

Diskussion

In der Literatur sind nur sehr vereinzelt Informationen über Pflanzen, an denen Larven von *A. punctiventris* gefunden wurden, verfügbar. So wurde über Larven an Wurzeln verschiedener Beikräuter in Zuckerrübenkulturen berichtet (Camprag 1984; Klapal et al. 2004; Bindreiter 2005), Ergebnisse aus detaillierten Untersuchungen lagen jedoch nicht vor.

Wir konnten so erstmals nachweisen, dass sich die Larven der Rübenderbrüssler auch von den Wurzeln anderer Kulturpflanzen als der Zuckerrübe und Beikräutern ernähren und an ihnen entwickeln können. An den Wurzeln von Zuckerrübe und ihren näheren Verwandten war allerdings eine vergleichsweise größere Larvenanzahl mit einem höheren Durchschnittsgewicht als an den anderen getesteten Pflanzen zu beobachten. Auch an Gartenmelde und Erdbeerspinat konnten sich Larven des Rübenderbrüsslers gut entwickeln. Am Weißen Gänsefuß und an Quinoa-Pflanzen sowie am Körneramarant erreichten Larven das 4. und letzte Larvenstadium, blieben dabei allerdings sowohl zahlenmäßig als auch in Bezug auf das Körpergewicht ihren Artgenossen an der Zuckerrübe sehr deutlich unterlegen.

Obwohl erwachsene Käfer kaum an den Blättern von Spinatpflanzen fraßen (Dittmann et al. 2023), fanden wir interessanterweise einige leichtgewichtige Larven an den Wurzeln von Spinat. Unterschiede zwischen den Blättern junger Spinatpflanzen mit hohem Gehalt an Phytoecdysteroiden (Grebenok et al. 1994) und den Wurzeln der mehr als zwei Monate alten Spinatpflanzen, die im Biotest mit Larven im ersten Larvenstadium besetzt worden waren und deren Gehalt an Phytoecdysteroiden unbekannt war, könnten diese Diskrepanz erklären. Ähnliches gilt für die Ergebnisse, die wir in unseren Versuchen mit dem Rauhaarigen Amarant und *A. punctiventris* erarbeitet haben: die Käfer fressen zumindest ein wenig an den Blättern von *A. retroflexus* (Dittmann et al. 2023). Nach den Beobachtungen von Klapal et al. (2004) und Bindreiter (2005) ernähren sich auch die Larven in Zuckerrübenfeldern von den Wurzeln des Rauhaarigen Amarants. In unseren Laborversuchen entwickelte sich auf *A. retroflexus*-Pflanzen jedoch keine einzige Larve bis zum 4. Larvenstadium. Im Feld können die Larven von Curculionidae-Arten auf Pflanzenwurzeln schwer zu unterscheiden sein, wie auch Klapal et al. (2004) feststellten, dass die gefundenen Larven nicht genauer identifiziert werden konnten. Allerdings können sich die Larven des Rübenderbrüsslers durch chemotaktische Reize der Wurzelexsudate orientieren und aktiv zu den Pflanzenwurzeln wandern (Auersch 1961). In einem verunkrauteten Zuckerrübenfeld könnten die Larven daher auch an den Wurzeln von Beikräutern zu finden sein.

Beikräuter und (Kultur-) Pflanzen, an denen sich der Rübenderbrüssler ernähren und entwickeln kann, könnten zur Aufrechterhaltung der Schädlingspopulation beitragen. In Gebieten, in denen es zu einem gehäuften Auftreten des Schädlings kommt, sollten sie daher in Managementstrategien bzw. Fruchtfolgen Beachtung finden.

Zusammenfassung

Seit 2017 verursacht das Massenauftreten von *Asproparthenis punctiventris* Germar (Coleoptera: Curculionidae), dem Rübenderbrüssler, enorme Schäden im Zuckerrübenanbau in Ostösterreich. In Biotests mit eingetopften Pflanzen wurde untersucht, ob und wie sich Käferlarven an jenen Pflanzen entwickeln, die Käferweibchen als alternative Nahrungsquelle zu Zuckerrübe dienen. Es zeigte sich, dass sich der Rübenderbrüssler nicht nur an Zuckerrübe, sondern auch an anderen Fuchsschwanzgewächsen wie Mangold, Roter Rübe, Wilder Rübe, Gartenmelde, Erdbeerspinat, Quinoa und Spinat entwickeln kann. Larven, die sich von den Wurzeln von Weißem Gänsefuß und Körneramarant ernährten, wiesen ein signifikant geringeres Gewicht auf als jene, die Zuckerrübenwurzeln fraßen. An den Wurzeln des Rauhaarigen Amarants konnte sich dagegen keine einzige Larve entwickeln, obwohl die Käfer zumindest ein wenig an dessen Blättern fressen. Beikräuter und (Kultur-) Pflanzen, an denen sich der Rübenderbrüssler ernähren und entwickeln kann, könnten zur Aufrechterhaltung der Schädlingspopulation beitragen. In Gebieten, in denen es zu einem gehäuften Auftreten des Schädlings kommt, sollten sie daher in Managementstrategien bzw. Fruchtfolgen Beachtung finden.

Abstract

Since 2017, the mass occurrence of *Asproparthenis punctiventris* Germar (Coleoptera: Curculionidae), the sugar beet weevil, has caused enormous damage in sugar beet cultivation in eastern Austria. In bioassays with potted plants, it was investigated whether and how larvae develop on those plants that serve female weevils as an alternative food source to sugar beet. It was found that the sugar beet weevil can develop not only on sugar beet, but also on other Amaranthaceae plants such as chard, red beetroot, sea beet, garden orache, strawberry blite, quinoa and spinach. Larvae that fed on the roots of fat hen and grain amaranth had a significantly lower weight than those that fed on sugar beet roots. In contrast, not a single larva could develop on the roots of common amaranth, although the beetles feed at least a little on its leaves. Weeds and (crop) plants on which the sugar beet weevil can feed and develop could contribute to maintaining the pest population. In areas where there is a high incidence of the pest, they should therefore be considered in management strategies or crop rotations.

Literatur

AUERSCH O (1961): Zur Kenntnis des Rübenderbrüsslers (*Bothynoderes punctiventris* Germ.), Teil II. J Appl Entomol 49, 50-77.

BINDREITER B (2005): Untersuchungen zur Rüsselkäferproblematik bei Zuckerrübe in Österreich. Wien, Österreich: Universität für Bodenkultur Wien.

ČAMPRAG D (1984): Repina pipa (*Bothynoderes punctiventris* Germ.) i njeno suzbijanje. Serbien, Belgrad: Nolit.

DITTMANN L, SPANGL B, KOSCHIER EH (2023): Suitability of Amaranthaceae and Polygonaceae species as food source for the sugar beet weevil *Asproparthenis punctiventris* Germar. J Plant Dis Prot 130, 67-75.

GREBENOK RJ, VENKATACHARI S, ADLER JH (1994): Biosynthesis of ecdysone and ecdysone phosphates in spinach. Phytochemistry 36, 1399-1408.

TIELECKE H (1952): Biologie, Epidemiologie und Bekämpfung des Rübenderbrüßlers (*Bothynoderes punctiventris* Germ.). Beitr Entomol 2, 256-315.

Adresse der Autorinnen

Universität für Bodenkultur, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

* Ansprechpartner: Ao. Prof. Dr. Elisabeth H. Koschier, elisabeth.koschier@boku.ac.at

Entwicklung von Lebkuchen mit Apfeltrestermehl

Development of gingerbread with flour of apple-pomace

Harald Kurz, Kathrin Heim*

Einleitung

Apfelsaft ist in Österreich der zweitbeliebteste Fruchtsaft nach Orangensaft (STATISTA RESEARCH DEPARTMENT 2021). Bei der Herstellung von Apfelsaft fallen etwa 25 % Apfeltrester an (VERBAND DER DEUTSCHEN FRUCHTSAFT-INDUSTRIE 2021), ein Nebenprodukt, das vor allem zur Pektingewinnung, als Tiernahrung oder zur Energiegewinnung weiterverwertet wird. Apfeltrester setzt sich dabei aus durchschnittlich 95 % Schale und Fruchtfleisch, 2-4 % Kernen und 1 % Stängeln zusammen, wobei die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Apfelsorte zu Sorte sehr stark variieren. (VENDRUSCOLO et al. 2008, S. 1-12). Die wertvollen Inhaltsstoffe, allen voran Ballaststoffe und phenolische Verbindungen (ANTONIC et al. 2020), sprechen jedoch neben den genannten Einsatzgebieten auch für den Einsatz von Apfeltrestermehl als Rohstoff zur Aufwertung von Lebensmitteln (LYU et al. 2020).
In einigen Studien wurde bereits der Einsatz von Apfeltrestermehl in verschiedenen Lebensmittelgruppen untersucht. Zumeist führte die Zugabe von Apfeltrestermehl jedoch nur zu einer eingeschränkten oder keiner Verbesserung der Produktqualität. (GOMEZ und MARTINEZ M M 2018).
Ziel der aktuellen Studie war es daher, den Einsatz von Apfeltrestermehl in einer beliebten Backware zu überprüfen, bei der sich neben den ernährungsphysiologischen Vorteilen auch die sensorischen Eigenschaften des Nebenproduktes positiv auf die Produktakzeptanz auswirken könnten. Als beliebtes süßes österreichisches Lebensmittel wurde Lebkuchen als Stimulus gewählt.
Um Lebkuchen ernährungsphysiologisch durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt aufzuwerten und gleichzeitig das Nebenprodukt Apfeltrester regional und saisonal verwerten zu könnten, wurde untersucht, inwiefern ein teilweiser Roggenmehlersatz durch Apfeltrestermehl bei Lebkuchen die Akzeptanz des Endproduktes beeinflussen kann.

Material und Methoden

Produktentwicklung: Der verwendete Apfeltrester der Sorte „Topaz“ der Mohr-Sederl Fruchtwelt GmbH wurde sortenrein gesammelt, im HERBert getrocknet und mithilfe eines Stephan Cutters zu feinem Apfeltrestermehl vermahlen.
In mehreren Versuchsreihen wurde schrittweise Roggenmehl einer Lebkuchen-Basisrezeptur durch Apfeltrestermehl ersetzt. Die Ergebnisse wurden jeweils mit der Ausgangsrezeptur verglichen.
Lebkuchenvarianten mit 5 % und 10 % Apfeltresteranteil wurden schließlich zum Akzeptanztest gereicht und beurteilt.
Studiendesign: Die zwei hergestellte Produktproben mit unterschiedlichen Anteilen an Apfeltrestermehl wurden gemeinsam mit Lebkuchen nach der Basisrezeptur (ohne Apfeltrestermehl) durch 47 Proband*innen, die von sich angaben, regelmäßig Lebkuchen zu konsumieren, im Rahmen eines Akzeptanztests im Sensoriklabor der FH Wr. Neustadt am Campus Wieselburg verkostet. Ziel war es den Einsatz von Apfeltrestermehl auf die Gesamtakzeptanz des Lebkuchens zu untersuchen. Beurteilt wurden neben der Gesamtakzeptanz das Aussehen, der Geruch, der Geschmack und die Textur der Proben. Mittels JAR-Skala wurde zudem das Optimum der Fruchtigkeit und der Süße des Lebkuchens ermittelt. Ergänzt wurde das Studiendesign um zwei offene Fragen zu besonders positiv und negativ aufgefallenen Produkteigenschaften der einzelnen Proben.
Statistische Datenauswertung: Die Studie wurde mittels deskriptiver Statistik und einer Varianzanalyse mit Messwiederholung nach Bonferroni (α=0.05) ausgewertet. Für die Überprüfung eines möglichen Einflusses der spezifischen Produkteigenschaften auf die Gesamtakzeptanz wurde eine Penalty Analyse durchgeführt. Die offenen Fragen wurden geclustert und mittels Häufigkeitstabellen visualisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung des Akzeptanztests zeigt, dass sich die beiden Lebnkuchevarianten mit 5 % bzw. 10 % Apfeltrestermehl-Anteil optisch nicht signifikant von der Originalrezeptur unterschieden, im Geruch wurde der Lebkuchen mit 10 % Trester-Anteil jedoch signifikant schlechter beurteilt als der Lebkuchen ohne Trester. Die Geschmacksbeurteilung und auch die Gesamtakzeptanz zeigten jedoch, dass der Einsatz des Apfeltrestermehls als teilweiser Ersatz von Roggenmehl zu signifikant besseren geschmacklichen Akzeptanzwerten im Vergleich zur Basisrezeptur führte. So konnten der Lebkuchen mit 5 % Tresteranteil mit einer Durchschnittsbewertung von 6,94 auf der 9-Punkte-Hedonikskala, der Lebkuchen mit 10 % Apfeltrester-Anteil mit einem Mittelwert von 6,96 geschmacklich überzeugen, während die Kontrollprobe ohne Tresteranteil einen vergleichsweise niedrigen Wert von 6,23 in der Geschmacksbeurteilung erzielte. Auch insgesamt wurden die beiden Versuchsproben, wie in Abb. 1 ersichtlich, mit Mittelwerten von 6,81 (5 % Apfeltrester im Lebkuchen) bzw. 6,87 (10 % Apfeltrester im Lebkuchen) signifikant besser bewertet als die Kontrollprobe ohne Tresterzugabe.
Die Penalty Analyse zeigte, dass die Optimumsabweichungen von Fruchtigkeit und Süße keinen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanzbeurteilung hatten. Die offenen Antworten hingegen lassen den Rückschluss zu, dass der Lebkuchen mit steigendem Apfeltrestermehl-Gehalt weicher wurde. So wurde die Basisrezeptur tendenziell als zu hart, die Vergleichsproben als weicher betitelt.
Insgesamt kann also geschlussfolgert werden, dass sich der Einsatz von Apfeltrestermehl in Lebkuchen als teilweiser Ersatz von Roggenmehl positiv auf die Akzeptanz dessen auswirkt, was großteils auf die positiven Textureigenschaften zurückzuführen ist. Limitierend muss ergänzt werden, dass aufgrund der erhöhten Wasserbindungsfähigkeit des Apfeltrestermehls im Vergleich zum Roggenmehl ein erhöhter Wassereinsatz bei der Teigbereitung notwendig ist.

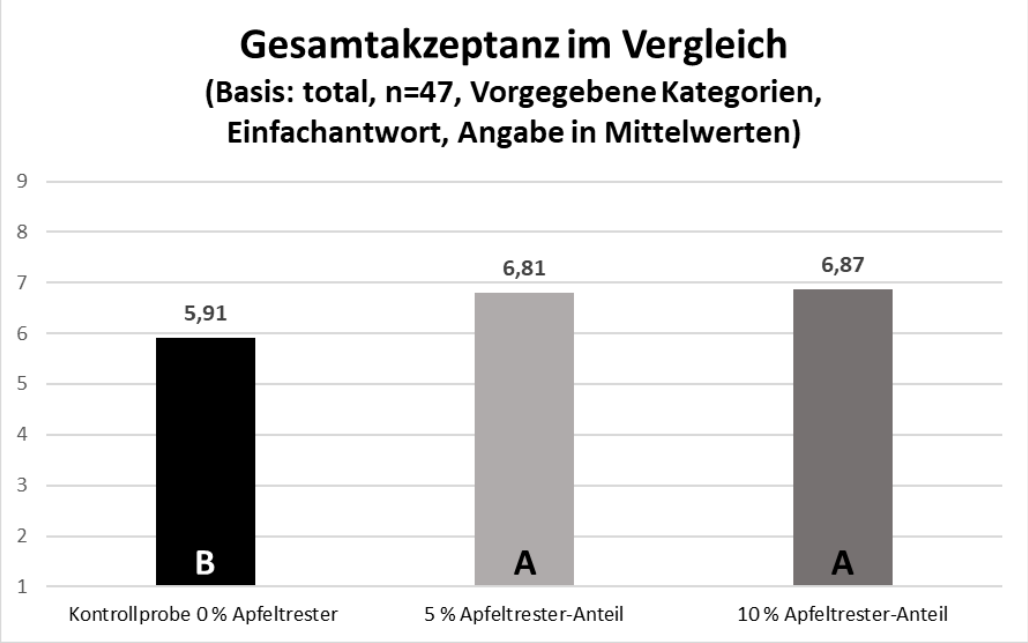


Abbildung 1: **Vergleich der Gesamtakzeptanzwerte zwischen der Kontrollprobe und den beiden Lebkuchenproben mit 5 % bzw. 10 % Apfeltrester-Anteil**

Zusammenfassung

Apfelsaft ist in Österreich der zweitbeliebteste Fruchtsaft nach Orangensaft. Bei der Herstellung von Apfelsaft fallen etwa 25 % Apfeltrester an, ein Nebenprodukt, das vor allem zur Pektingewinnung, als Tiernahrung oder zur Energiegewinnung weiterverwertet wird. Eine Reihe wertvoller ernährungsphysiologischer Inhaltsstoffe machen den Apfeltrester jedoch auch für den direkten Einsatz als Mehl in verarbeiteten Lebensmitteln interessant. Besondere Bedeutung kommt hierbei den Ballaststoffen und den phenolische Verbindungen zu.

Neben Apfelsaft gilt auch Lebkuchen, insbesondere in der Vorweihnachtszeit, als beliebtes Lebensmittel der Österreicher*innen. Um Lebkuchen ernährungsphysiologisch durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt aufzuwerten und gleichzeitig das Nebenprodukt Apfeltrester regional und saisonal verwerten zu könnten, wurde untersucht, inwiefern ein teilweiser Roggenmehlersatz durch Apfeltrestermehl bei Lebkuchen die Akzeptanz des Endproduktes beeinflussen kann.
Ein Akzeptanztest mit 47 Testpersonen zeigte, dass Lebkuchen unter Zugabe von 10 % Apfeltrestermehl eine signifikant höhere Bewertung im Vergleich zum Referenzprodukt ohne Tresterzugabe erzielt. Aufgrund der Ergebnisse kann darauf geschlossen werden, dass das Apfeltrestermehl den fruchtigen Geruch und Geschmack, sowie die Konsistenz des Lebkuchens verbessern kann. Allerdings muss bei der Teigbereitung auf Grund der guten Wasserbindefähigkeit des Tresters eine erhöhte Zugabe von Flüssigkeit berücksichtigt werden.

Abstract

Apple juice is the second most popular fruit juice in Austria besides orange juice. The production of apple juice produces about 25 % apple-pomace, a by-product that is mainly used for pectin extraction, as animal feed or for energy production. However, a number of valuable nutritional ingredients also make apple pomace interesting for direct use as flour in processed foods. Particular importance is attached to dietary fiber and phenolic compounds.
Besides apple juice, gingerbread is also a popular food among Austrians, especially in the pre-Christmas season. In order to improve the nutritional value of gingerbread by increasing the dietary fiber content and at the same time to make regional and seasonal use of the by-product apple-pomace, the extent to which partial rye flour replacement with apple-pomace flour in gingerbread can influence the acceptance of the end product was investigated.
An acceptance test with 47 test persons showed that gingerbread with the addition of 10 % apple-pomace flour achieved a significantly higher rating compared to the reference product without pomace addition. Based on the results, it can be concluded that the apple-pomace flour can improve the fruity smell and taste, as well as the consistency of the gingerbread. However, due to the good water-binding capacity of the pomace, an increased addition of liquid must be taken into account during dough preparation.

Literatur

ANTONIC B et al, 2020: Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis. Journal of Food Science, 85: 2977-2985. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15449
GÓMEZ M, MARTINEZ M M, 2018: Fruit and Vegetable By-Products as Novel Ingredients to Improve the Nutritional Quality of Baked Goods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018, 58, 2119–2135. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946
LYU F et al, 2020: Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. Processes, 8(3), 319. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/pr8030319
STATISTA RESEARCH DEPARTMENT, 2021: Absatz von Fruchtsaft in Österreich nach Art im Jahr 2020. Zugriff unter https://de-statista-com.wn.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/287161/umfrage/absatz-von-fruchtsaft-in-oesterreich-nach-sorten/
VENDRUSCOLO F et al, 2008: Apple Pomace: A Versatile Substrate for Biotechnological Applications. Crit. Rev. Biotechnol. 2008, 28, 1–12. https://doi.org/10.1080/07388550801913840
VERBAND DER DEUTSCHEN FRUCHTSAFT-INDUSTRIE (VdF), 2021: Die Herstellung von Fruchtsaft. Zugriff unter https://www.fruchtsaft.de/saftwissen/herstellung/

Adresse der Autoren

Fachhochschule Wr. Neustadt, Campus Wieselburg, Zeiselgraben 4, 3250 Wieselburg

* Ansprechpartnerin: Kathrin HEIM BA MA, kathrin.heim@fhwn.ac.at

Entwicklung von Lebkuchen mit Apfeltrestermehl

Development of gingerbread with flour of apple-pomace

Harald Kurz, Kathrin Heim*

Einleitung

Apfelsaft ist in Österreich der zweitbeliebteste Fruchtsaft nach Orangensaft (STATISTA RESEARCH DEPARTMENT 2021). Bei der Herstellung von Apfelsaft fallen etwa 25 % Apfeltrester an (VERBAND DER DEUTSCHEN FRUCHTSAFT-INDUSTRIE 2021), ein Nebenprodukt, das vor allem zur Pektingewinnung, als Tiernahrung oder zur Energiegewinnung weiterverwertet wird. Apfeltrester setzt sich dabei aus durchschnittlich 95 % Schale und Fruchtfleisch, 2-4 % Kernen und 1 % Stängeln zusammen, wobei die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Apfelsorte zu Sorte sehr stark variieren. (VENDRUSCOLO et al. 2008, S. 1-12). Die wertvollen Inhaltsstoffe, allen voran Ballaststoffe und phenolische Verbindungen (ANTONIC et al. 2020), sprechen jedoch neben den genannten Einsatzgebieten auch für den Einsatz von Apfeltrestermehl als Rohstoff zur Aufwertung von Lebensmitteln (LYU et al. 2020).
In einigen Studien wurde bereits der Einsatz von Apfeltrestermehl in verschiedenen Lebensmittelgruppen untersucht. Zumeist führte die Zugabe von Apfeltrestermehl jedoch nur zu einer eingeschränkten oder keiner Verbesserung der Produktqualität. (GOMEZ und MARTINEZ M M 2018).
Ziel der aktuellen Studie war es daher, den Einsatz von Apfeltrestermehl in einer beliebten Backware zu überprüfen, bei der sich neben den ernährungsphysiologischen Vorteilen auch die sensorischen Eigenschaften des Nebenproduktes positiv auf die Produktakzeptanz auswirken könnten. Als beliebtes süßes österreichisches Lebensmittel wurde Lebkuchen als Stimulus gewählt.
Um Lebkuchen ernährungsphysiologisch durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt aufzuwerten und gleichzeitig das Nebenprodukt Apfeltrester regional und saisonal verwerten zu könnten, wurde untersucht, inwiefern ein teilweiser Roggenmehlersatz durch Apfeltrestermehl bei Lebkuchen die Akzeptanz des Endproduktes beeinflussen kann.

Material und Methoden

Produktentwicklung: Der verwendete Apfeltrester der Sorte „Topaz“ der Mohr-Sederl Fruchtwelt GmbH wurde sortenrein gesammelt, im HERBert getrocknet und mithilfe eines Stephan Cutters zu feinem Apfeltrestermehl vermahlen.
In mehreren Versuchsreihen wurde schrittweise Roggenmehl einer Lebkuchen-Basisrezeptur durch Apfeltrestermehl ersetzt. Die Ergebnisse wurden jeweils mit der Ausgangsrezeptur verglichen.
Lebkuchenvarianten mit 5 % und 10 % Apfeltresteranteil wurden schließlich zum Akzeptanztest gereicht und beurteilt.
Studiendesign: Die zwei hergestellte Produktproben mit unterschiedlichen Anteilen an Apfeltrestermehl wurden gemeinsam mit Lebkuchen nach der Basisrezeptur (ohne Apfeltrestermehl) durch 47 Proband*innen, die von sich angaben, regelmäßig Lebkuchen zu konsumieren, im Rahmen eines Akzeptanztests im Sensoriklabor der FH Wr. Neustadt am Campus Wieselburg verkostet. Ziel war es den Einsatz von Apfeltrestermehl auf die Gesamtakzeptanz des Lebkuchens zu untersuchen. Beurteilt wurden neben der Gesamtakzeptanz das Aussehen, der Geruch, der Geschmack und die Textur der Proben. Mittels JAR-Skala wurde zudem das Optimum der Fruchtigkeit und der Süße des Lebkuchens ermittelt. Ergänzt wurde das Studiendesign um zwei offene Fragen zu besonders positiv und negativ aufgefallenen Produkteigenschaften der einzelnen Proben.
Statistische Datenauswertung: Die Studie wurde mittels deskriptiver Statistik und einer Varianzanalyse mit Messwiederholung nach Bonferroni (α=0.05) ausgewertet. Für die Überprüfung eines möglichen Einflusses der spezifischen Produkteigenschaften auf die Gesamtakzeptanz wurde eine Penalty Analyse durchgeführt. Die offenen Fragen wurden geclustert und mittels Häufigkeitstabellen visualisiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung des Akzeptanztests zeigt, dass sich die beiden Lebnkuchevarianten mit 5 % bzw. 10 % Apfeltrestermehl-Anteil optisch nicht signifikant von der Originalrezeptur unterschieden, im Geruch wurde der Lebkuchen mit 10 % Trester-Anteil jedoch signifikant schlechter beurteilt als der Lebkuchen ohne Trester. Die Geschmacksbeurteilung und auch die Gesamtakzeptanz zeigten jedoch, dass der Einsatz des Apfeltrestermehls als teilweiser Ersatz von Roggenmehl zu signifikant besseren geschmacklichen Akzeptanzwerten im Vergleich zur Basisrezeptur führte. So konnten der Lebkuchen mit 5 % Tresteranteil mit einer Durchschnittsbewertung von 6,94 auf der 9-Punkte-Hedonikskala, der Lebkuchen mit 10 % Apfeltrester-Anteil mit einem Mittelwert von 6,96 geschmacklich überzeugen, während die Kontrollprobe ohne Tresteranteil einen vergleichsweise niedrigen Wert von 6,23 in der Geschmacksbeurteilung erzielte. Auch insgesamt wurden die beiden Versuchsproben, wie in Abb. 1 ersichtlich, mit Mittelwerten von 6,81 (5 % Apfeltrester im Lebkuchen) bzw. 6,87 (10 % Apfeltrester im Lebkuchen) signifikant besser bewertet als die Kontrollprobe ohne Tresterzugabe.
Die Penalty Analyse zeigte, dass die Optimumsabweichungen von Fruchtigkeit und Süße keinen signifikanten Einfluss auf die Akzeptanzbeurteilung hatten. Die offenen Antworten hingegen lassen den Rückschluss zu, dass der Lebkuchen mit steigendem Apfeltrestermehl-Gehalt weicher wurde. So wurde die Basisrezeptur tendenziell als zu hart, die Vergleichsproben als weicher betitelt.
Insgesamt kann also geschlussfolgert werden, dass sich der Einsatz von Apfeltrestermehl in Lebkuchen als teilweiser Ersatz von Roggenmehl positiv auf die Akzeptanz dessen auswirkt, was großteils auf die positiven Textureigenschaften zurückzuführen ist. Limitierend muss ergänzt werden, dass aufgrund der erhöhten Wasserbindungsfähigkeit des Apfeltrestermehls im Vergleich zum Roggenmehl ein erhöhter Wassereinsatz bei der Teigbereitung notwendig ist.

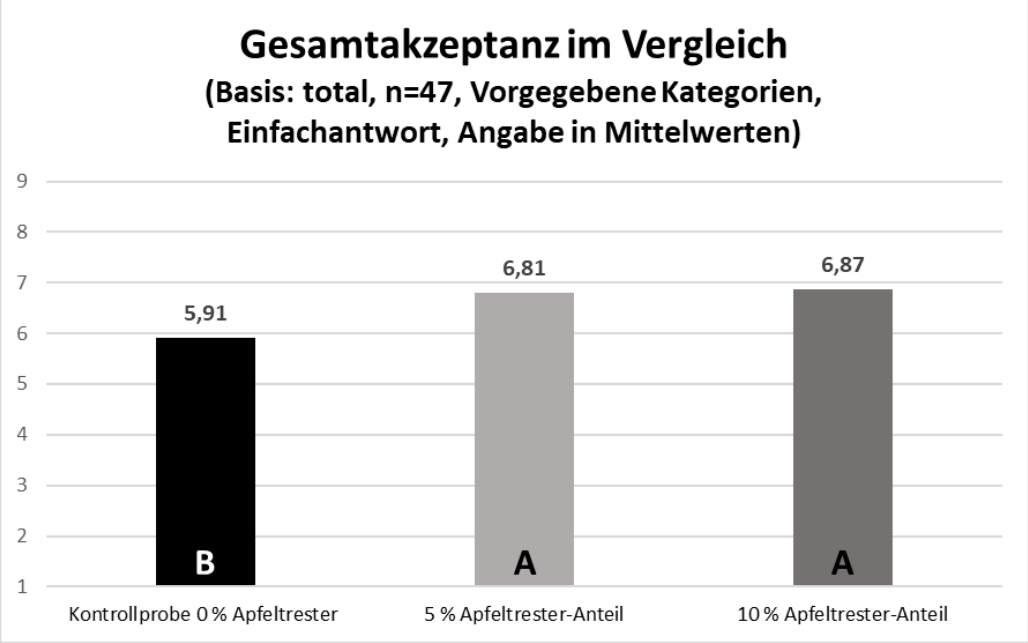


Abbildung 1: **Vergleich der Gesamtakzeptanzwerte zwischen der Kontrollprobe und den beiden Lebkuchenproben mit 5 % bzw. 10 % Apfeltrester-Anteil**

Zusammenfassung

Apfelsaft ist in Österreich der zweitbeliebteste Fruchtsaft nach Orangensaft. Bei der Herstellung von Apfelsaft fallen etwa 25 % Apfeltrester an, ein Nebenprodukt, das vor allem zur Pektingewinnung, als Tiernahrung oder zur Energiegewinnung weiterverwertet wird. Eine Reihe wertvoller ernährungsphysiologischer Inhaltsstoffe machen den Apfeltrester jedoch auch für den direkten Einsatz als Mehl in verarbeiteten Lebensmitteln interessant. Besondere Bedeutung kommt hierbei den Ballaststoffen und den phenolische Verbindungen zu.

Neben Apfelsaft gilt auch Lebkuchen, insbesondere in der Vorweihnachtszeit, als beliebtes Lebensmittel der Österreicher*innen. Um Lebkuchen ernährungsphysiologisch durch einen erhöhten Ballaststoffgehalt aufzuwerten und gleichzeitig das Nebenprodukt Apfeltrester regional und saisonal verwerten zu könnten, wurde untersucht, inwiefern ein teilweiser Roggenmehlersatz durch Apfeltrestermehl bei Lebkuchen die Akzeptanz des Endproduktes beeinflussen kann.
Ein Akzeptanztest mit 47 Testpersonen zeigte, dass Lebkuchen unter Zugabe von 10 % Apfeltrestermehl eine signifikant höhere Bewertung im Vergleich zum Referenzprodukt ohne Tresterzugabe erzielt. Aufgrund der Ergebnisse kann darauf geschlossen werden, dass das Apfeltrestermehl den fruchtigen Geruch und Geschmack, sowie die Konsistenz des Lebkuchens verbessern kann. Allerdings muss bei der Teigbereitung auf Grund der guten Wasserbindefähigkeit des Tresters eine erhöhte Zugabe von Flüssigkeit berücksichtigt werden.

Abstract

Apple juice is the second most popular fruit juice in Austria besides orange juice. The production of apple juice produces about 25 % apple-pomace, a by-product that is mainly used for pectin extraction, as animal feed or for energy production. However, a number of valuable nutritional ingredients also make apple pomace interesting for direct use as flour in processed foods. Particular importance is attached to dietary fiber and phenolic compounds.
Besides apple juice, gingerbread is also a popular food among Austrians, especially in the pre-Christmas season. In order to improve the nutritional value of gingerbread by increasing the dietary fiber content and at the same time to make regional and seasonal use of the by-product apple-pomace, the extent to which partial rye flour replacement with apple-pomace flour in gingerbread can influence the acceptance of the end product was investigated.
An acceptance test with 47 test persons showed that gingerbread with the addition of 10 % apple-pomace flour achieved a significantly higher rating compared to the reference product without pomace addition. Based on the results, it can be concluded that the apple-pomace flour can improve the fruity smell and taste, as well as the consistency of the gingerbread. However, due to the good water-binding capacity of the pomace, an increased addition of liquid must be taken into account during dough preparation.

Literatur

ANTONIC B et al, 2020: Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis. Journal of Food Science, 85: 2977-2985. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15449
GÓMEZ M, MARTINEZ M M, 2018: Fruit and Vegetable By-Products as Novel Ingredients to Improve the Nutritional Quality of Baked Goods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2018, 58, 2119–2135. https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946
LYU F et al, 2020: Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. Processes, 8(3), 319. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/pr8030319
STATISTA RESEARCH DEPARTMENT, 2021: Absatz von Fruchtsaft in Österreich nach Art im Jahr 2020. Zugriff unter https://de-statista-com.wn.idm.oclc.org/statistik/daten/studie/287161/umfrage/absatz-von-fruchtsaft-in-oesterreich-nach-sorten/
VENDRUSCOLO F et al, 2008: Apple Pomace: A Versatile Substrate for Biotechnological Applications. Crit. Rev. Biotechnol. 2008, 28, 1–12. https://doi.org/10.1080/07388550801913840
VERBAND DER DEUTSCHEN FRUCHTSAFT-INDUSTRIE (VdF), 2021: Die Herstellung von Fruchtsaft. Zugriff unter https://www.fruchtsaft.de/saftwissen/herstellung/

Adresse der Autoren

Fachhochschule Wr. Neustadt, Campus Wieselburg, Zeiselgraben 4, 3250 Wieselburg

* Ansprechpartnerin: Kathrin HEIM BA MA, kathrin.heim@fhwn.ac.at

Mikrorespiration: Eine Feldmethode zur Messung der mikrobiellen Aktivität von Ackerböden

Microrespiration: A field method for measuring microbial activity in arable soils

Franziska Weinrich[1*], Christoph Rosinger[1,2], Katharina Keiblinger[1], Gernot Bodner[2]

Einleitung

Gesunde und fruchtbare Ackerböden sind nicht nur die Grundlage einer nachhaltigen Nahrungsmittelversorgung, sondern gleichzeitig auch die Existenzgrundlage landwirtschaftlicher Betriebe. Allerdings ist der Boden, vor allem verstärkt durch den Klimawandel, eine stark gefährdete Ressource, die es besonders zu schützen gilt. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des europäischen Green Deal eine Bodenstrategie ausgearbeitet, die unter anderem ein Bodengesundheitsmonitoring zum Ziel hat (European Commission, 2021). Es gibt viele verschiedene Bodengesundheitsindikatoren, anhand welcher der Zustand des Bodens im Labor beurteilt werden kann. Deutlich seltener stehen jedoch Feldmethoden zur Verfügung, die direkt und einfach vor Ort – auch von den Landwirten – durchgeführt werden können. Vor allem mikrobiologische Parameter wie z.B. Respiration, mikrobielle Biomasse oder Enzymaktivität sind gut als Bodengesundheitsindikatoren geeignet, da die Mikrobiologie eine wesentliche Rolle für den Nährstoffkreislauf, die Bodenstruktur und in der Umsetzung von organischer Substanz spielt (FAO, 2020). Ziel dieser Arbeit ist es daher, eine einfach durchführbare Feldmethode zu entwickeln, mit der anhand der Mikrorespiration die mikrobielle Aktivität von Ackerböden eingeschätzt werden kann. Zudem soll herausgefunden werden, ob genauere Aussagen über die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft (Pilze, Bakterien) durch die Zugabe von verschiedenen Substraten (Stroh, Luzerne, Glukose) getroffen werden können.

Material und Methoden

Standorte: Es wurden 13 Standorte des SOCCA-Projekts in Österreich mit jeweils drei verschiedenen Managementsystemen (humusfördernde Bewirtschaftung, konventionelle Bewirtschaftung, semi-natürliche Referenz) beprobt und jeweils vier verschiedene Varianten getestet (Basale Respiration ohne Zugabe von zusätzlichen Substraten und substratinduzierte Respiration jeweils mit der Zugabe von Stroh, Luzerne und Glukose).
Feldmethode: Messung der Mikrorespiration anhand des Farbumschlags eines Agarmediums mit Bromthymolblau als pH-Indikator in einem geschlossenen 50 ml Zentrifugenröhrchen (Abbildung 1). Durch die Reaktion des Bromthymolblaus mit dem durch die Respiration freigesetzten CO_2 entsteht ein Farbumschlag von Dunkelblau über Grün bis hin zu Gelbtönen. Für die Feldmethode wurden 15 g wiederbefeuchteter Boden mit den jeweiligen Substraten gemischt, in das vorbereitete Indikatorröhrchen eingefüllt und für 12 Stunden inkubiert. Anschließen konnte der Farbumschlag beobachtet und ausgewertet werden. Dazu wurden Fotos von den Indikatorröhrchen gemacht und die RGB-Daten der Indikatorfarben analysiert.
Labormessungen: Mithilfe von GC-Messungen der Mikrorespiration wurde der Farbumschlag des Bromthymolblau-Indikators validiert. Zusätzlich wurde für alle Varianten der Ergosterolgehalt (als Indikator der Pilzbiomasse) nach Gong et al. (2001) bestimmt und für die basale Respiration sowie für die substratinduzierte Respiration mit Glukose die mikrobielle Biomasse nach Carter und Gregorich (2008) analysiert.

Abbildung 1: **Indikatorröhrchen frisch mit Boden befüllt (links) und nach 12 Stunden Inkubationszeit mit einem deutlich sichtbaren Farbumschlag (rechts)**

Ergebnisse und Diskussion

Zusammenhang zwischen dem Farbumschlag des Indikators und der Mikrorespiration: Für die Bestimmung der mikrobiellen Aktivität von Ackerböden anhand der Mikrorespiration ist die Feldmethode gut geeignet, was mit einer signifikanten Korrelation zwischen der Respiration und dem G-Wert der RGB-Skala ($r = 0{,}79$, $p = <0{,}001$) bestätigt werden kann (Abbildung 2). Der nicht-lineare Zusammenhang zwischen der Respiration und dem G-Wert der RGB-Farbskala ergibt sich aus einer allmählichen Sättigung des Indikators, da nach der Reaktion mit einer gewissen Menge an CO_2 keine Farbänderung mehr stattfindet, obwohl im Boden weiterhin mikrobielle Atmung stattfindet. Der Farbumschlag des Indikators deckt genau den richtigen Bereich an durch die Respiration produzierten CO_2-Gehalte ab, denn verglichen mit Werten aus der Literatur ist eine Respiration von 4 µg CO_2-C h^{-1} g^{-1} DW bereits hoch (Ananyeva et al., 2008). Für Ackerland liegen die Werte deutlich niedriger und werden somit gut mit dem Farbumschlag des Indikators erfasst.

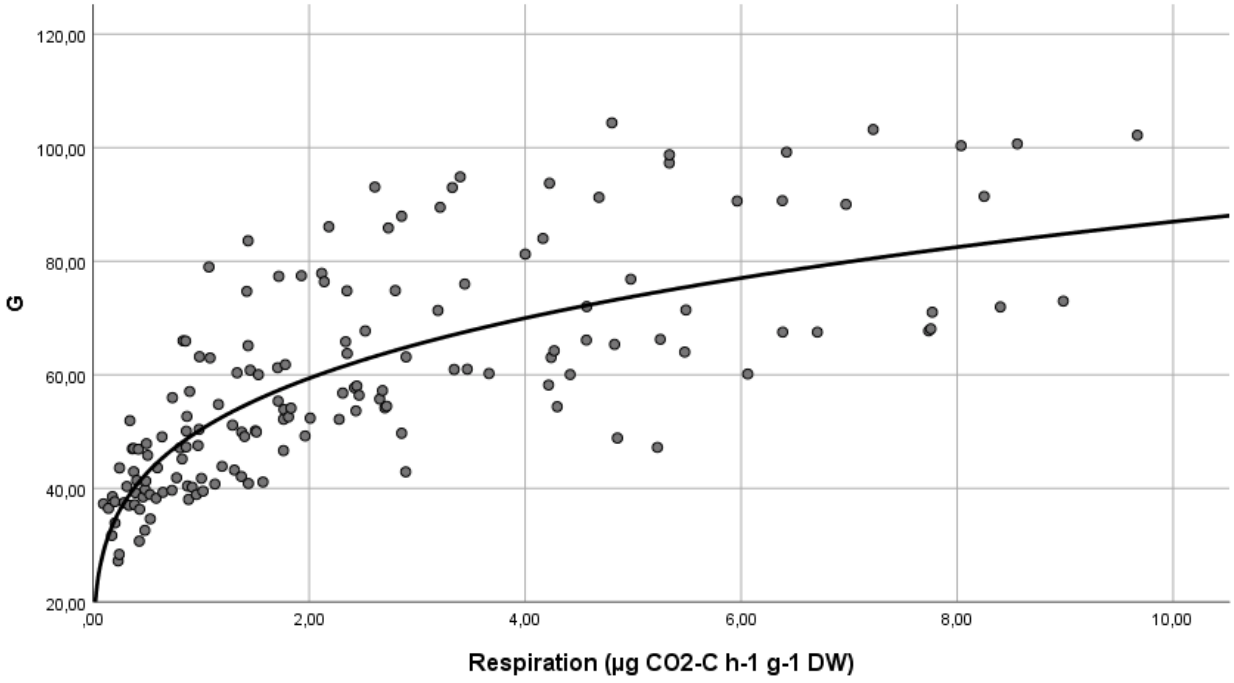


Abbildung 2: **Zusammenhang zwischen der mittels Gaschromatographie gemessenen Respiration (CO_2) mit dem G-Wert der RGB-Skala**

Auch die spezifische Respiration bezogen auf die mikrobielle Biomasse (qCO_2) ist ein gut geeigneter Indikator, da er sehr frühzeitig und sensitiv auf Veränderungen reagiert (Carter & Gregorich, 2008). Im

Gegensatz zu der Respiration bezogen auf 1 g trockenen Boden kann hier eine Aussage über die tatsächliche Aktivität der Bodenmikroorganismen getroffen werden. Die spezifische Respiration korreliert sehr gut (r = 0,85, p = <0,001) mit dem Farbumschlag des Indikators (Abbildung 3).

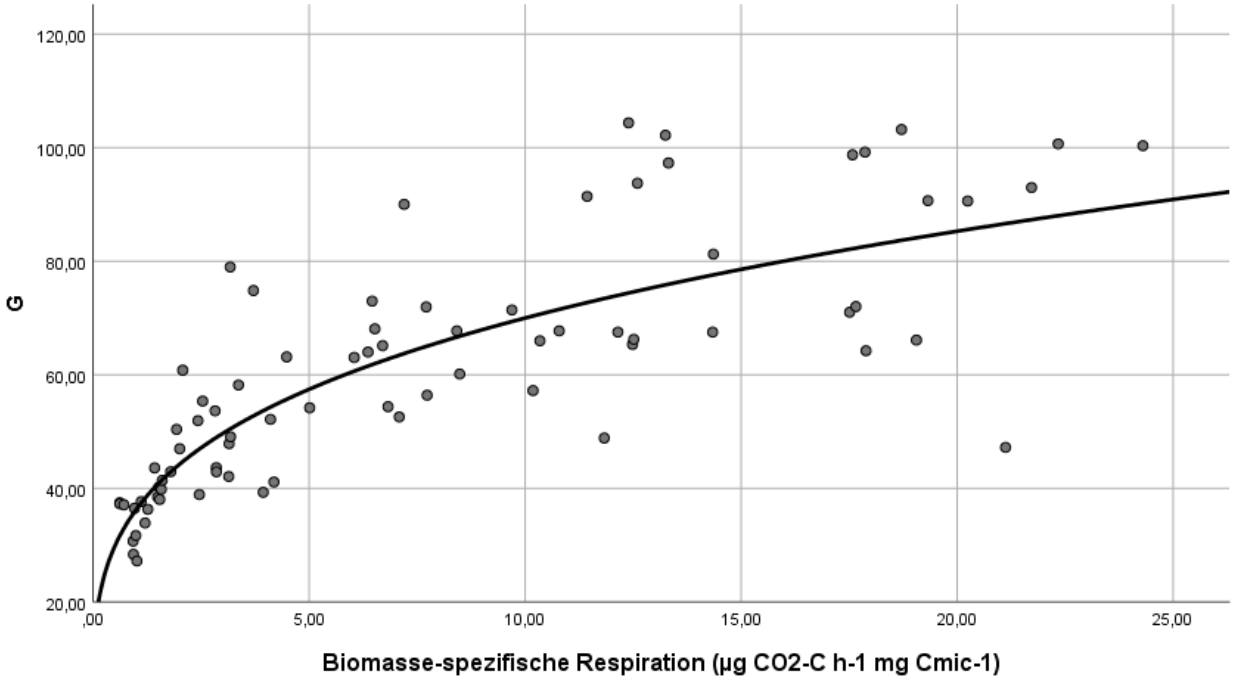


Abbildung 3: **Zusammenhang zwischen der biomasse-spezifischen Mikrorespiration (µg CO_2-C h^{-1} mg $Cmic^{-1}$) mit dem G-Wert der RGB-Skala**

Hinsichtlich der verschiedenen Varianten (basale Respiration, substratinduzierte Respiration mit Stroh, Luzerne und Glukose) ergeben sich klare Unterschiede. Insgesamt ergeben sich drei Gruppen, die sich signifikant unterscheiden: Basale Respiration und substratinduzierte Respiration mit Stroh mit der geringsten Respiration, substratinduzierte Respiration mit Luzerne als mittlere Gruppe und substratinduzierte Respiration mit Glukose mit der höchsten Respiration. Diese Aufteilung kommt dadurch zustande, dass innerhalb der 12 Stunden Inkubationszeit vor allem leicht abbaubare Substrate, wie Glukose, deutlich schneller verstoffwechselt werden als komplexe Substrate wie Stroh (Mondini et al., 2006). Die gleichen Gruppen ergeben sich auch bei der Signifikanzanalyse der G-Werte der RGB-Farbskala, was die Sensitivität und Praktikabilität der Methode bestätigt. Was die verschiedenen Managementsysteme angeht, muss festgehalten werden, dass eine Unterscheidung zwischen humus-fördernder Bewirtschaftung, konventioneller Bewirtschaftung und semi-natürlicher Referenz mit dieser Methode kaum möglich ist. Lediglich bei schweren Böden ergeben sich signifikante Unterschiede in der Farbskala zur Unterscheidung der einzelnen Managementsysteme.

Respiration und mikrobielle Biomasse: Ein positiver linearer Zusammenhang zwischen der mikrobiellen Biomasse und der Respiration konnte festgestellt werden (r = 0,50, p = <0,001). Werden die verschiedenen Varianten (basale Respiration und substratinduzierte Respiration mit Glukose) allerdings getrennt betrachtet, ergibt sich für Erstere (r = 0,77, p = <0,001). Das bedeutet, je mehr Mikroorganismen im Boden vorhanden sind, desto höher ist die Mikrorespiration. Für die substratinduzierte Respiration sind die CO_2-Werte signifikant höher und es ergibt sich ein r = 0,47. Des Weiteren kann bereits nach 12 Stunden Inkubationszeit ein signifikant höherer Gehalt an mikrobieller Biomasse beobachtet werden, das heißt bereits während dieser kurzen Zeit kommt es zu einem Biomassezuwachs der Bodenmikroorganismen.

Zusammensetzung und Größe der mikrobiellen Gesellschaft im Boden: Um Aussagen über das Pilz-Bakterien-Verhältnis der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden zu machen, wurde die mikrobielle Biomasse, der Ergosterolgehalt sowie das Verhältnis von Ergosterol zur mikrobiellen Biomasse betrachtet.

Bezüglich der verschiedenen Varianten können keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, da kein großes Pilzwachstum innerhalb von 12 Stunden Inkubationszeit zu erwarten ist (Rousk & Bååth, 2007). Allerdings ist zu beobachten, dass der Ergosterolgehalt bei der Stroh-Variante, wenn auch nicht signifikant, geringfügig höher ist als bei den anderen Varianten. Was das Management angeht, so besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich Pilzbiomasse zwischen der semi-natürlichen Referenz und den beiden Ackerbaustandorten. Der Grund für die niedrigeren Ergosterolgehalte in den Ackerbaulich genutzten Böden ist vermutlich die ständige Störung des Bodenlebens durch Bodenbearbeitung.

Zusammenfassung

Die Messung der mikrobiellen Aktivität in Böden ist ein wichtiger Bodengesundheitsindikator. Bisweilen fehlen aber einfache Methoden, welche eine solche Bestimmung direkt im Feld ermöglichen. In diesem Beitrag beschreiben wir die Entwicklung einer Feldmethode zur Messung der mikrobiellen Aktivität in Ackerböden. Das Prinzip der Feldmethode basiert auf einem CO_2-induzierten Farbumschlag eines Bromthymolblau-Indikators in einem geschlossenen 50ml-Röhrchen. Der Farbumschlag soll anhand einer Farbskala mit CO_2-Messungen im Labor validiert werden. Dazu wurden insgesamt 13 Standorte mit 3 Managementsystemen (konventioneller Ackerboden, Ackerboden aus humusaufbauender Bewirtschaftung, ungestörte Referenzfläche) und 4 Behandlungen (basale Respiration, Zugabe von Glukose, Stroh oder Luzerne) untersucht. Durch die Zugabe von verschiedenen Substraten (Glukose, Stroh, Luzerne) soll zusätzlich herausgefunden werden, ob auch Aussagen über die Größe und Zusammensetzung (mittels Pilz-Bakterien-Verhältnis) der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden getroffen werden können. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der kontinuierliche Farbumschlag (evaluiert mittels RGB-Daten) sehr gut mit den im Labor gemessenen CO_2-Konzentrationen übereinstimmt. Weiters korrelieren CO_2-Konzentration und mikrobiellen Biomasse sehr gut miteinander. Genauere Aussagen über die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft sind mit dieser Methode jedoch nicht möglich. Die neue Feldmethode erweist sich als geeignet zur einfachen Bestimmung der mikrobiellen Aktivität und in weiterer Folge der mikrobiellen Biomasse in Ackerböden.

Abstract

Microbial activity is a useful indicator for assessing soil health. However, until now field methods for measuring microbial activity in the field are scarce. This study describes the design and development of a field method for measuring microbial activity in arable soils. The principle of the field method is based on a CO_2-induced colour change of a bromothymol blue indicator in a closed 50 ml tube. The colour change was validated in the laboratory with respiration measurements of the soil. For this purpose, 13 sites with three management systems (conventional management, humus-building management and natural vegetation) and four different treatments (basal respiration, addition of glucose, alfalfa and straw) were investigated. By adding different substrates (glucose, straw, alfalfa), we also wanted to find out whether the microbial community can be described in more detail in terms of size and species composition (ratio of ergosterol to microbial biomass). Our results show that the continuous colour change (evaluated by means of RGB and Lab data) corresponds very well with the CO_2 concentrations measured in the laboratory. Furthermore, the specific respiration (ratio of respiration to microbial biomass) and the colour change correlate very well with each other. However, it is not possible to make statements about the microbial community composition with this method. The new field method proves to be suitable for the simple determination of microbial activity in arable soils.

Literatur

Ananyeva, N. D., Susyan, E. A., Chernova, O. V., & Wirth, S. (2008). Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia. *European Journal of Soil Biology*, *44*(2), 147–157. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.05.002

Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). *Soil sampling and methods of analysis* (2nd ed.). Canadian Society of Soil Science; CRC Press.

European Commission. (2021, November 17). *Fragen und Antworten zur Bodenstrategie der EU* [Press release]. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/qanda_21_5917

FAO. (2020). *Soil testing methods manual: Global Soil Doctors Programme. A farmer-to-farmer training programme*. FAO.

Gong, P., Guan, X., & Witter, E. (2001). A rapid method to extract ergosterol from soil by physical disruption. *Applied Soil Ecology*, *17*(3), 285–289. https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00141-X
Mondini, C., Cayuela, M. L., Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A., & Brookes, P. C. (2006). Soil microbial biomass activation by trace amounts of readily available substrate. *Biology and Fertility of Soils*, *42*(6), 542–549. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0049-2
Rousk, J., & Bååth, E. (2007). Fungal and bacterial growth in soil with plant materials of different C/N ratios. *FEMS Microbiology Ecology*, *62*(3), 258–267. https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00398.x

Adressen der Autoren

[1] Institut für Bodenforschung (IBF), Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[2] Institut für Pflanzenbau, Konrad Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau

[*] Ansprechpartner: Franziska Weinrich, franziska.weinrich@students.boku.ac.at

Hyperspektrale Spektroradiometrie zur Erhebung von Bodenkohlenstoff und landwirtschaftlichem Management

Hyperspectral Spectroradiometry for Surveying Soil Carbon and Agricultural Management Practices

Magdalena Bieber[1*], Francesco Vuolo[2], Katharina Keiblinger[1], Gernot Bodner[3]

Einleitung

Die Messung von Kohlenstoffgehalten in Böden ist für Landwirt:innen ein wichtiger Parameter für die Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit. Zudem stehen Böden im Hinblick auf den Klimawandel zusehends im Interesse, da sie als Senken für atmosphärischen Kohlenstoff fungieren können. Die Messung von Bodenkohlenstoff ist auch für die Bewertung von landwirtschaftlichen Maßnahmen relevant. Als einfaches und rasches Messverfahren für Bodenparameter wird die hyperspektrale Spektroradiometrie (auch VisNIR-Spektroskopie) beforscht. Insbesondere organischer Kohlenstoff (SOC), Mineralogie und Wassergehalt von Böden prägen deren spektrale Eigenschaften (STENBERG et al. 2010). Dabei gilt es zu untersuchen, ob spektrale Messverfahren ausreichend zuverlässig sind, für Monitorings von managementbedingten Veränderungen. In dieser Arbeit wurde mit Hilfe von unterschiedlichen statistischen Verfahren, die Möglichkeit der Bestimmung von Kohlenstoffgehalten mittels hyperspektraler Spektroradiometrie im Wellenlängenbereich 350-2500 nm behandelt. Zudem wurden zwei landwirtschaftliche Management-Systeme sowie eine natürliche Referenz auf potentiell unterschiedliche spektrale Eigenschaften verglichen. Die zugrunde liegenden Hypothesen lauten:

H1 Kohlenstoff-Gehalte können mittels VisNIR-Spektroskopie ermittelt werden.

H2 Landwirtschaftliche Systeme und natürliche Referenzen weisen eindeutig unterscheidbare spektrale Eigenschaften auf.

Material und Methoden

On-farm-Untersuchung: Im Rahmen des Projekts SOCCA wurden Bodenproben der charakteristischen Bodentypen aus den landwirtschaftlichen Produktionsgebieten Ost-Österreichs (Niederösterreich, Burgenland) auf unterschiedliche Bodenparameter untersucht (organischer Kohlenstoff, gelöster Kohlenstoff, Textur, Aggregatstabilität, mikrobielle Aktivität, etc.). An 21 Standorten wurden jeweils drei Systeme beprobt: Die landwirtschaftlichen Flächen der „Pionier-Betriebe“ (P) werden mit besonderem Fokus auf bodenschonende Maßnahmen bewirtschaftet (z.B. reduzierte Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau, organische Düngung). Auf den benachbarten Ackerflächen der „Standard-Betriebe“ (St) werden Kulturen entsprechend der regionalen landwirtschaftlichen Praxis produziert. Als natürliche Vergleichsflächen (Referenz, Ref) wurden angrenzende Ackerränder mit permanenter Vegetation (vorwiegend Gräser) untersucht (ROSINGER et al. 2022).

Spektrale Messungen: Die auf 2 mm gesiebten, luftgetrockneten Proben wurden im Labor unter kontrollierten Lichtverhältnissen gemessen. Mittels hyperspektraler Aufnahmen mit dem Spektroradiometer Spectral Evolution wurde im Wellenlängenbereich 350-2500 nm das Reflexionsverhalten der Böden zu je vier technischen Replikaten aufgezeichnet. Zudem wurden die Proben wiederbefeuchtet und eine Messreihe bei unterschiedlichen Wassergehalten aufgestellt.

Statistische Auswertung: Die Daten wurden als Rohdaten und mittels acht unterschiedlicher Transformationen in jeweils drei unterschiedlichen Wellenlängenfenstern (10, 50 und 200 nm) vorverarbeitet, sowie fehlerbehaftete Messwerte an den Enden des gemessenen Spektrums entfernt. Zudem wurde Wellenlängenverhältnisse in Form des Simple Ratio Contrast (SRC) errechnet (KIM et al. 2015). Anschließend wurden lineare Regressionen, Hauptkomponenten- (PCR) und Partial Least Square Regressionen (PLSR) sowie Hauptkomponentenanalysen (PCA) durchgeführt, um geeignete Wellenlängenbereiche und -verhältnisse für die Bestimmung der Kohlenstoffgehalte in den Böden zu bestimmen. Mittels ANOVA wurden spektrale Unterschiede zwischen den Systemen P, St und Ref untersucht.

Ergebnisse und Diskussion

Transformationen, Wellenlängenfenster und -verhältnisse: Die Auswahl der Vorverarbeitungsschritte erfolgte basierend auf der Datenstruktur, dem Rechenaufwand und dem Vergleich statistischer Kennwerte im Hinblick auf Unterschiede in Kohlenstoffgehalten und System. Die Struktur spektraler Daten weist ein hohes Maß an Autokorrelation auf, weshalb die Messwerte auf Wellenlängenfenster gemittelt wurden. Bei einem Abstand von 200 nm liegen die Korrelationskoeffizienten zwischen 0,4 und 0,7 und weisen daher weiterhin eine ausgeprägte Korrelation innerhalb der Spektren auf. Zudem ziehen kleine Wellenlängenfenster (10 nm) einen erheblich größeren Rechenaufwand nach sich. In allen Transformationen und Wellenlängenverhältnissen weisen gewisse spektrale Bereiche signifikante Ergebnisse im Hinblick auf lineare Korrelationen mit SOC auf. Zwischen den Systemen konnte am besten mittels SRC in 50 nm-Wellenlängenfenstern unterschieden werden. Dieser Datensatz wird daher in Folge für die statistische Betrachtung ausgewählt („SRC-Daten“). Als Vergleich wird zudem ein über polynomisches Detrending in 50 nm Wellenlängenfenstern transformierter Datensatz gewählt („transformierte Daten“).

Bodenkohlenstoff und Managementsysteme: Wellenlängen(-verhältnisse) mit $R^2 > 0,7$ bei einfacher linearer Regression wurden als Ausgangsdaten für eine multiple lineare Regression gewählt. Dieses Kriterium wurde nur in den SRC-Daten mit SOC (nicht mit anderen Kohlenstofffraktionen) erfüllt. Anhand des BIC wurde eine Modellgröße von drei Wellenlängenverhältnissen gewählt. Alle Wellenlängen der drei Verhältnisse liegen im Bereich 600-900 nm, sodass dieser Bereich des Spektrums als besonders relevant für die Bestimmung des SOC-Gehalts eingestuft wird. Die multiple lineare Regression mit drei Verhältnissen resultiert in ein R^2 von 0,77 (BIC 171). Dies stellt keine erhebliche Verbesserung im Vergleich zu einfachen linearen Regressionen dar (höchstes $R^2 = 0,75$). PCR und PLSR basieren auf einer Auswahl von vier Wellenlängen(-verhältnissen). Die Regression mit zwei Hauptkomponenten für SOC mit den transformierten Daten resultierte in einem Fehler-Quadrat (RMSE) von 0,93. Die SRC-Daten zeigten den kleinsten Fehler mit nur einer Hauptkomponente (RSME = 0,78; Abbildung 1). Die Partial Least Square Regression (PLSR) ergab fast idente (kleinste) Prognosefehler bei gleicher Komponentenzahl. Angewendet auf die transformierten und SRC-Daten der wiederbefeuchteten Probenmessungen (ca. 20% Feuchte), entstehen Fehler-Quadrate von 1,32 und 1,06. Hypothese H1 wird aufgrund der Regressionsergebnisse (und im Hinblick auf SOC-Gehalte zwischen 0,84 und 7,65%) schwach unterstützt. Für eine praktische Anwendung der Messmethode sind die Fehler noch mit einem hohen Maß an Unsicherheit behaftet.

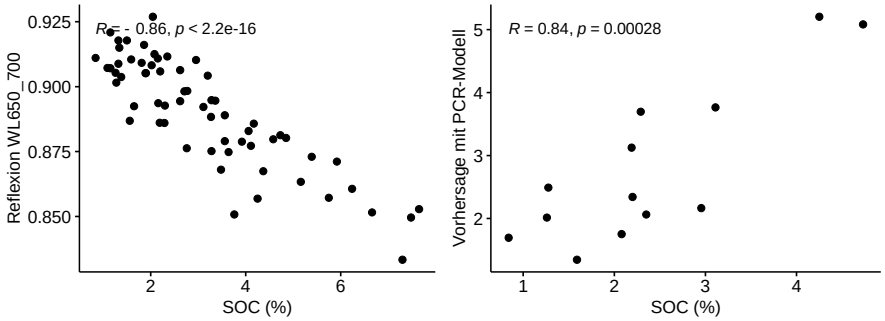


Abbildung 1: **Einfache lineare Regression (links, WL650_700 ist das Verhältnis der Wellenlängenfenster 650-700 nm zu 700-750 nm) und Prognose-Ergebnisse mittels PCR-Modell (rechts) basierend auf den SRC-Daten und organischem Kohlenstoff (SOC)**

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse (PCA) für die Management-Gruppen und Variablen (SOC, organischer Kohlenstoff; DOC, gelöster organischer Kohlenstoff; C_{mic}, mikrobieller Kohlenstoff; clay, Tongehalt; FeOx, Eisenoxid; sowie die Faktoren Managementsystem P, Pionier, St, Standard und Ref, Referenz; und Standort) mit den jeweils vier ausgewählten Wellenlängen(-verhältnissen).

Ähnliche Wellenlängenbereiche wie zuvor in den Regressionen mit SOC können auch für die Unterscheidung der Systeme herangezogen werden: 50 nm-Fenster in den Bereichen 550-650 nm und 2050-2150 nm in den transformierten Daten, sowie unterschiedliche Verhältnisse im Bereich 600-850 nm für die SRC-Daten. Landwirtschaftliche Flächen und Referenzflächen zeigten signifikant unterschiedliche

spektrale Eigenschaften. Die Unterscheidung innerhalb der landwirtschaftlichen Flächen (P und St) war nicht signifikant. Dieses Ergebnis unterstützt Hypothese H2.

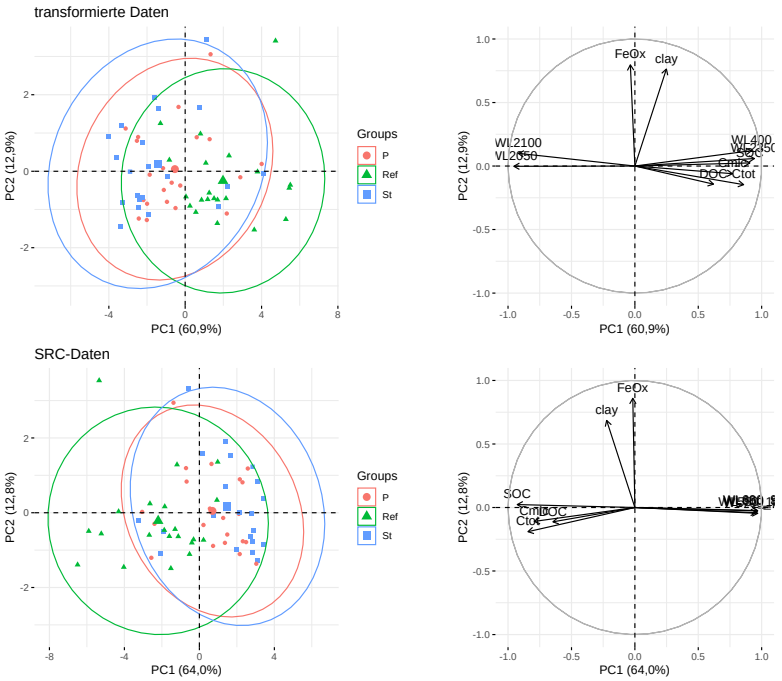


Abbildung 2: **Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse (PCA) für Spektraldaten nach polynomischem Detrending (transformiert, oben) und nach Formung des Simple Ratio Contrast (SRC, unten). Die Ellipsen (links) zeigen die Management-Gruppen P (Pionier), St (Standard) und Ref (Referenz). Die Pfeile (rechts) zeigen die Verschiebung auf den Achsen der ersten und zweiten Hauptkomponente durch die betrachteten Variablen (SOC, organischer Kohlenstoff; DOC, gelöster organischer Kohlenstoff; C_{mic}, mikrobieller Kohlenstoff; clay, Tongehalt; FeOx, Eisenoxid; WL verweisen auf Wellenlängen/-verhältnisse).**

Zusammenfassung

Hyperspektrale Spektroradiometrie bietet die Möglichkeit Bodenkohlenstoffgehalte rasch und großflächig zu erfassen. Insbesondere für das Monitoring von Kohlenstoffsequestrierung in landwirtschaftlichen Böden erscheint die Methode vielversprechend. Derzeit ist sie jedoch noch mit erheblichen Prognosefehlern verbunden. In dieser Arbeit konnten die besten Ergebnisse für die organische Kohlenstofffraktion (SOC) erzielt werden. Zudem verbesserte die Verwendung des Simple Ratio Contrast mit PCR und PLSR die Prognose von SOC-Gehalten. Besonders wichtige Wellenlängenbereiche befanden sich zwischen 600 und 900 nm. Dieser Wellenlängenbereich ist auch für die Unterscheidung der betrachteten Systeme (insbesondere landwirtschaftlich versus nicht genutzt) relevant. Eine Bewertung innerhalb unterschiedlicher landwirtschaftlicher Managementsysteme erscheint mit klassischen statistischen Methoden und auf Basis der vorliegenden Spektraldaten jedoch nicht mit ausreichender Präzision möglich zu sein. Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz könnten in Zukunft die praktische Nutzung spektraler Messmethoden fördern.

Abstract

Hyperspectral Spectroradiometry offers the opportunity for quickly assessing soil carbon contents over a large spatial scale. Especially for monitoring carbon sequestration in agricultural soils this method seems to be promising. However, to date, the error of prediction is still considerable. In this work the best results were achieved for the soil organic carbon fraction (SOC). Building the Simple Ratio Contrast in combination with PCR and PLSR improved the predictions of SOC contents. Wavelengths between 600 and 900 nm were seen to be important. These spectral areas were also relevant for distinguishing the systems under consideration (i.e., agriculturally managed versus unused plots). Assessing different agricultural management systems does not seem to be possible with sufficient precision using classical

statistical approaches and based on the spectral data underlying this work. In the future, progresses in artificial intelligence systems will most likely promote practical use of spectral measurement methods.

Literatur

ROSINGER C, BODNER G, BERNARDINI LG, HUBER S, MENTLER A, SAE-TUN O, SCHARF B, STEINER P, TINTNER-OLIFIERS J, KEIBLINGER K (2022): Benchmarking carbon sequestration potentials in arable soils by on-farm research on innovative pioneer farms. Plant and Soil, 20 Seiten.
KIM DM, ZHANG H, ZHOU H, DU T, WU Q, MOCKLER TC, BEREZIN MY (2015): Highly sensitive image-derived indices of water-stressed plants using hyperspectral imaging in SWIR and histogram analysis. Scientific Reports 5, 15919.
STENBERG B, VISCARRA ROSSEL RA, MOUAZEN AM, WETTERLING J (2010): Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. In: SPARKS DL (Hrsg.): Advances in Agronomy, Vol. 107, Burlington: Academic Press, 163-215.

Adressen der Autoren

[1] Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenforschung, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[2] Universität für Bodenkultur, Wien, Institut für Geomatik, Peter-Jordan-Straße 82, 1190 Wien

[3] Universität für Bodenkultur, Institut für Pflanzenbau, Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln

[*] Ansprechpartnerin: Magdalena BIEBER, BSc, magdalena.bieber@students.boku.ac.at

Schwammstadt für Bäume – Das Zusammenspiel von Boden und Bäumen, bewertet nach dem Konzept der Ökosystemleistungen

Structural substrates for trees – the interplay of soil and trees, assessed using the concept of ecosystem services

Anna Zeiser[*,1,2], Johanna Loicht[1,2], Sebastian Rath[1,2], Peter Strauss[1], Thomas Weninger[1]

Einleitung

Im von zahlreichen Nutzungsinteressen hart umkämpften Siedlungsraum basiert eine begründbare Flächeninanspruchnahme im besten Fall auf einer guten Abwägung ökonomischer und ökologischer Argumente. Während Stadtbäume von den einen als Platzverschwendung empfunden werden, werden sie von anderen als nachhaltige Notwendigkeit forciert. Besonders die Gestaltung der städtischen Umgebung - und hier vor allem des Untergrunds - bestimmt, ob der Grundstein für ein langes und vitales Baumleben gelegt ist, oder ein solches von Vorneherein erschwert wird. Die hier eingesetzten, bewusst designten Substrate und Einbauten bedürfen eines vergleichsweisen großen technischen und finanziellen Aufwands, erbringen bei gelungener Etablierung jedoch eine Fülle von Leistungen für die Gesellschaft.
Das Ziel der in Österreich als «Schwammstadt für Bäume» etablierten Bauweise besteht in erster Linie darin, den Wurzelraum von Bäumen im urbanen Raum auch unter verdichtete oder versiegelte städtische Oberflächen zu erweitern und dadurch ein vitales und langjähriges Baumwachstum zu ermöglichen (ZEISER et al. 2023). Das Kernelement des Systems bildet ein Skelettgerüst aus Grobsplitt, das im Zuge von Baumaßnahmen in einer Tiefe von meist 1,50 m und mehr eingebracht und bis zur Tragfähigkeit verdichtet wird (Abb. 1). In dieses stabile Gerüst wird anschließend Feinsubstrat mit Wasser und Druck eingeschlämmt, das bedingt durch die Art der Herstellung nicht nachträglich verdichtet werden kann. Das Aufbringen einer Verteil- und Belüftungsschicht mit Anschluss an die Oberfläche ermöglicht die Zufuhr von Niederschlagswasser und den für die Wurzeln wichtigen Gasaustausch. Das Substrat bietet auf Grund seiner Porenstruktur auch einen temporären Retentionsspeicher für Niederschlagswasser, das anschließend ins Grundwasser versickern oder verzögert dem Kanal zugeführt werden kann.

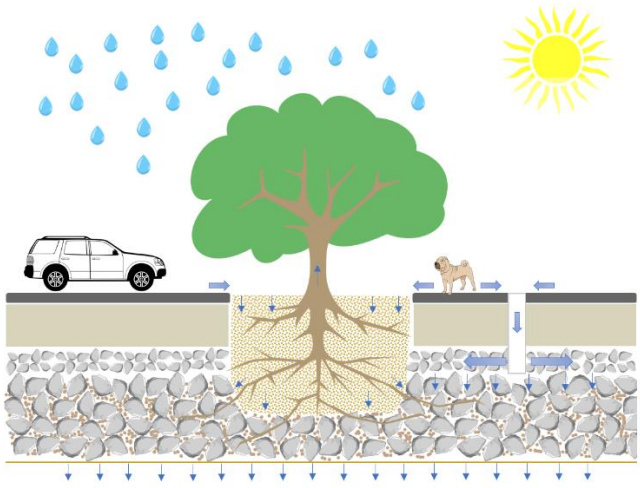


Abbildung 1: **Schematischer Aufbau des Systems Schwammstadt für Bäume, Variante.**

Eine Quantifizierung all dieser Leistungen ist schwierig, kann aber einen wesentlichen Vorteil in der Kommunikation und Argumentation des Nutzens dieser oft teuren Systemumsetzung bringen. Das Konzept der Ökosystemleistungen (ÖSL) wurde als Instrument entwickelt, das diese Kommunikation durch eine weitest mögliche Standardisierung erleichtert. Die Grundfrage hinter dieser Arbeit war, wie ein Konzept zur Bewertung der ÖSL des kombinierten Systems Schwammstadt für Bäume mit wasserwirtschaftlichem Fokus formuliert werden kann. Dazu wurde internationale Literatur gesichtet und unter Einbeziehung von laufenden Monitoringprojekten in Richtung Anwendbarkeit interpretiert.

Material und Methoden

Ökosystemleistungen und deren Bewertung: Dem Konzept der ÖSL liegt das Bestreben zugrunde, die für den Menschen essenziellen Beiträge von Ökosystemen durch Identifizierung und Bewertung greifbar zu machen (COSTANZA 2008). Es wurde als verknüpfendes Konzept in Bezug auf ökosystemare Abläufe und resultierende nützliche Funktionen aus einer anthropozentrischen Perspektive entwickelt. Dies soll den langfristigen Erhalt hoher Lebensqualität und multifunktionaler Ökosysteme sowie die strukturierte Integration in Entscheidungsprozesse gewährleisten (PODSCHUN et al 2018). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, eine Bewertung bzw. Quantifizierung von ÖSL vorzunehmen, diese unterscheiden sich wesentlich im Grad der Ausformulierung. Die Bandbreite reicht von groben, oft kategorischen Einstufungen bis zur Ausweisung von finanziellen Werten in einer gängigen Währung. In diesem Fall wird versucht, Fluss- und Prozessgrößen zu quantifizieren, die für die Allgemeinheit greifbar kommuniziert werden können und dennoch sensitiv genug sind, um einen Vergleich verschiedener Systeme zuzulassen. In das endgültige Bewertungssystem können daher nur jene ÖSL aufgenommen werden, die anhand von vorhandenen oder belastbar bestimm- oder schätzbaren Messwerten quantifiziert werden können.
Literaturrecherche und -interpretation: In mehreren Suchdurchgängen in verschiedenen internationalen Literaturdatenbanken wurde mittels entsprechender Keywords nach spezifischen Leistungsaspekten von Schwamm-/Stadtbäumen und -böden sowie passenden Bewertungsansätzen gesucht. Da das System auch als blau-grüne Infrastrukturmaßnahme interpretiert werden kann, wurde zusätzlich ein Rechercheweg über den siedlungswasserwirtschaftlichen Schwerpunkt des Systems gewählt.
Daten aus Österreich: Monitoringstandorte, die das Konzept Schwammstadt für Bäume in unterschiedlichen Varianten auf ihre wasserwirtschaftlichen und baumphysiologischen Funktionen untersuchen, dienen als Grundlage für die Erstellung des systemspezifischen Bewertungskonzeptes. Neben Forschungsstandorten im Straßenraumsetting in Wien und Graz, wird auch eine Baumlysimeteranlage in Kooperation mit der HBLFA Schönbrunn betrieben. Es werden unter anderem kontinuierliche Messungen des Saftstroms, des Stammzuwachs, des Trieblängenzuwachses und des Bodenwassergehalts vorgenommen. Ergänzend werden Laboranalysen zur bodenhydrologischen Charakterisierung der verwendeten Substrate durchgeführt.
Konzeptformulierung: Es erfolgt eine Einteilung der identifizierten ÖSL in jene, die vom Baum bereitgestellt werden und solche, die substratbedingt sind und somit durch das Schwammstadtsubstrat erst ermöglicht oder stark beeinflusst werden. Weiters werden Wechselwirkungen zwischen den baum- und substratspezifischen ÖSL beschrieben und die Besonderheit des Schwammstadtsubstrats hinsichtlich ÖSL-Erfüllung im Vergleich zu einer „normalen“ städtischen Baumumgebung beschrieben. Auf Basis der verfügbaren Messdaten werden einzelbaumbasierte Berechnungsmodelle für ausgewählte ÖSL eines Schwammstadtbaums vorgestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Umfang und Repräsentativität der gesichteten Quellen: Neben einer großen Anzahl an Studien und Publikationen bezüglich ÖSL von Stadtbäumen sind entsprechende Quellen zu den Leistungen von Stadtböden und structural soils im Speziellen deutlich weniger stark vertreten. Die ÖSL von blau-grünen Infrastrukturmaßnahmen aller Art mit dem Fokus auf deren wasserwirtschaftlichen Regulierungsleistung finden in der internationalen Literatur hingegen zahlreich Eingang (PRUDENICO und NULL 2018). Die Literaturrecherche zeigte weiters, dass in den meisten Fällen nur wenige, ausgewählte Leistungsaspekte beleuchtet und diese dafür zum Teil sehr genau quantifiziert werden, vielfach keine konkrete Quantifizierung vorgenommen wird und die ÖSL eher in qualitativer Form evaluiert werden, und der Fokus bei der Bewertung in der Regel entweder auf dem Leistungsbringer Baum oder der blau-grünen-Infrastrukturmaßnahme, respektive dem Substratkörper liegt.
Die Auswahl der Indikatoren und der zugrundeliegenden Messparameter, sowie der damit gekoppelten Berechnungsmethoden für die Bestimmung der ÖSL-Erfüllung reicht vom Vergleich einzelner Parameter (z. B. LAI) mit kombiniertem Gewichtungsfaktor zu prozessbasierten, räumlich und zeitlich aufgelösten Niederschlags-Abfluss-Modellen, die eine zurückgehaltene Fracht pro Zeiteinheit liefern. Das Model iTree Eco wird in zahlreichen Publikationen für die Quantifizierung und Bewertung der ÖSL von Stadtbäumen verwendet, wobei diesem Modell neben einfach zu erhebenden und messenden Parametern zahlreiche empirisch und physikalisch basierte Berechnungsformeln, baumartenspezifische Wachstumsmodelle und klimatische Datenbanken zu Grunde liegen (NOWAK 2021).

Stadtbäume erbringen ÖSL aus allen definierten Kategorien, wobei im urbanen Kontext die regulierenden ÖSL von besonderem Interesse sind (PACE et al 2021, HAND et al 2019). Während bei der Betrachtung konventioneller Baumstandorte das Substrat als Nebenkomponente mit der primären Funktion des Wurzelraums und einem in unterschiedlicher Genauigkeit angegebenen Einfluss auf den Wasserkreislauf betrachtet wird, nimmt im gegenständlichen System das Substrat als erweiterter Wurzelraum und bewusste Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme einen wesentlichen Stellenwert ein. Um den Einfluss des Systems auf die ÖSL im Vergleich zu einer herkömmlichen Stadt- oder Straßenbaumpflanzung evaluieren zu können, wurde in einem ersten Schritt eine Einteilung nach der primär erfüllenden Struktur (Baum / Substrat) getätigt (Tab. 1). In weiterer Folge wurde basierend auf Erfahrungen aus den Monitoringeinrichtungen eine Einschätzung vorgenommen, in welchem Ausmaß ein Schwammstadt-Baumstandort im Vergleich zu einem herkömmlichen Baumstandort zu einer verbesserten oder auch verschlechterten Erfüllung der jeweiligen ÖSL beitragen kann (Tab. 1).

Tabelle 1: **Bearbeitete Klassifizierung möglicher ÖSL städtischer Baumstandorte inkl. Zuordnung zu maßgeblicher Struktur (Baum oder Substrat) und Klassifizierung des Einflusses eines Schwammstadtbaums im Vergleich zu einem herkömmlichen Schwammstadtbaum (Spalte rechts)**

Kat.	Struktur	Ökosystemleistung	Hauptprozess	Beispiele einer Quantifizierung / Indikatoren	Einfluss Schwammstadtsystem
Bereitstellend		Nahrung	Photosynthese	t/yr	+
		Biomasse	Photosynthese	kg/yr; $Y = Exp^{(a+(b\ ln\ BHD))}$	+
		Wasser	Tiefenversickerung, Grundwasserneubildung	Wasservolumenstrom (m^3/yr)	+++
		Sauerstoff	Photosynthese	kg/yr	+
Regulierend		Temperatur/Klima	Beschattung, Transpiration	LAI, Kronendichte, $\Delta T_{Oberfläche}$ (°C)	++ / +++
		CO_2-Bindung	Speicherung, Sequestrierung	Gesamtbiomasse, Wachstum in kg	++
		Reduktion Oberflächenabfluss	Interzeption, Versickerung, Speicherung	Δ Gesamtabfluss (%); Hydraulische Leitfähigkeit, Infiltrationskapazität; Kronenvolumen	+++
		Verbesserung der Wasserqualität	Filterung	Δ Schadstoffbelastung (%)	+ / -
		Verbesserung der Luftqualität	Deposition, Dispersion	Entfernung von O_3, SO_2, NO_2, CO, PM_{10} (t/y) * Baumbedeckung (m^2)	+
		Lärmreduktion	Schallwellenabsorption durch Vegetation	LA (m^2) und Entfernung zu Straßen (m); Reduktion in dB/Vegetationseinheit	+
Unterstützend		Biodiversität	Strukturvielfalt, -dichte, Kontinuität	Artenanzahl, genetische Vielfalt	neutral
		Habitat	Nahrung, Bestäubung, Lebensraum	Anzahl Individuen, Reproduktion, Lebensdauer	+
Kulturell		Erholung, Bildung, kognitive Entwicklung	Ästhetik, Naturerlebnis, Spiritualität	m^2 (öffentliche) Grünfläche/EW	Neutral / +
		Immaterielle Werte	Bewirtschaftung, Tradition, Sense of Place	Zahlungsbereitschaft, Wertschätzung	Neutral / +

Ausgewählte ÖSL und Konzept zur Ermittlung der Flussgrößen für die Bewertung der ÖSL:
Temperaturregulation: Die von Stadtbäumen erzeugte Kühlwirkung setzt sich zusammen aus Beschattung und Transpiration. Bäume verringern Oberflächentemperaturen, indem einfallende Sonnenstrahlung von der Krone abgefangen wird. Es zeigte sich, dass Strahlung um 60 - 90% verringert sein kann, was auf Asphalt zu Temperaturdifferenzen von bis zu 20°C führen kann (BOWLER et al. 2010, RAHMAN et al. 2020). Zur Quantifizierung der Transpiration von Bäumen können im urbanen Bereich Saftstrommessungen herangezogen werden, über die latente Verdunstungswärme wird der Wärmeverlust beim Phasenübergang berechnet (WINBOURNE et al. 2020).
CO_2-Speicherung und -Sequestrierung: Zur Berechnung der CO_2-Speicherung eines Baumes wird seine Biomasse (Holz) anhand artspezifischer, allometrischer Gleichungen oder über die Abschätzung des jährlichen Biomassezuwachses berechnet (CAIRNS et al. 1997, NOWAK et al. 2013).

Reduktion Oberflächenabfluss: Der Wasserrückhalt setzt sich zusammen aus Interzeption, Versickerung und Wasserspeicherung im Substrat. Die Interzeptionswirkung kann entweder über einfache Wasserbilanzgleichungen abgeschätzt werden, oder über Modellannahmen des Speichervermögens der Krone (RUTTER 1971, GROH 2011). Für die Versickerung auf herkömmlichen Baumstandorten sind der kf-Wert der Baumscheibe, die Vorfeuchte des Substrats, die Baumscheibengröße, sowie die Intensität des auftreffenden Niederschlags maßgeblich. Beim System Schwammstadt für Bäume erfolgt zusätzlich zur Versickerung über die Baumscheibe auch eine Direkteinleitung von zusätzlichem Oberflächenwasser, wobei hierfür primär das hydrologische Einzugsgebiet, die Einleitungs- und Verteilkomponenten, aber auch das Gesamtvolumen des Rückhalteraums und der kf-Wert des umgebenden Schwammstadtsubstrates bestimmend sein können (SIEKER et al. 2017, ZEISER et al. 2023). Die Versickerung in den unterhalb anschließenden Bodenkörper kann einen Beitrag zum lokalen Wasserkreislauf und zur Grundwasserneubildung leisten (REVELLI und PORPORATO 2018). Weiters ist die Funktion der Wasserspeicherung die Basis für die baumphysiologische Funktion der Transpiration und somit einen wesentlichen Teil der ÖSL Klimaregulation (BERLAND et al 2017).
Besonderheit des Schwammstadtbaums und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen ÖSL:
Es wird angenommen, dass durch die gezielte Wurzelraumerweiterung die Bäume großkroniger und älter werden, als dies in „normalen“ durchschnittlichen städtischen Baumgruben der jüngeren Jahrzehnte in der Regel der Fall ist. Das Schwammstadtsubstrat als erweiterter Wurzelraum ergänzend zu einer herkömmlichen Baumgrube verbessert somit die genannten bauminduzierten ÖSL, die von der Baumgröße, Blattmasse oder dem Bodenwasservorrat abhängen. Die Verbesserungen der bauminduzierten ÖSL im Vergleich zu einem „normalen“ Stadtbaum sind erst nach einigen Standjahren zu erwarten, wenn der Wurzelraum der Baumgrube ausgeschöpft ist und sich die Wurzelraumerweiterung zunehmend im Baumwachstumsvergleich zeigt. Während Standard-Stadt- bzw. Straßenbäume in der gängigen Pflanzweise nach ein bis zwei Jahrzehnten zu vergreisen drohen, wird von Schwammstadtbäumen eine ÖSL-Erfüllung erwartet, die weit darüber hinausgeht.
Ein weiterer relevanter Unterschied der beiden Systeme besteht darin, dass beim Schwammstadtsystem Oberflächenwasser von zusätzlichen Einzugsgebieten direkt über Verteilrohrsysteme eingeleitet werden kann, wodurch zum einen die Limitation der Durchlässigkeit der offenen Baumscheibe umgangen wird und zum anderen ein Vielfaches der Wassermenge zugeführt werden kann. Die ÖSL Temperaturregulation durch Verdunstung bedingt durch regelmäßige Auffüllung des Bodenwasserspeichers, Wasserbereitstellung als Grundwasser und Reduktion des Oberflächenabflusses sind somit maßgeblich erhöht im Vergleich zum „normalen“ Stadt-/Straßenbaum. Ergänzend beeinflusst auch ein älterer Baum mit verzweigterem Wurzelwerk die substratinduzierten ÖSL, beispielsweise die CO2-Sequestrierung im Substrat durch Wurzelexudate und die damit in Verbindung stehenden mikrobiologischen Prozesse rund um den Humusauf- und -umbau.

Zusammenfassung

Das System Schwammstadt für Bäume erbringt über die zugrundeliegende Kombination aus Stadtbaum und Wasserspeichervolumen im Boden verschiedene Ökosystemleistungen (ÖSL) im urbanen Umfeld. In einer Vielzahl von Studien werden einzelne Systemkomponenten oder Prozesse untersucht, für eine adäquate Bewertung des gesamten Leistungsspektrums ist jedoch eine breite Zusammenschau notwendig. In einer umfassenden Literaturstudie wurden die methodischen Möglichkeiten für eine solche ganzheitliche Betrachtung gesammelt und unter Berücksichtigung der Quantifizierbarkeit durch Messdaten aus österreichischen Monitoringstandorten beurteilt. Es entstand ein grundlegendes Konzept zur Bewertung der ÖSL des Systems Schwammstadt für Bäume, naturgemäß stehen dabei die Klimaregulierung und der Wasserrückhalt im Mittelpunkt, etliche weitere ÖSL komplettieren das Bild. Somit wurde eine Grundlage geschafften, den immateriellen Mehrwert von Umsetzungsvorhaben abschätzen und kommunizieren zu können.

Abstract

Structural substrate sites for trees provide various ecosystem services (ES) in the urban environment via the underlying combination of urban tree and water storage volume in the soil. A large number of studies examine individual system components or processes, but a broad synopsis is needed to adequately assess the full range of services. In a comprehensive literature study, the methodological possibilities for such

a holistic view were collected and assessed, taking into account the quantifiability by measurements from Austrian monitoring sites. A basic concept for the assessment of the ES of structural substrate sites for trees was developed, naturally focusing on climate regulation and water retention, with several other ES completing the picture. Thus, a basis was created to estimate and communicate the intangible value of implementation projects.

Literatur

BOWLER DE, BUYUNG-ALI L, KNIGHT TM, PULLIN AS (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning 9, 3, 147–155.

CAIRNS M A, BROWN S, HELMER E H, BAUMGARDNER G A (1997): Root biomass allocation in the world's upland forests. Oecologia 111, 1–11.

COSTANZA R (2008): Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. Biological Conservation 141, 350–352.

GROH J (2011): Modellierung des Bodenwasserhaushalts und Analyse des Trockenstresses für zwei Waldstandorte im Odenwald. Masterarbeit. Freiburg, 156 S.

HAND K L, DOICK K. J, MOSS J L (2019): Ecosystem services delivery by small and medium stature urban trees. Modelling the delivery of ecosystem services for small and medium trees. Edinburgh.

NOWAK D J, GREENFIELD E J, HOEHN R E, LAPOINT E (2013): Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. Environmental Pollution 178, 229–236.

NOWAK D J (2021): Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods. Madison.

PODSCHUN S A, THIELE J, DEHNHARDT A, MEHL D, HOFFMANN T G, ALBERT C, HAAREN C von, DEUTSCHMANN K, FISCHER C, SCHOLZ M, COSTEA G, PUSCH M T (2018): Das Konzept der Ökosystemleistungen – eine Chance für Integratives Gewässermanagement. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 62, 6, 453–468.

PACE R, DE FINO F, RAHMAN M A, PAULEIT S, NOWAK D J, GROTE R (2021): A single tree model to consistently simulate cooling, shading, and pollution uptake of urban trees. International journal of biometeorology 65, 2, 277–289.

PRUDENCIO L, NULL S E (2018): Stormwater management and ecosystem services: a review. Environmental Research Letters 13, 3.

RAHMAN M A, STRATOPOULOS L M, MOSER-REISCHL A, ZÖLCH T, HÄBERLE K-H, RÖTZER T, PRETZSCH H, PAULEIT S (2020): Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. Building and Environment 170.

REVELLI R, PORPORATO A (2018): Ecohydrological model for the quantification of ecosystem services provided by urban street trees. Urban Ecosystems 21, 3, 489–504.

RUTTER A J, KERSHAW K A, ROBINS P C, MORTON A J (1971): A predictive model of rainfall interception in forests. Agricultural Meteorology 9, 367-384.

SIEKER H, SOMMER H, ESTUPIAN F (2017): Hydrologische Berechnungen für das Projekt KLIQ. „Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere in Hamburg“. Berechnung des Wasserhaushaltes und des Verhaltens im Starkniederschlagsfall für unterschiedliche dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsvarianten für das Untersuchungsgebiet Winterhude-Süd in Hamburg. Hamburg, 40 S.

ZEISER A, RATH S, MURER E, SCHMIDT S, ZIMMERMANN D, GRIMM K, ROTH T, KLAMMLER G, STRAUSS P, WENINGER T (2023): Überlegungen zur Dimensionierung und Ausführung des Systems Schwammstadt für Bäume. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, in Druck.

Adressen der AutorInnen

[1] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen

[2] Verein Land schafft Wasser, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen

[*] Ansprechpartnerin: DI Anna ZEISER, anna.zeiser@baw.at

HuLK zu Besuch in Schulen – Vermittlung von Bodenwissen durch experimentelles Lernen

HuLK visiting schools – teaching soil knowledge through experimental learning

Sabine Huber[1*], Magdalena Bieber[2], Angelika Hromatka[2],
Katharina Keiblinger[2], Gernot Bodner[1]

Einleitung

Die öffentliche Wahrnehmung der Bedeutung von Böden in Bezug auf Nahrungs- und Wasserversorgung, Klimakrise, Biodiversitätsverlust und weitere globale Herausforderungen ist gering (BREVIK et al. 2022). Vermittlung von Bodenwissen an Schulen ist ein Weg, um diesem Problem entgegenzuwirken und jungen Menschen schon früh Wissen und damit Lösungsansätze zu vermitteln (CHARZYNSKI et al. 2022).
„HuLK" (Humus, Landwirtschaft und Klima) ist ein Kooperationsprojekt zwischen WissenschaftlerInnen der Universität für Bodenkultur (BOKU) und sechs Schulklassen aus vier Wiener Schulen sowie dem BOKU Kindergarten. Unser Ziel ist es, Bewusstsein für die Bedeutung gesunder Böden für eine nachhaltige Lebensmittelversorgung, die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Böden, und die Rolle von Böden im Kohlenstoffkreislauf zu schaffen. Durch ein abwechslungsreiches Programm mit praktischen Experimenten sollen junge Menschen für bodenbezogene Themen begeistert sowie aktive Mitarbeit und selbstständiges Denken gefördert werden.
Das Projekt verläuft über einen Zeitraum von drei Schuljahren und beinhaltet einen Bodenworkshop mit Experimenten und kreativen Aufgaben, Exkursionen zu wissenschaftlichen und landwirtschaftlichen Organisationen und einen mehrwöchigen Pflanz-Versuch, den die SchülerInnen in ihren Klassenzimmern selbst betreuen. In diesem Beitrag wird der Bodenworkshop vorgestellt, der als Stationenbetrieb an der BOKU im Jahr 2022 veranstaltet wurde.

Material und Methoden

Im Bodenworkshop wurden drei verschiedene Substrate (Sand, Kompost, Ackerboden) auf ihre landwirtschaftlichen Vor- und Nachteile verglichen. Dabei sollten folgende Fragen behandelt werden: Was ist Boden? Woraus besteht er? Welche Unterschiede gibt es zwischen den Substraten? Welches Substrat ist nach Meinung der SchülerInnen das beste und warum?

In Kleingruppen absolvierten die SchülerInnen vier thematische Stationen (Feldbodenkunde, Bodenleben, Nährstoffe & Wasser, Kreatives) mit kleinen Experimenten und Aufgaben sowie einer abschließenden Reihung der „besten" Substrate, basierend auf den Ergebnissen der Experimente. Die Experimente wurden für unterschiedliche Altersstufen (5-15 Jahre) vereinfacht und Rechenaufgaben entsprechend angepasst.

Ergebnisse und Diskussion

An der Station zum Thema Feldbodenkunde wurde erörtert, aus welchen Bestandteilen sich Böden zusammensetzen. Mit Hilfe der Fingerprobe und einfachen Feldkits zur Bestimmung vom Gehalt an organischer Substanz, der Textur und dem pH-Wert, lernten die SchülerInnen selbstständig einige Bodeneigenschaften zu beurteilen. Wir stellten verschiedene Böden zur Verfügung, um die Vielfalt der möglichen Bodenfarben und Texturen zu veranschaulichen. Außerdem gab es einen Gley-Boden, aus dessen lehmigem Material die SchülerInnen Bodentiere formen konnten (Abbildung 1).

Abbildung 1: **Experimente der Feldbodenkundestation**

Die zweite Station befasste sich mit dem Thema Bodenleben. Um die Atmungsaktivität im Boden zu veranschaulichen, wurden die SchülerInnen angewiesen, ein einfaches Box-Experiment durchzuführen. Dabei wurden (Raum-)CO_2-Sensoren zusammen mit den drei Substraten in luftdicht verschlossene Plastikboxen gelegt. Außerdem wurden Wasser und eine Glukoselösung hinzugefügt, um die Aktivität der Boden(mikro)organismen zu fördern. Wir diskutierten, warum die CO_2-Konzentration in den Boxen mit der Zeit anstieg und welche Organismen dafür verantwortlich sind. Dieser Prozess wurde auch anhand von Röhrchen mit einem Indikator veranschaulicht, der seine Farbe mit steigender CO_2-Konzentration von blau nach gelb ändert (Abbildung 2). Da der Farbwechsel in den Indikatorröhrchen mehrere Stunden bis Tage dauert, testeten wir die sofortige Reaktion des in Wasser suspendierten Indikators durch Hineinblasen von Atemluft mit Strohhalmen. Um auch die entgegengesetzte Reaktion, d. h. die Photosynthese, zu demonstrieren, wurde eine Wasserpflanze in die aufgefangene gelbe Indikatorflüssigkeit gelegt, um den Prozess umzukehren. Durch Abdecken der Glasflasche, in der sich die Wasserpflanze und die Indikatorlösung befanden, wurde veranschaulicht, dass die Photosynthese lichtabhängig ist. Außerdem wurde die Vielfalt der Bodenmakrofauna mit einem Digitalmikroskop sichtbar gemacht (Abbildung 3).

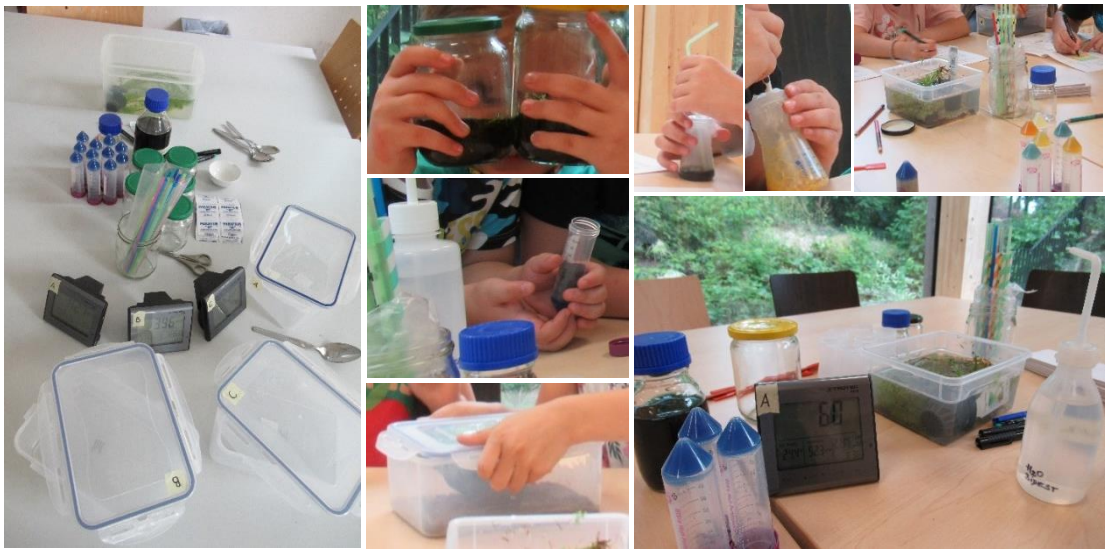


Abbildung 2: **Experimente der Bodenleben-Station**

Abbildung 3: **Durch ein Digitalmikroskop vergrößerte Wurzeln und Bodentiere**

Eine weitere Station befasste sich mit Bodenwasser und Nährstoffen. Mit Plastikflaschen, die mit verschiedenen Substraten gefüllt waren, wurde gezeigt, wie schnell oder langsam Wasser versickert. Die SchülerInnen maßen die jeweilige Zeit, bis die gleiche vorgegebene Wassermenge durch die Substrate geronnen war. Anschließend wurde das Durchflusswasser zur Bestimmung von Nährstoffgehalt und pH-Wert mit Teststreifen verwendet. Der abschließende "Tintentest" diente zur Veranschaulichung der Filter- und Pufferfunktion von Böden (Abbildung 4).

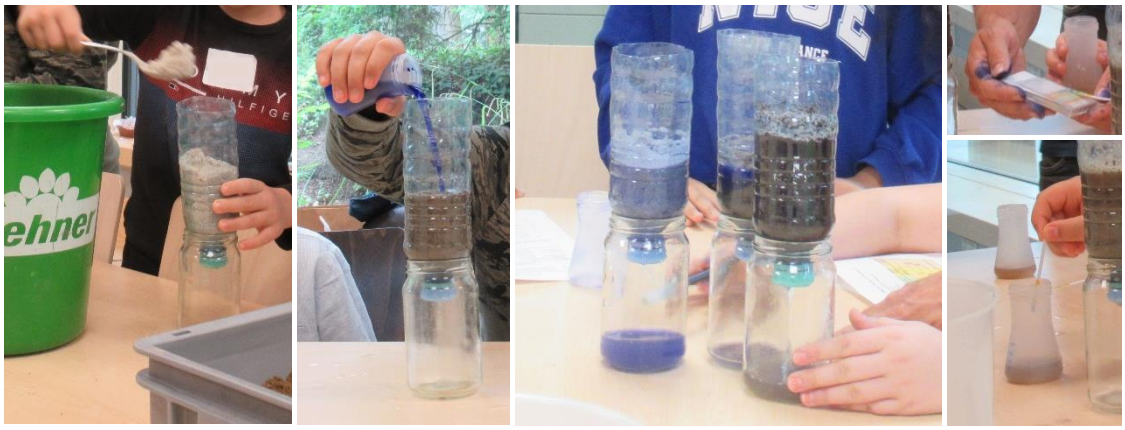


Abbildung 4: **Experimente der Station Bodenwasser und Nährstoffe**

Die letzte Station bot Material zum Basteln und Malen sowie Rätsel zu den behandelten Themen. Unter anderem konnten die SchülerInnen ihre eigenen Bodenprofile mit getrockneten und gemahlenen Böden auf farbigem Papier mit doppelseitigem Klebeband erstellen. Weiters gab es die Möglichkeit aus mehrfarbigen Buntstiften, Pfeifenputzern und Wackelaugen Regenbogen-Regenwurm-Buntstifte zum Mitnehmen zu basteln. Mit "Bodenbotschaften" wie "Boden ist Leben", "Boden ist Nahrung" oder "Boden ist Wasser" und Gesprächen während der kreativen Arbeit wollten wir einfache Botschaften zum Mitnehmen vermitteln und die Vielfalt der Prozesse aufzeigen, an denen Böden beteiligt sind (Abbildung. 5).

Abbildung 5: **Aufgaben bei der Kreativstation**

Das Projekt HuLK unterstützt Schulen dabei, Bodenkunde auf interaktive und anschauliche Weise zu vermitteln. Die Projekttage wurden als Workshops mit vielen praktischen Experimenten in Kombination mit einfachen Rechenaufgaben gestaltet und auf die jeweilige Altersgruppe der Schulklasse abgestimmt. Aufgelockert wurden diese intensiven Lerneinheiten durch kreatives Arbeiten und aktive Beteiligung der SchülerInnen.

Wir sehen die Zusammenarbeit zwischen Universitäten und Schulen als sehr bereichernd. Auf diese Weise werden wissenschaftliche Erkenntnisse in die Schulen getragen, sodass junge Menschen sich mit drängenden Themen unserer Zeit beschäftigen und WissenschaftlerInnen ihre Expertise in eine einfache Sprache übersetzen. So können das Interesse der SchülerInnen gefördert und das Bewusstsein für wichtige aktuelle und zukünftige Herausforderungen geschärft werden. Durch den Fokus auf PflichtschülerInnen (Volksschule und Mittelschule) können viele soziale Schichten erreicht und für bodenbezogene Themen sensibilisiert werden.

Zusammenfassung

Das Projekt HuLK ("Humus, Landwirtschaft und Klima") ist eine Kooperation zwischen der BOKU und sechs Schulklassen aus Wien (VS, NMS) sowie dem BOKU Kindergarten. Ziel des Projekts ist es, die Bedeutung gesunder Böden für eine nachhaltige Lebensmittelversorgung, die Beziehung zwischen Pflanzen und Böden sowie die Funktion von Böden im Kohlenstoffkreislauf zu verdeutlichen. Durch die aktive Einbindung der SchülerInnen soll die Faszination junger Menschen geweckt werden. Im Zeitraum von drei Schuljahren nehmen die SchülerInnen an einem Bodenworkshop an der BOKU und an Exkursionen teil. Zudem betreuen sie selbstständig ein Pflanzenexperiment in ihren Klassenzimmern, in dem das Zusammenspiel unterschiedlicher Böden und Pflanzen in Abhängigkeit von der Wasserversorgung beobachtet wird.
In diesem Beitrag wird der Bodenworkshop an der BOKU vorgestellt, bei dem im vergangenen Jahr gemeinsam mit den SchülerInnen drei verschiedene Substrate (Sand, Ackerboden und Kompost) hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Vor- und Nachteile verglichen wurden. Dabei wurden praktische Experimente an den Forschungsstationen zu den Themen Feldbodenkunde (pH-Wert, Textur), Bodenleben (Bodenatmung, Bodenorganismen), Wasser und Nährstoffe sowie kreative Aufgaben (Basteln, Tiere aus tonigem Boden formen) durchgeführt. Das abwechslungsreiche Programm wurde sowohl von den SchülerInnen, als auch vom Lehrpersonal sehr positiv wahrgenommen. Die Ergebnisse und Methoden des Projekts können zukünftig für weitere Bildungsinitiativen zum Thema Bodenforschung nützlich sein.

Abstract

The project HuLK ("Humus, Agriculture and Climate") is a cooperation between the University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) and six classes from Viennese schools (VS, NMS) as well as the BOKU kindergarten. The aim of the project is to highlight the importance of healthy soils for a sustainable food supply, the relationship between plants and soils, and the function of soils in the carbon cycle. Over a period of three school years, the students take part in a soil workshop at BOKU and excursions. In addition, they independently conduct a plant experiment in their classrooms, in which the interaction of different soils and plants is observed in relation to water supply.
In this article, last year's soil workshop at BOKU is presented, where three different substrates (sand, arable soil and compost) were compared regarding their agricultural advantages and disadvantages. Practical experiments were conducted by the students at four research stations on field soil science (pH, texture), soil life (soil respiration, soil organisms), water and nutrients, as well as creative tasks (handicrafts, shaping animals from clayey soil). The diverse program was perceived very positively by both the students and the teaching staff. The results and methods of the project can be useful for further educational initiatives on the topic of soil research in the future.

Literatur

Brevik, E. C., Krzic, M., Muggler, C., Field, D., Hannam, J., & Uchida, Y. (2022). Soil science education: A multinational look at current perspectives. Natural Sciences Education, 51(1). https://doi.org/10.1002/nse2.20077
Charzyński, P., Urbańska, M., Franco Capra, G., Ganga, A., Holmes, P., Szulczewski, M., Baatar, U.-O., Boularbah, A., Bresilla, B., Cacovean, H., Datta, A., Gadsby, H., Gargouri, K., Gebrehiwot Gebregeorgis, E., Giani, L., Grover, S., Juliev, M., Kasparinskis, R., Kawahigashi, M., … Zhang, S. (2022). A global perspective on soil science education at third educational level; knowledge, practice, skills and challenges. Geoderma, 425, 116053. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116053

Adressen der Autoren

[1] Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, A-3430 Tulln

[2] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[*] Ansprechpartnerin: DI Sabine HUBER, sabine.huber@boku.ac.at

Entwicklung von Pedotransferfunktionen zur Bestimmung von hydrologischen Bodeneigenschaften in Österreich

Development of pedotransfer functions for the assessment of soil hydrological properties in Austria

Florian Darmann*, Irene Winkler, Monika Kumpan, Peter Strauss, Thomas Weninger

Einleitung

Die Erfassung von hydrologischen Bodeneigenschaften ist kostenintensiv und mit hohem zeitlichem Aufwand verbunden. Um dennoch eine flächenhafte Aussage über die entsprechenden Eigenschaften treffen zu können, werden diese oft indirekt aus einfacher zu bestimmenden Parametern über sogenannte Pedotransferfunktionen (PTFs) abgeschätzt. Die Methoden zur Ableitung solcher PTFs reichen von einfachen linearen Regressionen über multiple Regressionen bis hin zur Anwendung von Machine Learning Algorithmen (Vereecken et al., 2010). In der Regel werden PTFs jedoch für bestimmte Regionen oder Einzugsgebiete entwickelt. In dieser Studie liegt der Fokus auf der Ableitung neuer PTFs für österreichische Böden mit landwirtschaftlicher Nutzung. Unter der Anwendung der Random Forest Methode werden Vorhersagemodelle zur Bestimmung von hydrologischen Bodeneigenschaften wie der Feldkapazität (FC), dem Permanenten Welkepunkt (PWP) und der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (Ks) entwickelt.

Material und Methoden

Die Ableitung der PTFs erfolgte auf Basis der Random Forest Methode. Diese wird den Machine Learning Algorithmen zugeordnet und gilt als robuster Vorhersagealgorithmus (Boulesteix et al., 2012). Dabei wird durch die Kombination mehrerer, einzelner Entscheidungsbäume eine nichtlineare Beziehung zwischen den Variablen modelliert. Um zusätzlich Informationen über die Unsicherheiten der Vorhersage zu erhalten, kann die Random-Forest-Methode in Kombination mit der der Methode der Quantilsregression verwendet werden. Während das reguläre Random Forest Modell den Mittelwert aller Einzelbäume ermittelt, wird durch die Quantilsregression die gesamte Verteilung aller vorhergesagten Werte bestimmt (Meinshausen, 2006). Dadurch ist es möglich, auf Basis des errechneten Interquartilsabstandes (Q90-Q10) auch die Unsicherheit bei der Prognose der hydrologischen Bodeneigenschaften zu ermitteln und eine Aussage über die Qualität der Vorhersage zu treffen.

Bodendaten: Die Grundlage zum Aufbau des Random-Forest Modells bildet ein Datensatz des Bundesamts für Wasserwirtschaft – Institut für Kulturtechnik und Wasserhaushalt (BAW-IKT). Dieser umfasst Bodendaten von diversen Projekten und repräsentiert dabei verschiedenste Bodentypen und Landschaften aus ganz Österreich. Insgesamt beinhaltet der hier verwendete Datensatz 2278 Proben von 518 landwirtschaftlichen Standorten, wobei jedes Bodenprofil zumindest eine Messung von hydraulischen Bodenparametern enthält. Eine Übersicht über alle Probenahmestellen ist in Abbildung 1 dargestellt.

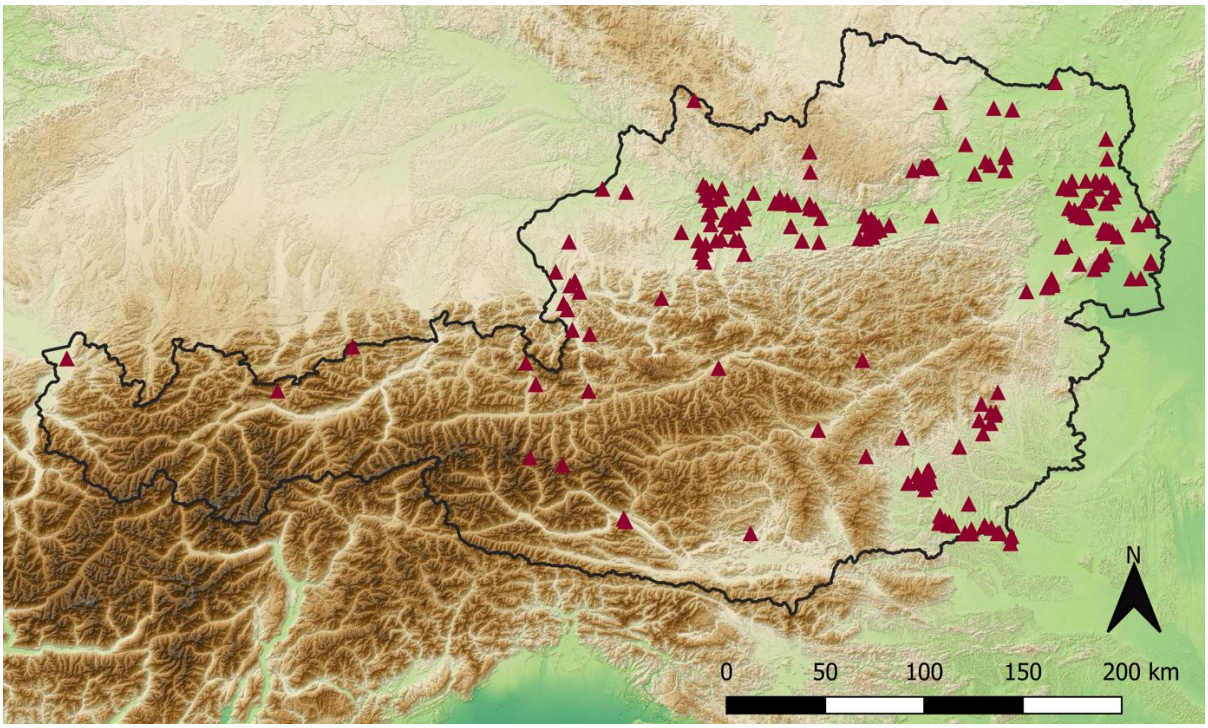


Abbildung 1: **Übersicht über die im Datensatz des BAW-IKT enthaltenen Probenahmestellen**

Bei der Datenaufbereitung wurden ausschließlich solche Proben berücksichtigt, die mit Standardmethoden analysiert wurden. Der Datensatz enthält Informationen zu grundlegenden Bodeneigenschaften wie Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Humusgehalt, und hydrologischen Bodeneigenschaften wie den Wassergehalt bei verschiedenen Matrixpotentialen (Tabelle 1)

Tabelle 10: **Verfügbare Daten inklusive Minimum, Maximum, Mittelwert und Median**

	n	Min	Max	Mean	Median
Number of profiles	518				
Number of samples	2278				
Bulk density [g/cm³]	1177	0,1	2,2	1,4	1,4
Soil organic carbon content [Mass-%]	1424	0,0	34,9	1,1	0,9
Soil organic matter [Mass-%]	1424	0,0	60,0	1,8	1,5
Calcium carbonate content [Mass-%]	1144	< 0,95	82,6	13,2	11,7
Porosity [Vol.-%]	557	0,4	68,7	42,0	44,3
pH-value	961	4,1	8,1	7,0	7,4
kF [cm/d]	883	0,0	27624,4	547,7	103,8
Particle size distribution					
Sand content [Mass-%]	1518	1,3	98,3	36,7	29,7
Silt content [Mass-%]	1518	1,1	86,0	45,9	49,0
Clay content [Mass-%]	1518	0,0	59,8	17,4	18,0
Water retention curve by method					
Pressure plate apparatus	956				
HYPROP	299				

Anwendung der Pedotransferfunktionen: Während der Datensatz des BAW-IKT zur Modellentwicklung verwendet wurde, wurden für die flächendeckende Zuordnung der abgeleiteten bodenhydrologischen Eigenschaften die offiziellen Bodendaten aus der österreichischen Bodenkarte (eBOD) verwendet. Diese beinhaltet Daten zu allen landwirtschaftlichen Flächen Österreichs und enthält Information zu Bodentextur, organischer Substanz oder pH-Wert. Dementsprechend wurde bei der Entwicklung der PTFs die Verfügbarkeit der Input-Daten berücksichtigt. Als Zielvariablen wurden in dieser Arbeit zwei

Ansätze für die Feldkapazität festgelegt (pF = 1,8 entspricht dem Wasseranteil bei einem Matrixpotential von -60hPa und pF =2,5 bei -300 hPa), sowie der Permanente Welkepunkt und die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit. Für jede Zielvariable wurden mehrere mögliche Kombinationen an Input-Variablen getestet, wobei die Bodentextur und die Entnahmetiefe als fixe Variablen definiert wurden. Lagerungsdichte, Humusgehalt, Grobstoffanteil, pH-Wert und CaCo3 wurden in unterschiedlichen Varianten kombiniert. Die weitere Beurteilung der abgeleiteten Modelle erfolgte anhand eines Rangsystems, welches auf den resultierenden Qualitätsparametern R^2 (Bestimmtheitsmaß) und RMSE (Root Mean Square Error) sowohl beim Training, als auch beim Validieren basiert. Dabei wurden für jede Zielgröße die drei besten PTFs zur weiteren Verwendung ausgewählt. Um die Anwendbarkeit der abgeleiteten PTFs sicherzustellen, wurde ein Vergleich mit bereits bestehenden PTFs durchgeführt. Dazu wurden die ausgewählten IKT-Modelle sowie die bestehenden PTFs auf den Validierungsdatensatz angewendet und die Ergebnisse anhand statischer Parameter verglichen. Zusätzlich zum R^2 und RMSE wurden dabei der MSE (Mean Square Error) und der SDPE (Standard Deviation of Prediction Error) berücksichtigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ableitung der PTFs resultiert in 27 unterschiedlichen PTFs mit variablen Input-Parametern für jede Zielvariable, wobei die Ergebnisse exemplarisch für die Feldkapazität bei pF 2,5 erläutert werden. Anhand des Rangsystems wurden die drei am besten gereihten Modelle zur weiteren Verwendung ausgewählt (IKT_23, IKT_26, IKT_27). Diese zeigten sowohl beim Training als auch der Validierung die besten Ergebnisse. Die drei Modelle berücksichtigen die chemischen Parameter pH-Wert und CaCO3 sowie zusätzlich die Lagerungsdichte in allen drei Varianten. Der Humusgehalt ist bei zwei von drei Varianten vorgesehen, der Grobstoffanteil nur einmal bei IKT_27 vertreten. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen, wurden zusätzlich zwei Modelle mit abweichenden Inputparametern ausgewählt. Dies umfasst die Variante IKT_01, die ausschließlich die beiden fixen Parameter Bodentextur und Entnahmetiefe beinhaltet, sowie IKT_19, bei dem die Kombination Lagerungsdichte, Humusgehalt und Grobstoff berücksichtigt werden. Anders als bei den drei besten Modellen beinhalten diese Varianten keine chemischen Parameter als mögliche Inputs.

Tabelle 1: **Ergebnisse der fünf ausgewählten PTFs zur weiteren Verwendung für Feldkapazität bei pF 2,5. PSD = Korngrößenverteilung Sand/Schluff/Ton, Depth = Entnahmetiefe der Probe, BD = Lagerungsdichte, SOM = Humusgehalt, Coarse = Grobstoff**

Feldkapazität - pF 2,5								
		Train			**Test**			**Overall**
PTF	**Input**	**n**	**RMSE**	**R^2**	**n**	**RMSE**	**R^2**	**Rank**
IKT_01	PSD + DEPTH	703	5,45	0,67	165	4,53	0,72	27
IKT_19	PSD + DEPTH + BD + SOM + COARSE	617	4,63	0,76	165	4,09	0,77	20
IKT_23	PSD + DEPTH + CaCO3 + pH + BD	394	4,32	0,78	100	3,78	0,80	3
IKT_26	PSD + DEPTH + SOM + BD + CaCO3 + pH	394	4,29	0,79	100	3,84	0,79	2
IKT_27	PSD + DEPTH + SOM + BD + CaCO3 + COARSE + pH	394	4,31	0,79	100	3,77	0,80	1

Beim Vergleich mit bestehenden PTFs zeigte sich, dass alle fünf IKT-Modelle die entsprechenden hydrologischen Bodenkennwerte mit höherer Genauigkeit ableiten (Abb. 2). Die fünf IKT-Modelle weisen nur geringe Schwankungen beim Vergleich untereinander auf (MSE zwischen 14,2 bis 19,0, SDPE zwischen 28,4 und 36,4). Im Vergleich dazu liegt der MSE für die anderen PTFs zwischen 23,9 und 58,2, der SDPE reicht von 41,4 bis 73,2. Ein Grund für die bessere Performance der IKT-Modelle ist die zu erwartende Regionalität bei der Ableitung neuer PTFs, nachdem die Anwendung der jeweiligen Funktionen auf spezifische Gebiete oder Einzugsgebiete limitiert ist.

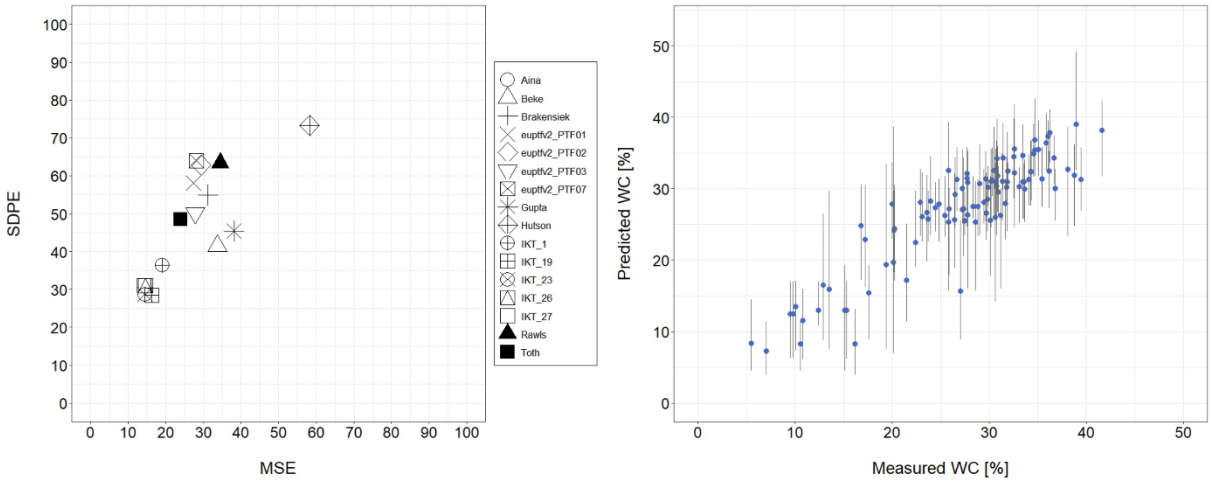


Abbildung 2: **Links: Bewertung der verschiedenen Pedotransferfunktionen anhand der statistischen Kennwerte SDPE und MSE. Rechts: Gemessener versus vorhergesagter Wassergehalt von IKT_27. Die blauen Punkte stellen den ermittelten Wassergehalt dar, die grauen Linie den Interquartilsabstand als Maß für die Unsicherheiten**

Auf Basis der eBOD-Daten wurden durch die Anwendung der auf Rang 1 gereihten PTF die hydrologischen Bodeneigenschaften für alle landwirtschaftlichen Flächen Österreichs ermittelt. Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Abbildung 3 in Form des errechneten Wassergehalts bei Feldkapazität (pF 2,5), sowie der resultierenden Unsicherheiten in der Vorhersage dargestellt. Insgesamt weisen 67 % der geschätzten Fläche einen IQR bis 15 % auf, während für 30,4 % der Fläche Unsicherheiten zwischen 15 und 21 % ermittelt wurden. 3,6 % entfällt auf die Klasse größer als 21 %.

Dabei ist ersichtlich, dass die größten Unsicherheiten in den Talsohlen des nördlichen Alpenrandes zu beobachten sind, wo schwere Böden mit einem hohen Tonanteil typisch sind. Die Ergebnisse zeigen weiters, dass der Interquartilsbereich umso größer ist, je höher der vorhergesagte Wassergehalt ist.

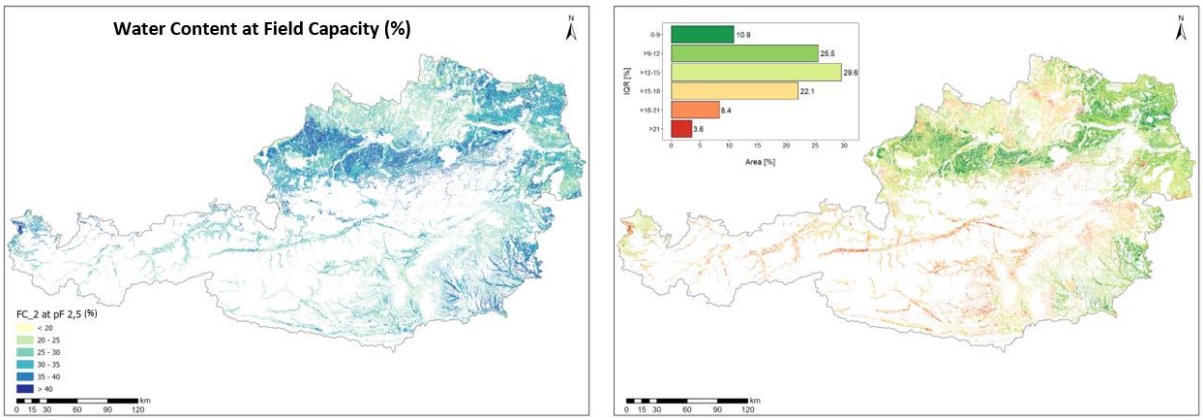


Abbildung 3: **Links: Wassergehalt bei Feldkapazität (pF 2,5) für alle landwirtschaftlichen Flächen in Österreich auf Basis der eBOD. Rechts: Darstellung der Unsicherheiten anhand des IQR (Q90-Q10).**

Zusammenfassung

Die direkte Messung von hydrologischen Bodeneigenschaften ist oft zeitaufwändig und kostenintensiv. Dementsprechend werden diese häufig indirekt aus leichter zu messenden Parametern durch sogenannte Pedotransferfunktionen (PTFs) bestimmt. In dieser Studie wurden neue PTFs für österreichische Böden entwickelt, wobei die Grundlage hierfür die Datenbank des BAW-IKT bildet. Diese umfasst Informationen zu verschiedenen Bodeneigenschaften und wird im Rahmen diverser Projekte fortlaufend erweitert. Unter Anwendung der Random Forest Methode erfolgt auf Basis dieser Daten die Ableitung neuer Vorhersagemodelle. Konkret beinhaltet dies die Abschätzung der Feldkapazität (bei pF 1,8 und pF 2,5), des Permanenten Welkepunkts sowie der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (Ks). Die entwickelten Berechnungsmodelle wurden auf die vorhandenen eBod-Daten angwendet, womit eine Abschätzung der

entsprechenden Zielvariablen für alle landwirtschaftlichen Flächen in Österreich möglich ist. Durch die implementierte Ausweisung der Modellunsicherheit lässt sich eine Aussage über die Güte der Berechnung angeben und über verschiedene räumliche Skalen statistisch auswerten.

Abstract

As the measurement of soil hydraulic properties is time-consuming and expensive, they are often computed from easily measurable soil properties via pedotransfer functions (PTFs). There are plenty of existing PTFs which were mainly derived for specific regions or catchments. In our study, new PTFs for Austrian soils were developed to estimate soil hydraulic properties such as field capacity or permanent wilting point. The PTFs were built by applying the random forest method, including the prediction of uncertainty measures. The used database includes soil physical data from different projects and monitoring campaigns all over Austria and represents many different landscapes and soil types within the country. We applied the newly derived PTFs to data from the official Austrian soil survey to get nationwide information on the estimated soil hydrological properties.

Literatur

BOULESTEIX A-L., JANITZA S., KRUPPA J., KÖNIG I.R., 2012: Overview of random forest methodology and practical guidance with emphasis on computational biology and bioinformatics. WIREs Data Mining Knowl. Discov. 2012, 2: 493–507. doi: 10.1002/widm.1072

MEINSHAUSEN N., 2006: Quantile Regression Forests. Journal of Machine Learning Research 7 (2006) 983-999

VEREECKEN H., WEYNANTS M., JAVAUX M., PACHEPSKY Y., SCHAAP M.G., VAN GENUCHTEN M.TH., 2010: Using Pedotransfer Functions to Estimate the van Genuchten – Mualem Soil Hydraulic Properties: A Review. Vadose Zone J. 9:795-820. doi:10.2136/vzj2010.0045

Adresse der Autoren

Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 Petzenkirchen

* Ansprechpartner: DI Florian DARMANN, florian.darmann@baw.at

Edler Tropfen – Gechillt oder gestresst? Beurteilung des aktuellen Wasserbedarfs von Weinreben zur datenbasierten Bewässerungssteuerung

Relaxed or stressed? Assessment of current water demand of vines for data-based irrigation management

Thomas Weninger[1*], Rosemarie Hösl[2], Erhard Kührer[3], Peter Strauss[1], Anna Zeiser[2]

Einleitung

Die Kultivierung von Wein genießt in unseren Breiten seit jeher einen hohen Stellenwert, sowohl in der Landwirtschaft, als auch in der Gesellschaft. Insbesondere die Wachau stellt diesbezüglich einen einzigartigen Kultur- und Wirtschaftsraum in Österreich dar. Die landschaftlich von Weinbau geprägte Region an der Donau zeichnet sich seit Jahrzehnten durch Kultivierung von Obst- und Weinbauprodukten höchster Qualitätsgüte aus. Gleichzeitig wird diese Region von seichtgründigen Böden und vorwiegend trockenen Standorten geprägt. Die somit notwendige Bewässerung wird von Bewässerungsgenossenschaften betrieben, wobei das Bewässerungsmanagement vorwiegend nach Wasserverfügbarkeit erfolgt.

Während andere Weinproduktionsländer bereits seit Jahrzehnten auf ein forschungsgestütztes Bewässerungsmanagement setzen (CIFRE et al. 2005), ist dieses Forschungs- und Anwendungsfeld in Österreich bisher wenigen Pionieren vorbehalten. Individuelle Bewässerungsstrategien haben in den letzten Jahren dennoch Aufmerksamkeit erregt, nicht zuletzt auch aufgrund von Veränderungen der Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf. Regionale und kleinklimatische Unterschiede in Niederösterreichs Weinbauregionen lassen keine allgemein gültigen Bewässerungsstrategien zu, zudem können verschiedene Rebsorten sehr unterschiedlich auf Hitze- und Trockenstress reagieren (KÜHRER 2018). Klimawandel, sozioökonomische und ökologische Faktoren steigern zunehmend den Druck der Landwirte auf nachhaltige, umwelt- und ressourcenschonende Bewässerungsstrategien zu setzen. Mittels effizienter Bewässerungssteuerung kann ein hoher Zusatznutzen für die niederösterreichischen Weinbauern durch gesteigerte Qualitäts- und Ertragssicherheit erzielt werden.

Unter diesem Hintergrund wurde 2021 gemeinsam mit der Obst- und Weinbauschule Krems (WBS Krems), dem Bundesamt für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen und dem Verein Land schafft Wasser ein Projekt ins Leben gerufen, in dem mittels zahlreicher unterschiedlicher Messmethoden daran gearbeitet wird, datenbasierte Unterstützung für das Bewässerungsmanagement in der Region um Krems anbieten zu können.

Material und Methodik

Mittels unterschiedlicher Messmethoden wird der Wasserversorgungsstatus von Weinreben untersucht, dazu wurden zwei Messstandorte in der Nähe von Dürnstein, am Loibenberg ausgewählt (Abb. 1). Die WBS Krems führt dort bereits seit Jahrzehnten aufwendige Messungen des frühmorgendlichen Blattwasserpotenzials durch. Für die Untersuchungen wurden zwei kleinklimatisch unterschiedliche Standorte gewählt: die Messstation Loiben Tal befindet sich am Fuße des Loibenbergs und wird komplett bewässert, der zweite Standort Loibenberg befindet sich auf einer Terrasse am Weinberg, wobei auf einem etwa 20 Meter langen Abschnitt die Tropfbewässerung abgeklemmt wurde, sodass ein direkter Vergleich möglich ist. Die Standorte unterscheiden sich nicht nur aufgrund des Kleinklimas, sondern auch aufgrund der Gründigkeit ihrer Böden. Beide Standorte sind mit identen Wetterstationen ausgestattet, Lufttemperatur, Niederschlag, relative Feuchtigkeit, Globalstrahlung, Windrichtung und Windgeschwindigkeit werden kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet.

Jeweils drei Pflanzen in den drei Varianten (bewässert, unbewässert, Talsohle) wurden mit Dendrometer, Saftflusssensoren, IR-Radiometer und Matrixpotenzialsensoren in zwei Tiefenstufen (15 und 30 cm) ausgestattet. Es handelt sich bei allen Weinreben um die Sorte Grüner Veltliner.

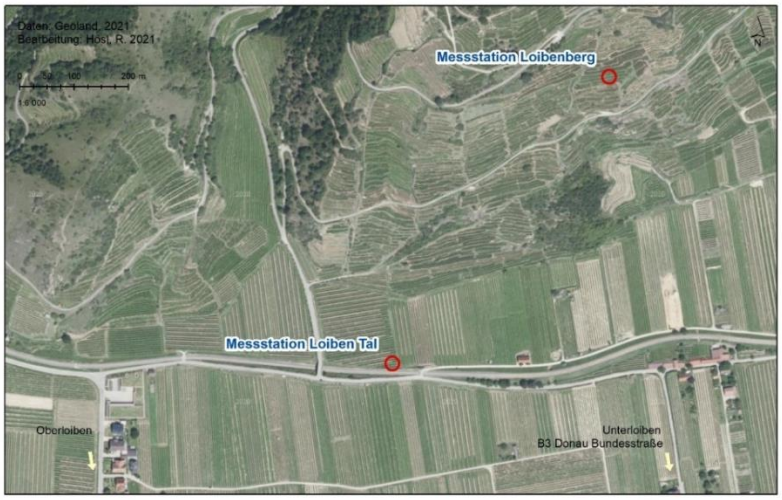


Abbildung 1: **Untersuchungsstandorte am Loibenberg, Nähe Dürnstein**

Zur Messung des Saftflusses der Weinpflanzen wurden Sensoren der Firma UGT (SFM-4) verwendet. Es handelt sich dabei um Sensoren, die eine Wärmeimpulsmessung durchführen. Die Berechnung des Wasserbedarf von Pflanzen über thermale Saftflussmessungen wird in der internationalen Literatur bereits seit Längerem als gängige und vielversprechende Methodik angesehen (RIENTH and SCHOLASCH 2019, ORTUÑO et al. 2006, NADEZHDINA 1999).
Zur Messung des Stammumfangs wurden Dendrometer verwendet (PDS40S, EMS Brno). Je nach Wasserverfügbarkeit kann damit ein Quell- und Schrumpfvorgang im Stamm der Pflanze aufgezeichnet werden. Dieser Vorgang ist umso ausgeprägter, je besser eine Pflanze mit Wasser versorgt ist. Üblicherweise beginnt der Schrumpfvorgang (Sogwirkung des Saftflusses) am Vormittag, erreicht mittags sein Maximum und sinkt gegen Abend hin wieder. Ein hinlänglich untersuchter Indikator dazu ist die Maximum Daily Shrinkage (MDS), (ORTUÑO et al. 2010, INTRIGLIOLO et al. 2007). Dieser Wert beschreibt den Unterschied zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum der Dendrometerwerte und kann Auskunft darüber geben, ob eine Pflanze gut mit Wasser versorgt ist, oder unter Trockenstress leidet.
Für die Ermittlung der Blattoberflächentemperatur wurden drei Infrarot (IR) Radiometer (Apogee Instruments, Typ SI 431 SS) installiert. Diese ermöglichen die kontaktlose Messung der Blattoberflächentemperatur an einer geschlossenen Blattwand. Ein wesentlicher Effekt des Wasserflusses durch die Pflanze ist die Kühlung des meist dunkelfarbigen Gewebes bei Sonneneinstrahlung. Steht zu wenig Wasser zur Verfügung, muss die Pflanze ihre Stomata schließen, der Wasserfluss wird verringert, die Kühlleistung nimmt ab, und die Oberfläche erwärmt sich. Dieses Phänomen wird verbreitet genutzt, um über Messungen der Oberflächentemperatur den Wasserversorgungsstatus von Kulturpflanzen abzuschätzen (ISEKI and OLALEYE 2020, PRUEGER et al. 2018). Vergleicht man die Temperaturen der IR-Kamera mit den Lufttemperaturen, kann so auf ein mögliches Wasserdefizit bei den Weinpflanzen geschlossen werden.

Ergebnisse und Diskussion

Die erste vollständig aufgenommene Vegetationsperiode fand von Juni bis Oktober 2022 statt. Im Folgenden werden ausgesuchte, erste Datenreihen präsentiert. Die Messwerte der ersten Vegetationsperiode zeigen eine gute Korrelation zwischen den klimatisch bedingten Datenreihen – Niederschlag, Matrixpotenzial (pF), Luft- und Bodentemperaturen (Abb. 2). Der äußerst trockene und warme Monat Juli spiegelt sich auch im Matrixpotenzial des Bodens wider. Ähnliche Ergebnisse wurden am zweiten Messstandort auf der Terrasse am Loibenberg erzielt (nicht dargestellt). Am Standort Loibenberg auf der Terrasse wurden drei Weinreben im bewässerten Bereich und drei Weinreben im unbewässerten Bereich untersucht.

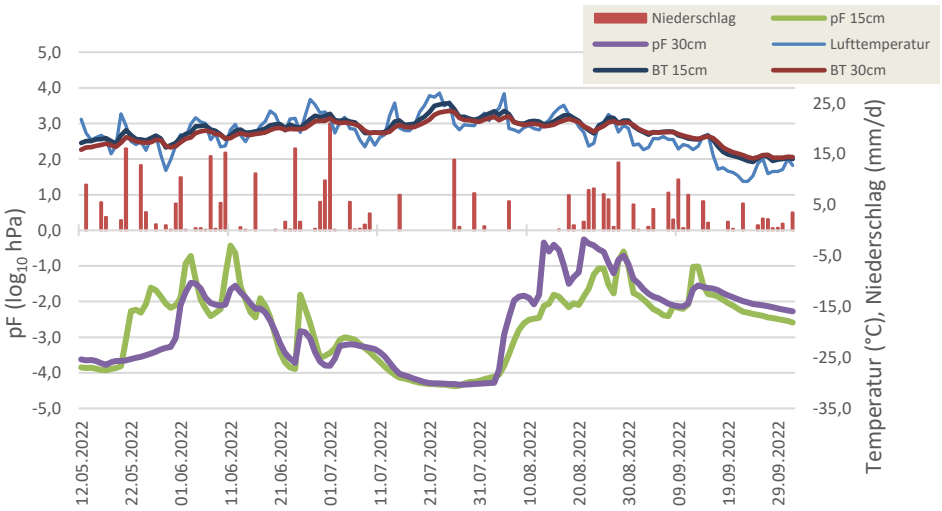


Abbildung 2: **Auszug der Messwerte am Standort Loiben Tal, 2022. Abkürzungen: pF = Matrixpotential in log$_{10}$(hPa), BT = Bodentemperatur.**

Im Juli 2022 herrschte sehr warmes, trockenes Wetter vor, zudem gab es ein technisches Gebrechen bei der Bewässerungsanlage, wodurch die natürlich bedingte Trockenheit in dieser Phase nicht künstlich abgemildert werden konnte. Abbildung 3 zeigt die Matrixpotenzialwerte in zwei Tiefenstufen (15 cm, 30 cm) für den bewässerten (bew., blaue Linien) und unbewässerten (unbew., grüne Linien) Bereich. Die rote Linie kennzeichnet den geschätzten Schwellenwert von -3 bar, unterhalb dessen Wasserstress eintritt.

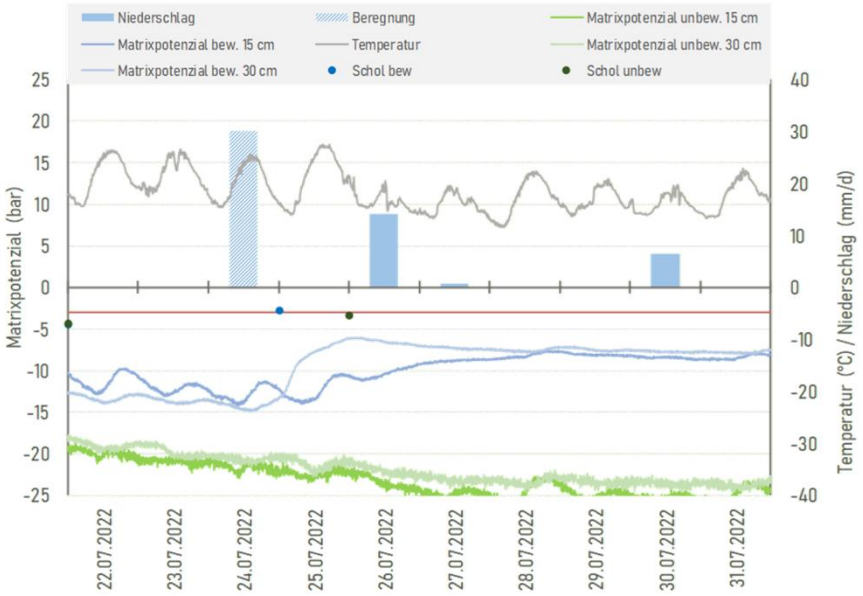


Abbildung 3: **Auszug Daten Loibenberg, Terrassenstandort, 2022. Schol = Messungen des frühmorgendlichen Blattwasserpotenzials mittel Scholanderbombe.**

Durch das fehlende Wasserangebot lagen alle Matrixpotenzialwerten weit unter dem Schwellenwert. Die Werte im bewässerten Bereich (blau) erholten sich nach Niederschlägen und künstlicher Bewässerung Ende Juli wieder etwas, lagen aber immer noch unter dem Schwellenwert, die Werte im unbewässerten Bereich (grün) sanken auf unter -20 bar, was dem Konzept des permanenten Welkepunktes folgend das Absterben der betroffenen Pflanzen bedeuten müsste. Nach einer visuellen Beurteilung der betroffenen Weinreben konnte festgestellt werden, dass die Weinreben im unbewässerten Bereich zwar keine gute Traubenqualität lieferten und auch in ihrem Wachstum deutlich gehindert waren, jedoch nicht abgestorben sind. Aus diesen Messungen und Beobachtungen könnte geschlossen werden, dass Weinreben wesentlich resistenter gegenüber Hitze- und Trockenstress reagieren als andere Pflanzen und sich das Wasser zum Lebenserhalt in Trockenzeiten auch auf seichtgründigen Trockenstandorten aus tieferen Bereichen des Untergrundes holen dürften.

Pflanzenphysiologie: Abbildung 4 zeigt den Mittelwert des Saftflusses aus den drei beprobten Weinreben an der Station Loiben Tal. Eine erste Auswertung zeigt, dass der Saftfluss in der heißen Phase im Juli deutlich sinkt, bei vermehrtem Niederschlag steigen die Saftflussraten wieder an. Dieser Effekt tritt auch in kürzerer zeitlicher Folge nach Bewässerungsvorgängen und Regenfällen auf, außerdem wurden deutliche Unterschiede in der Reaktion von bewässerten und unbewässerten Weinreben sichtbar (nicht dargestellt).

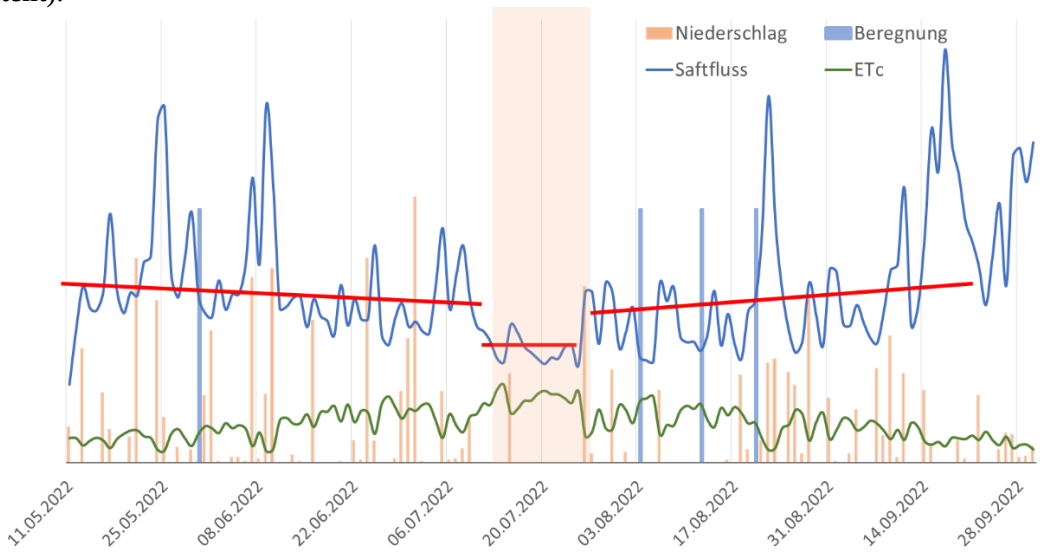


Abbildung 4: **Saftflussmessungen am Standort Loiben Tal, relativ zur potenziellen Verdunstung ETc.**

Die Messreihen der Dendrometer (nicht dargestellt) zeigen den Tagesgang, sowie eine erkennbare Reaktion auf große Niederschlagsmengen. Für die genauere Interpretation hinsichtlich einer automatisierten Bewässerungssteuerung lassen sich allerdings für diese Periode keine signifikanten Rückschlüsse ziehen. Die Blattoberflächentemperaturen wurden in einem ersten Auswertungsschritt mit den Lufttemperaturen verglichen. Es ergeben sich zwar Unterschiede in den Temperaturverläufen, aber keine signifikanten Unterscheidungen in gut und schlecht wasserversorgte Phasen (nicht dargestellt). Weitere Messreihen sind nötig, um fundierte Aussagen über eine Korrelation zwischen Blattoberflächentemperatur und einem möglichen Wasserdefizit der Weinreben treffen zu können.
Das erste Messjahr brachte eine Vielzahl an Ergebnissen aus den unterschiedlichen Messsystemen. Einige Sensoren, wie die Saftflussmessungen zeigen vielversprechende Werte, ebenso wie die Matrixpotenzialsensoren. Beide Messsysteme geben gut und schlecht mit Wasser versorgte Phasen während der Vegetationsperiode 2022 wieder. In einem nächsten Schritt sollen die vorliegenden Datenreihen in Modellrechnungen eingebaut werden, um so Aussagen über Hitze- und Trockenstress von Weinpflanzen treffen zu können.

Zusammenfassung

In der Weinbauregion um die Wachau wird derzeit kein automatisiertes Bewässerungsmanagement betrieben, wöchentliche Messungen des frühmorgendlichen Blattwasserpotenzials werden während der Hauptvegetationsperiode (Juni-August), in Kombination mit herkömmlichen Wetterprognosen, für den Einsatz von künstlicher Zusatzbewässerung herangezogen.
In einem Feldversuch am Loibenberg wurden neun Weinreben der Sorte Grüner Veltliner, an zwei Standorten (Hangfuß und Terrasse) mit identen Messsystemen ausgestattet. Installiert wurden Saftflusssensoren, Dendrometer, Matrixpotenzialsensoren und Infrarot-Radiometer. Weiters befindet sich an beiden Standorten je eine Wetterstation. Ziel dieser Studie ist es, mittels dieser zahlreichen Messsysteme eine wissenschaftlich fundierte und praxisorientierte Hilfestellung für das Bewässerungsmanagement am Loibenberg und in der Region Krems zu entwickeln. Im ersten Messjahr (2022) konnten zwar nachvollziehbare Daten generiert werden, es zeigte sich aber auch, dass für ein umfangreiches Verständnis des komplexen Landschaftswasserhaushaltes in Weinbergen weitere Messreihen zwingend nötig sind. Weitere Datenreihen werden auch benötigt, um sie in Modellrechnungen einbeziehen zu können und so dem Ziel einer automatisierten Bewässerungssteuerung näher zu kommen. Eine wesentliche Aussage aus dieser ersten Messperiode ist, dass Weinreben offenbar wesentlich resistenter auf Hitze- und Trockenstress reagieren, als mittels gängiger Messmethoden angenommen werden könnte.

Abstract

Changes in weather conditions including increasing temperatures and shifts in precipitation distribution over the vegetation period force vine growers to implement irrigation systems in their farming and vine production in Lower Austria. In the past, weekly measurements of predawn leaf water potential together with weather forecasts were used for irrigation management during the main vegetation period (June-August) in the Wachau region.
In 2022, substantial field measurements on two different sites were installed in the vineyards of Loibenberg (Wachau region, Krems). Nine grapevines (Vitis vinifera, Grüner Veltliner) were equipped with various sensor systems: sap flow, dendrometer, soil probes for matrix potential and infrared radiometers. Furthermore, both sites are equipped with weather stations. The main aim of this study is to provide practical data-based support for automated irrigation management in vineyards in the region of Krems. Numerous comprehensive data were generated in the first year of measurement, although more periods of continuous measurements are needed for further analyses and understanding of the complex landscape soil-water regime. Additionally, obtained data will be used for modelling the actual water demand of grapevines to receive practicable automated irrigation management systems. The first measurements show remarkable conclusions regarding the drought and heat stress vulnerability of grapevines, which is evidently more distinctive than primarily supposed.

Literatur

CIFRE J, BOTA J, ESCALONA JM, MEDRANO H, FLEXAS J (2005): Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (Vitis vinifera L.) An open gate to improve water-use efficiency? Agriculture, Ecosystems and Environment 106, 159-170.
INTRIGLIOLO DS, CASTEL JR (2007): Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. Irrigation Science 26, 49-59.
ISEKI K, OLALEYE O (2020): A new indicator of leaf stomatal conductance based on thermal imaging for field grown cowpea. Plant Production Science 23/1, 136-147.
KÜHRER E, GABLER C (2018): Der Trockenstress 2017 in Niederösterreich. Erfahrungen und Lehren. Der Winzer 05/2018, 14-16.
NADEZHDINA N (1999): Sap flow index as an indicator of plant water status. Tree Physiology 19, 885-891.
ORTUÑO MF, GARCIA-ORELLANA Y, CONEJERO W, RUIZ-SANCHEZ MC, ALARCON JJ,·TORRECILLAS A (2006): Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. Trees 20, 1-8.
ORTUÑO MF, CONEJERO W, MORENO F, MORIANA A, INTRIGLIOLO DS, BIEL C, MELLISHO CD, PEREZ-PASTOR A, DOMINGO R, RUIZ-SANCHEZ MC, CASADESUS J, BONANY J, TORRECILLAS A (2010): Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. Agricultural Water Management 97, 1-11.
PRUEGER JH, PARRY CK, KUSTAS WP, ALFIERI JG, ALSINA MM, NIETO H, WILSON TG, HIPPS LE, ANDERSON MC, HATFIELD JL, GAO F, MCKEE LG, MCELRONE A, AGAM N, LOS SA (2018): Crop Water Stress Index of an irrigated vineyard in the Central Valley of California. Irrigation Science. doi:10.1007/s00271-018-0598-4
RIENTH M, SCHOLASCH T (2019): State-of-the-art of tools and methods to assess vine water status. OENO One 4, 619-637.

Adressen der Autoren

[1] Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen
[2] Land schafft Wasser, Pollnbergstraße 1, 3252 Petzenkirchen
[3] Landesregierung Niederösterreich, Landhausplatz 1, 3100 St. Pölten

[*] Ansprechpartner: Dr. Thomas Weninger, thomas.weninger@baw.at

Kupferfungizideinsatz bedingte Verschiebungen in der bodenmikrobiellen Gesellschaft und im Stickstoffkreislauf

Copper fungicide-induced shifts in the soil microbial community and the nitrogen cycle

Martin Schneider[1*], Katharina M. Keiblinger[1], Markus Gorfer[2], Harald Berger[2], Evi Deltedesco[1], Lisa Jöchlinger[1], Melanie Paumann[1], Gerhard Soja[3,4], Axel Mentler[1], Sophie Zechmeister-Boltenstern[1], Walter Wenzel[1], Franz Zehetner[1]

Einleitung

Die Einträge von Cu durch Pflanzenschutzmittel von derzeit 4 kg Cu ha^{-1} (EC 2008, EC 2018) sind, verglichen mit Einträgen durch Klärschlamm und Stallmist, gering und sollten Boden Cu-Gehalte nicht sonderlich erhöhen. Doch anhaltende Einträge in bereits historisch kontaminierte Flächen stellen ein ernstzunehmendes Risiko dar. Besonders im ökologischen Landbau haben Cu-basierte Funigzide eine Schlüsselfunktion im Pflanzenschutz und Resistenzmanagement. Zudem besteht die Notwendigkeit der Nährstoffrückführung durch mikrobielle Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz, welche Cu bindet, sowie der effizienten N-Fixierung, welche bekanntermaßen empfindlich auf Cu reagiert (DAHLIN et al. 1997, SCHNEIDER 2019). Auf Grund der Redox-Aktivität induzieren Cu-Überschüsse die intrazellulare Bildung freier Radikale und Oxidation von Proteinen, Lipiden und DNA (HALLIWELL und GUTTERIDGE 1984, DÌAZ et al. 2001). Im N-Kreislauf spielt Cu bedeutende Rollen. Als Kernelement in der cytochrom-cbb_3-oxidase katalysiert es die Nitrogenase, die dissimilative Reduktion von NO_2^- zu NH_3 (DNRA) und die Reduktion von N_2O zu N_2 (MIJIC 2022, SELZER 2016, KIM 2010). Es ist desweiteren Teil der NH_3-monooxdidase (AMO), beteiligt an der Oxidation von Hydroxylamin (ANDERSON 1964), der Reduktion von NO_2^- (*nirK*), NO (*norB*) and N_2O (*nosZ*) (LONG et al. 2015, STEIN und KLOTZ 2016, BLACK et al. 2016, KIM et al. 2010). So vielfältig die Funktionen von Cu, so auch die berichteten Auswirkungen der Anwendung verschiedenster Cu-Formulierungen. Die Auswirkung von $Cu(OH)_2$ galt es zu untersuchen und Cu-sensible mirkrobielle Parameter zu identifizieren.

Material und Methoden

Böden, Versuchsdesign: Ein passiv bewässerter ökotoxikologischer Glashaus Topfversuch wurde mit frischen, ungetrockneten Oberböden (≤1 cm) aus Laasberg (L, pH 4.95 in 1:12.5, Boden/10mM $CaCl_2$) und Deutsch Jahrndorf (D, pH 7.45) durchgeführt. Böden wurden in 4.8 L Töpfen (Ø 21 cm; ρ = 1.2 g cm^{-3}) mit 200 % maximaler Wasserhaltekapazität gespült und nach zwei Wochen mit Funguran progress (35 % Cu) auf 50, 100, 200, 500, 1500, 5000 mg Cu kg^{-1} versetzt. Zwei Wochen nach Aufbringung wurde Rhizobien beimpfte Luzerne (*Medicago sativa*) gesäht und nach weitern 14 und 92 Tagen wurden die Böden beprobt.
Analysen: An luftgetrockneten Böden (≤2 mm) wurden pH und verschiedene, andersweitig publizierte (SCHNEIDER et al. 2019) Cu Extraktionen durchgeführt, i.e. 10 mM $CaCl_2$, 50 mM ETDA (1:10) und DGT (Diffusionsgradienten in Dünnschichten). An frischen Proben wurden mikrobielle Enzymaktivitäten, mikrobieller und mineralischer N, DNA Extraktion mit 16S-Sequenzierung und quantitativer Polymerase Kettenreaktion (qPCR) für bakterielle und pilzliche DNA, sowie funktionelle Gene (*nir*S, *nir*K, *amo*A von Bakterien und Archaeen) gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Mit zunehmender Anwendung von Cu stiegen leicht lösliche, komplexierbare und diffusiv nachlieferbare Fraktionen von Cu und veranschaulichten eine im Mittel um 5-fach höhere Mobilität im sauren Sandboden (L) als im alkalischen Lehmboden (D). Der pH stieg ebenfalls von 4.8 auf 5.9 in L und von 7.5 auf 7.6 in D. Aktivitäten der Exochitinase, Protease und Phosphatase waren hinsichtlich ihrer relativen Änderung entlang zunehmender Cu-Konzentrationen ähnlich. V.a. in der zweiten Beprobung stiegen alle Aktivitäten in D um etwa 500 mg Cu kg^{-1} an, wobei in L zumindest bei 5000 mg Cu kg^{-1} Aktivitäten niedriger als Kontrolle zu finden waren. Im Vergleich zur ersten Probenahme sind die Enzymaktivitäten mit der Zeit gestiegen, was über saisonal bedingte Temperaturanstiege zu erklären war.

Nur die Phosphatase war bei der ersten Beprobung in beiden Böden sensibler, mit verminderten Aktivitäten bei 500 mg Cu kg^{-1}. Im Gegensatz stieg die Urease in beiden Böden und bei beiden Zeitpunkten stark an. Besonders in der ersten Beprobung zeigten sich ebenso steigende NH_4^+-, aber stark fallende NO_3^--Konzentrationen. Zusammenfassend ergab sich hieraus in allen Cu Anwendungen, außer der höchsten, eine Reduktion des mineralischen N um im Mittel 57 % in L und 15 % in D, verglichen zur Kontrolle. Bei 50 mg Cu kg^{-1} waren die Reduktionen bereits 52 % in L und 23 % in D, wobei im Mittel die Reduktionen im sauren Boden L um 4.5-fach stärker waren als im alkalisch Boden D. Bei der zweiten Beprobung nivellierten sich, vermutlich durch pH-bedingtes chemisches Gleichgewicht, die Konzentrationen von NH_4^+ im sauren Boden und von NO_3^- im alkalischen Boden (LINDSAY 1979). Doch die genannten Veränderungen blieben tendenziell bestehen. Da der mikrobielle N ebenfalls sank, besonders in Boden D, bleibt zu klären, was mit dem mineralischen N geschah.

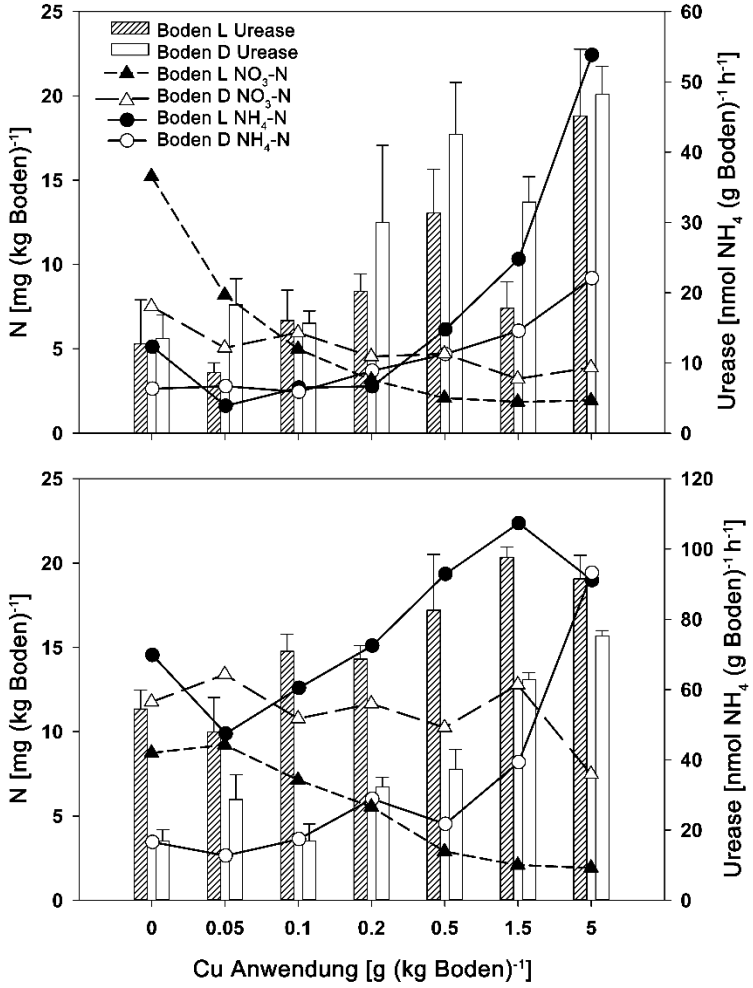


Abbildung 1: **Konzentration von Ammonium (NH_4^+) und Nitrate (NO_3^-) vor Urease Aktivitäten von zwei Böden (L: pH 4.95; D: pH 7.45) bei der ersten (oben) und zweiten (unten) Beprobung, 28 und 106 Tage nach Cu Anwendung. Fehlerbalken zeigen Standardfehler (n = 5). Zur Übersichtlichkeit werden keine Fehlerbalken für NH_4^+ und NO_3^- gezeigt**

Anhand dieser Ergebnisse könnte man eine Störung der AMO vermuten, doch die Expression von *amo* war in allen Cu-Behandlungen höher als in der Kontrolle. Besonders bakterielle *amo* stieg im sauren Boden stark an, wobei die gesamte bakterielle DNA durch Cu signifikant bei bei 200 mg Cu kg^{-1} abnahm. Pilzliche DNA stieg im Gegensatz bis 500 mg Cu kg^{-1} an und untermauerte eine höhere bakterielle Sensibilität gegenüber Cu (KEIBLINGER et al. 2018). Ebenso verdeutlichte dies eine, durch gestiegendes Substrataufkommen aus toten Zellen induzierte, Verschiebung der mikrobiellen Gemeinschaft hin zu Cu-toleranten Saprophagen. Bei 500 mg Cu kg^{-1} im sauren Boden L und bei 1500 mg Cu kg^{-1} im alkalischen Boden D veränderte sich ein Großteil der mikrobiellen Gemeinschaft. In den Kontrollböden dominierten die Gattung *Pseudomonas* zu etwa 2/3 die mikrobielle Gemeinschaft.

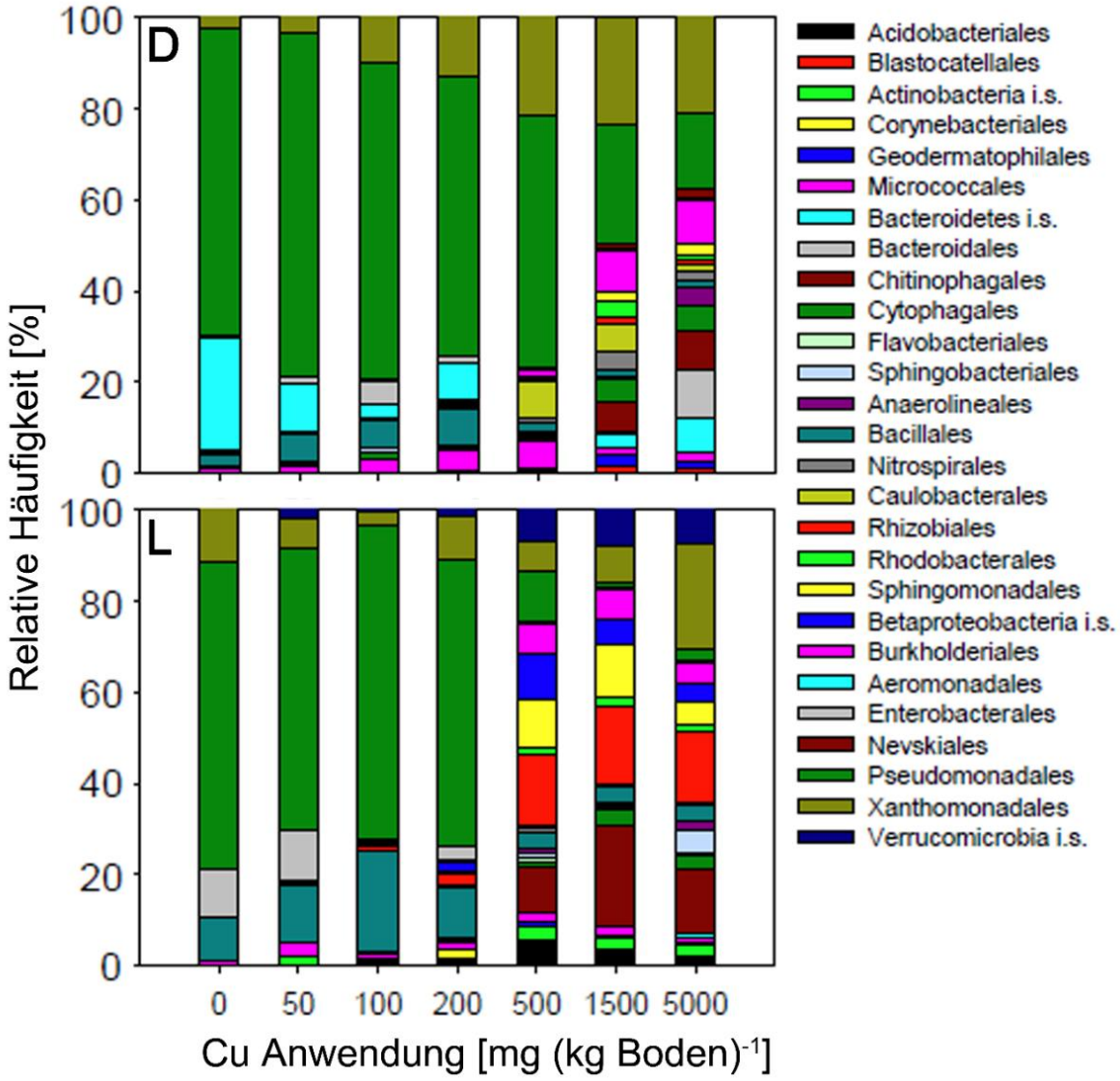


Abbildung 2: **Mikrobielle Gemeinschaft auf Ebene der Ordnung von zwei Böden (oben - L: pH 4.95; unten - D: pH 7.45) bei der zweiten Beprobung, 106 Tage nach Cu Anwendung. Balken zeigen Mittelwerte der relativen Häufigkeiten**

Diese Denitrifizierer zeigten mengenmäßig den stärksten Rückgang innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaft und Stenotrophomonas (Xanthomonadales) waren die sensibelsten Bakterien mit Reduktionen um 96 % in L und 84 % in D. Beide Bakterien wurden mit Sphingopyxis innerhalb von Wurzelknöllchen gefunden (ARONE et al. 2014). Gleichzeitig stiegen Sphingopyxis (Sphingomonadales), und die saprophagen Olivibacter (Sphingobacteriales), Algoriphagus (Cytophagales), Arenimonas (X.) und Polaromonas (Burkholderia) an. Wobei nur Pseudoxanthomonas bis zu 500 mg Cu kg^{-1} in beiden Böden anstiegen und in beiden die höchste relative Häufigkeit zeigten. Letztere sind nur zur DNRA befähigt (NELSON et al. 2016), wofür NO_2^- vorhanden sein müsste. Die Expression des Eisen-beinhaltenden NO_2^--reduktase kodierenden Genes nirS sank kontinuierlich mit steigender Cu Applikation. Wohingegen nirK, welches die Cu beinhaltenden NO_2^--reduktase kodiert bis 200 mg Cu kg^{-1} anstieg, besonders im alkalischen Boden D. Da diese NO_2^--induziert auftritt, lässt sich zusammen mit dem vermehrten Auftreten von Pseudoxanthomonas eine Verlagerung innerhalb des N-Kreislaufes mit zunehmender Cu-Konzentration hin zur DNRA schlussfolgern. Ob die Verluste an mineralischen N über Ausgasungen von NH_3, NO, N_2O oder N_2 zu erklären seien, lässt sich aus dieser Studie nicht schließen.

Zusammenfassung

Kupfer wird an organischer Bodensubstanz gebunden, welche räumlich die mikrobiellen Nährstoffkreisläufe beherbergt. Über Cu-Fungizid induzierte Nichtzieleffekte auf den Stickstoffkreislauf wird kontrovers berichtet. Daher zielte die vorliegende Studie darauf ab, $Cu(OH)_2$-empfindliche mikrobielle Parameter im Zusammenhang mit dem Stickstoffkreislauf zu identifizieren. Ein ökotoxikologisches Glashaus-Topfexperiment mit Luzerne wurde unter Verwendung zweier unterschiedlicher landwirtschaftlicher Böden durchgeführt - einem sauren Sandboden (L) und einem alkalischen Lehmboden (D). Die Böden wurden mit einem häufig verwendeten Fungizid bis zu 5000 mg Cu kg^{-1} angereichert und nach 28 und 106 Tagen beprobt. Vergleichbare Reaktionen der enzymatischen Aktivitäten wurden bei der zweiten Probenahme beobachtet. Während bei der höchsten Cu-Behandlung in Boden L ein Rückgang zu verzeichnen war, fand man einen Anstieg in Boden D bei etwa 500 mg Cu kg^{-1}. Die Urease stieg mit zunehmenden Cu deutlich an und führte zu steigenden Ammoniumkonzentrationen, wohingegen Nitratkonzentrationen sanken. Der mineralische Stickstoffvorrat war während der ersten Probenahme stark reduziert, außer in der höchsten Cu-Anwendung. Die Verluste im sauren Boden L waren hierbei 2- bis 8-fach höher als im alkalischen Boden D. Da der mikrobielle Stickstoff ebenso abnahm, müssen diese Verluste andersweitig stattgefunden haben. Die mikrobielle Gemeinschaft verschob sich hin zu hautsächlich saprotrophen Organismen bei 500 mg Cu kg^{-1} in L und bei 1500 mg Cu kg^{-1} in D. Verglichen zur Kontrolle sank die relative Häufigkeit der denitrifizierenden *Pseudomonas* stark von 67 auf 11 % in L und von 64 to 26 % in D. *Stenotrophomas* stellten mit Dezimierungen von 96 % in L und 85 % in D die sensibelste Gattung dar. Bei der höchsten angewendeten Cu-Dosis stiegen lediglich *Pseudoxanthomonas* in beiden Böden an und dominierten die bakterielle Gemeinschaft. Diese reduzieren obilgat dissimilativ Nitrit zu Ammoniak. Die Genexprimierung von *nir*S sank kontinuierlich mit Cu, während das Nitrit-induzierte *nir*K den Höhepunkt bei 200 mg Cu kg^{-1} hatte. Daraus ließ sich eine Verlagerung innerhalb des Stickstoffkreislaufes hin zu dissimilatorischer Nitritreduktion zu Ammoniak schließen.

Abstract

Copper is bound by soil organic matter, that spatially harbours microbial nutrient cycling, while Cu-based fungicide induced non-target effects on nitrogen cycling are reported controversially. Therefore, the present study aimed at identifying $Cu(OH)_2$-sensitive nitrogen cycling-related microbial parameters. An eco-toxicological greenhouse pot experiment with **Medicago sativa** was conducted using two contrasting agricultural soils, an acidic sandy soil L and a calcareous loamy soil D. The soils were amended with a commonly used fungicide up to 5000 mg Cu kg^{-1} and s**ampled after 28 and 106 days.** Comparable responses of enzymatic activities were observed for the second sampling with depressions in the highest treatment of soil L, but increases at around 500 mg Cu kg^{-1} in soil D. Urease remarkably increased with Cu, causing elevated ammonium concentrations, while nitrate declined. The mineral N-pool was strongly reduced throughout the first sampling, except in the highest Cu application, while the reductions in the acidic sandy soil were 2- to 8-times stronger compared to the alkaline soil. As the microbial nitrogen declined, there must have been another pathway justifying this N-loss. A community shift towards mainly saprotrophs occurred at 500 and 1500 mg Cu kg^{-1} in soil L and soil D, respectively. Related to the control, abundances of the denitrifying *Pseudomonas* strongly declined from 67 to 11 % in soil L and from 64 to 26 % in soil D. While *Stenotrophomas* was the most sensitive genus with decreases of 96 and 85 % in soil L and soil D, respectively. At the highest applied Cu dose, only *Pseudoxanthomonas*, i.e. solely capable of dissimilatory nitrite reduction to ammonia (DNRA), increased and were highly dominant in both soils. Expression of *nirS* declined with Cu continuously, while the NO_2^--induced *nir*K peaked at 200 mg Cu kg^{-1}, concluding a Cu toxicity-related shift in nitrogen cycling towards DNRA.

Literatur

ANDERSON J H (1964): The copper-catalysed oxidation of hydroxylamine. Analyst 89, 357-362.

ARONE G, CALDERÓN C, MORENO S, BEDMAR E J (2014): Identification of Ensifer strains isolated from root nodules of Medicago hispida grown in association with Zea mays in the Quechua region of the Peruvian Andes. Biology and Fertility of Soils 50, 185-190.

BLACK A. HSU P C L, HAMONTS K E, CLOUGHT T J, CONDRON L M (2016): Influence of copper on expression of nirS, norB and nosZ and the transcription and activity of NIR, NOR and N2OR in the

denitrifying soil bacteria Pseudomonas stutzeri. Microbial Biotechnology 9, 381-388.
DAHLIN S, WITTER E, MÅRTENSSON A, TURNER A, BÅTH E (1997): Where's the limit? Changes in the microbiological properties of agricultural soils at low levels of metal contamination. Soil Biology and Biochemistry 29, 1405-1415.
DÍAZ J, BERNAL A, POMAR F, MERINO F (2001): Induction of shikimate dehydrogenase and peroxidase in pepper (Capsicum annuum L.) seedlings in response to copper stress and its relation to lignification. Plant Science 161, 179-188.
EC (2008): Commission regulation (EC) in: Commission, E. (Ed.), No 889/2008. European Commission, Official Journal of the European Union, pp. 1-84.
EC (2018): Renewing the approval of the active substances copper compounds, as candidates for substitution, in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market, and amending the Annex to Commission Implementing Regulation (EU) No 540/2011, in: Commision, E. (Ed.), Official Journal of the European Union, pp. 1-5.
HALLIWELL B, GUTTERIDGE J (1984): Oxygen toxicity, oxygen radicals, transition metals and disease. Biochemical journal 219, 1.
KIM S-W, MIYAHARA M, FUSHINOBU S, WAKAGI T, SHOUN H (2010): Nitrous oxide emission from nitrifying activated sludge dependent on denitrification by ammonia-oxidizing bacteria. Bioresource Technology 101, 3958-3963.
LINDSAY W L (1979): Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons Ltd., Chichester, Sussex.
LONG A, SONG B, FRIDEY K, SILVA A (2015): Detection and diversity of copper containing nitrite reductase genes (nirK) in prokaryotic and fungal communities of agricultural soils. FEMS Microbiol Ecol 91, 1-9.
KEIBLINGER K M, SCHNEIDER M, GORFER M, PAUMANN M, DELTEDESCO E, BERGER H, JÖCHLINGER L, MENTLER A, ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S, SOJA G, ZEHETNER F (2018): Assessment of Cu applications in two contrasting soils-effects on soil microbial activity and the fungal community structure. Ecotoxicology 27, 217-233.
MIJIC V (2022): Produktion und Verbrauch von Lachgas (N2O) in Nitrat-ammonifizierenden Mikroorganismen. TU Darmstadt, p. 149.
NELSON M B, MARTINY A C, MARTINY J B H (2016): Global biogeography of microbial nitrogen-cycling traits in soil. Proceedings of the National Academy of Sciences 113, 8033-8040.
SCHNEIDER M, KEIBLINGER K M, PAUMANN M, SOJA G, MENTLER A, GOLESTANI-FARD, A, RETZMANN A, PROHASKA T, ZECHMEISTER-BOLTENSTERN S, WENZEL W, ZEHETNER F (2019): Fungicide application increased copper-bioavailability and impaired nitrogen fixation through reduced root nodule formation on alfalfa. Ecotoxicology.
SELZER M (2016): Nitratreduktion, Denitrifikation und Dissimilatorische Nitritreduktion zu Ammonium in Grünland- und Waldböden: Populationen und Einflussfaktoren. Universität Bayreuth, p. 281.
STEIN L Y, KLOTZ M G (2016): The nitrogen cycle. Current Biology 26, R94-R98.

Adressen der Autoren

[1] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[2] Austrian Institute of Technology, Center for Health and Bioresources, Business Unit Bioresources, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln an der Donau

[3] Austrian Institute of Technology, Center for Energy, Business Unit Environmental Resources & Technologies, Konrad Lorenz-Straße 24, A-3430 Tulln an der Donau

[4] Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

[*] Ansprechpartner: DI Martin SCHNEIDER, martin.schneider@boku.ac.at

Reduzierungspotenzial der Chasmothezienbildung des Echten Rebenmehltaus durch anorganische Fungizide

Efficiency of inorganic fungicides toward the chasmothecia formation of Erysiphe necator in vineyards

Stefan Möth*, Markus Redl, Silvia Winter, Florian Hüttner, Siegrid Steinkellner

Einleitung

Erysiphe necator Schwein., der Echte Rebenmehltau, zählt weltweit zu den wichtigsten Krankheiten der Weinrebe und kann zu Ertragsverlusten von bis zu 100% führen (GADOURY et al. 2015). Die im Spätsommer/Herbst an den Rebblättern gebildeten Fruchtkörper des Erregers, die sogenannten Chasmothezien mit ihren Ascosporen stellen die wichtigste Überwinterungsform und auch Primärinokulumquelle in Österreich dar (REDL et al. 2021a). Folglich ist eine Reduzierung der Primärinokulumquelle ein entscheidender Faktor bei der Bekämpfung von *E. necator* (MOYER et al. 2014). Ziel dieser Studie war es, das Potenzial zur Reduzierung der Chasmothezienbildung durch anorganische Fungizide in einem experimentellen Anwendungsversuch sowie in kommerziell genutzten Weinbergen nachzuweisen.

Material und Methoden

Experimenteller Applikationsversuch: Dieser Versuch erfolgte 2018 und 2019 in einem Weingarten in Krems (Österreich). Bis zu dem BBCH-Stadium 79 (LORENZ et al. 1994) wurden die Weinreben regelmäßig mit Fungiziden behandelt. Ab BBCH 81 startete der Versuch mit jeweils 10 Weinreben mit drei Wiederholungen der Sorte Müller-Thurgau sowie vier Wiederholungen der Sorte Grüner Veltliner. Untersucht wurden 7 verschiedene Behandlungen: (i) unbehandelte Kontrolle; (ii) eingenetzte Weinreben; (iii) eine Applikation mit Kupfer; (iv) eine Applikation mit Pyriofenone; (v) eine Applikation mit Quinoxyfen + Myclobutanil; (vi) eine Applikation mit Kaliumhydrogencarbonat; und (vii) zwei Applikationen mit Kaliumhydrogencarbonat (bei BBCH 81 und einen Tag vor der Ernte).
Applikationsabfolge in kommerziellen Weingärten: Dieser Untersuchungen erfolgten 2019 und 2020 in 32 Weingärten in der Weinbauregion Leithaberg im Burgenland (siehe MÖTH et al. 2021). Die Weingärten wurden von den jeweiligen Winzer*innen regelmäßig nach deren eigenem Ermessen mit Fungiziden behandelt. Mit der Information über diese Fungizidapplikationen wurden ab BBCH 79 die Applikationshäufigkeiten von Schwefel, Kupfer, Kaliumhydrogencarbonat und synthetischen Fungiziden erfasst.
Auszählung der gebildeten Chasmothezien: Die Auszählung der Chasmothezienanzahl auf den Weinblättern erfolgte für den experimentellen Applikationsversuch und für die Applikationsabfolge in den kommerziellen Weingärten. Dafür wurden dementsprechend pro Behandlung beziehungsweise Weingarten 12 Weinblätter im Herbst gesammelt. Die Anzahl an Chasmothezien wurde auf jedem Rebblatt (Ober- und Unterseite) gezählt, jeweils in drei Kreisen (Durchmesser von 1,8 cm). Die Anzahl an Chasmothezien wurde anschließend auf 100 cm² Blattfläche berechnet.
Statistische Auswertung: Mit R (R CORE TEAM 2021) wurde mit dem Wilcoxon-Rangsummentest der Einfluss der verschiedenen Fungizidapplikationen auf die Chasmothezienanzahl ausgewertet. Jeweils für den experimentellen Applikationsversuch sowie der Applikationsabfolge in den kommerziellen Weingärten.

Ergebnisse und Diskussion

Die Anzahl an Chasmothezien auf den Weinblättern variierte teils stark zwischen den einzelnen Versuchsjahren. Die Ergebnisse in den kommerziellen Weingärten zeigten eine signifikante Reduktion der Chasmothezienanzahl durch unterschiedliche Applikationshäufigkeiten von Kupfer und Kaliumhydrogencarbonat. Vier Kupferapplikationen reduzierten die Anzahl an Chasmothezien signifikant im Vergleich zu zwei Applikationen in 2019. Fünf Kaliumhydrogencarbonat-Applikationen führten zu dem gleichen Reduktionseffekt im Vergleich zu keiner Applikation mit Kaliumhydrogencarbonat in den kommerziellen Weingärten im Jahr 2020. Die Ergebnisse des experimentellen Applikationsversuches zeigten 2018 eine signifikante Reduktion der Chasmothezienanzahl nach einer Applikation mit Kupfer

bzw. einer Applikation mit Kaliumhydrogencarbonat im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. 2019 führten ebenfalls zwei Applikationen mit Kaliumhydrogencarbonat zu demselben Ergebnis (siehe auch MÖTH et al. 2023). Diese effektive Reduktion der Chasmothezien und somit der Primärinokulumquelle vermindert in der folgenden Saison den Krankheitsdruck durch *E. necator* (MOYER et al. 2014). Beide anorganischen Wirkstoffe führten zu einem vergleichbaren Effekt, auf einem Niveau ähnlich der synthetischen Wirkstoffe (HOFFMANN et al. 2012). Eine kürzlich erschienene Studie zeigte diesbezüglich auch, dass Kupfer und Kaliumhydrogencarbonat die Viabilität von Ascosporen in den Chasmothezien reduzieren (REDL et al. 2021b). Kupfer ist jedoch nicht zur Bekämpfung des Echten Rebenmehltaus in Österreich zugelassen (BAES 2023). Zudem muss bei Kupferapplikation auf die zugelassenen maximalen Ausbringungsmengen geachtet werden (LA TORRE et al. 2018). Zusammenfassend zeigt diese Studie, dass eine Applikation von anorganischen Fungiziden spät in der Saison wichtig für eine erfolgreichen Bekämpfung von *E. necator* sein kann.

Zusammenfassung

Die Reduzierung der Primärinokulumquelle des Echten Rebenmehltaus (*Erysiphe necator*), d.h. der in den Chasmothezien befindlichen Ascosporen, ist ein wichtiger Faktor für ein erfolgreiches Pflanzenschutzmanagement. Eine Applikation von Fungiziden zum Ende der Saison (vor der Ernte) könnte dazu beitragen. Ziel dieser Studie war es, das Reduzierungspotenzial der Chasmothezienbildung durch anorganische Fungizide (Schwefel, Kupfer und Kaliumhydrogencarbonat) zu erheben. In einem experimentellen Applikationsversuch und durch die Analyse der Applikationsabfolge in kommerziellen Weingärten wurde untersucht, wie sich die Behandlungen mit den anorganischen Fungiziden auf die Anzahl an gebildeten Chasmothezien auf den Rebblättern auswirken. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem Applikationen mit Kupfer oder auch Kaliumhydrogencarbonat die Chasmothezienanzahl in den Weingärten signifikant reduzieren. Folglich können die Applikationen mit anorganischen Fungiziden die Primärinokulumquelle reduzieren und damit zu einem verringerten Krankheitsdruck im Folgejahr beitragen. Fungizidapplikationen in der Saison sollten angepasst und so spät wie möglich erfolgen, um eine optimale Bekämpfung des Echten Rebenmehltaus in Weingärten zu gewährleisten.

Abstract

Reducing the main inoculum source of powdery mildew on vines (*Erysiphe necator*), the ascospores within chasmothecia, is an important factor for the control of this disease. This could be accomplished by fungicide applications at the end of the season (just before harvest). In this study we investigated the reduction potential of chasmothecia formation through inorganic fungicides (sulphur, copper and, potassium bicarbonate). An experimental application trial and application sequences in commercial vineyards were analysed for their potential to reduce the number of chasmothecia on grape leaves. The results showed that applications with copper or potassium bicarbonate led to a significant reduction in the number of chasmothecia in vineyards. Consequently, these applications of inorganic fungicides are useful to reduce the main inoculum source, which in turn could reduce the disease severity in the following year. We recommend that fungicide applications should be carried out as late as possible in the season, to accomplish the best possible control of powdery mildew in vineyards.

Danksagung

Unser Dank ergeht an alle Winzer*innen die uns ihre Weingärten zur Verfügung stellten sowie an alle Teammitglieder für deren Unterstützung während dieser Studie.
Diese Studie wurde finanziert durch das Forschungsprojekt SECBIVIT, finanziert durch die gemeinsame Ausschreibung des 2017-2018 Belmont Forums und BiodivERsA 2017-2018, unter dem BiodivScen ERA-Net COFUND Programm mit den Förderungsorganisationen: Agencia Estatal de Investigación, Spanien; FWF, Österreich (I-4025-B32); BMBF, Deutschland; VDI/VDE-IT, Deutschland; ANR, Frankreich; NWO, Niederlande; National Science Foundation (#1850943); UEFISCDI, Rumänien.

Literatur

BAES (Bundesamt für Ernährungssicherheit) 2023: Pflanzenschutzmittelregister - Verzeichnis der in Österreich zugelassenen Pflanzenschutzmittel https://psmregister.baes.gv.at/psmregister/. (7.2.2023)

GADOURY D M, WILCOX W F, RUMBOLZ J, GUBLER W D, 2015: Powdery mildew, In: Wilcox, W.F., Gubler, W.D., Uyemoto, J.K. (Eds.), Compendium of Grapevine Diseases, Disorders, and Pests. The American Phytopatological Society, Minnesota, pp. 75–83.
HOFFMANN P, FÜZI I, VIRANYI F 2012: Indirect effect of fungicide treatments on chasmothecia of *Erysiphe necator* Schwein overwintering on grapevine bark, Plant Prot Sci 48:21–30.
LA TORRE A, IOVINO V, CARADONIA F 2018: Copper in plant protection: Current situation and prospects, Phytopathol Mediterr 57:201–236.
LORENZ D H, EICHHORN K W, BLEIHOLDER H, KLOSE R, MEIER U, WEBER E, 1994: Phänologische Entwicklungsstadien der Weinrebe (*Vitis vinivera* L.ssp *vinifera*) - Codierung und Beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala. Vitic. Enol. Sci. 49, 66–70.
MÖTH S, WALZER A, REDL M, PETROVIĆ, B, HOFFMANN C, WINTER S, 2021: Unexpected effects of local management and landscape composition on predatory mites and their food resources in vineyards. Insects, 12(2), 180.
MÖTH S, REDL M, WINTER S, HÜTTNER F, STEINKELLNER S 2023: Efficiency of inorganic fungicides against the formation of *Erysiphe necator* chasmothecia in vineyards. Pest Manag Sci. https://doi.org/10.1002/ps.7487.
MOYER M M, GADOURY D M, WILCOX W F, SEEM R C, 2014: Release of *Erysiphe necator* ascospores and impact of early season disease pressure on *Vitis vinifera* fruit infection. Am. J. Enol. Vitic. 65, 315–324.
R CORE TEAM, 2021: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.r-project.org/.
REDL M., MÖTH S., KOSCHIER E., SPANGL B. 2021a: Survival and viability of ascospores of *Erysiphe necator* in Austrian vineyards. Europ J Plant Pathol 159, 615-626.
REDL M, SITAVANC L, HANOUSEK F, and STEINKELLNER S 2021b: A single out-of-season fungicide application reduces the grape powdery mildew inoculum. Crop Prot:105760.

Adresse der Autoren

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenschutz, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, Österreich.

* Ansprechpartner: DI Stefan MÖTH, stefan.moeth@boku.ac.at

Multimodales Phenotyping zur verbesserten Detektion von Stressresistenzeigenschaften

Multimodal phenotyping for improved prediction of stress resistance traits

Gernot Bodner[1], Francesco Flagiello[1], José Carlos Herrera[2], Eric Stumpe[1,3], Julia Strebl[3], Matthias Zeppelzauer[3]

Einleitung

Die Nutzung bildgebender Verfahren in verschiedenen naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen hat im Zuge der Digitalisierung sehr stark zugenommen. Von den ursprünglichen Anwendungen in der Fernerkundung auf Landschaftsebene, werden heute bildgebende Verfahren auch vermehrt auf Feldebene über Drohnen sowie auf Einzelpflanzenebene im Rahmen von Phenotyping-Plattformen genutzt (LIU et al. 2020).

Phenotyping-Anwendungen in der Pflanzenzüchtung haben das vorrangige Ziel, (1) automatisiert und objektiviert morphologische Pflanzenmerkmale zu bonitieren und (2) Hinweise auf physiologische Prozesse und Reaktionen der Pflanzen auf Umweltreize (z.B. abiotischen und/oder biotischen Stress) zu erhalten. Die Bonitur der Pflanzenmorphologie basiert dabei auf RGB-Bildern im sichtbaren Lichtbereich (VIS), die auch mit Tiefeninformation (z.B. über optische Abstandsmessung) kombiniert werden können. Typische Informationen sind die Entwicklung der Blattfläche, der Wuchshöhe und des Raumes, den der Spross einnimmt (z.B. konvexe Hülle). Physiologische Informationen werden aus den Reflexionsspektren im Nahen- und kurzwelligen Infrarot (NIR, SWIR) sowie der thermischen Infrarotstrahlung abgeleitet. Zahlreiche aus der Fernerkundung abgeleitete Indices, wie etwa der NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) oder der NDWI (*Normalized Difference Water Index*), kombinieren Wellenlängen des VIS bis SWIR-Bereiches, um den Zustand der Vegetation aus der spezifische Signatur der Spektren abzuleiten, die sich aufgrund chemischer Absorptionsprozesse von Anregungslicht (z.B. durch Halogenlampen) durch das Pflanzengewebe (z.B. Chlorophyllkonzentration, Wassergehalt) sowie des Einflusses der Oberflächenbeschaffenheit auf die Strahlungsreflexion ergeben. Der thermische Zustand der Blattoberfläche ist ein unmittelbar mit der Transpirationskühlung zusammenhängendes Merkmal, das ein seit langem zur Bewertung der Wasserversorgung von Pflanzen angewandt wird.

Dem technologischen Fortschritt bei verfügbaren Kamerasystemen hinsichtlich spektraler Bandbreite und räumlicher Auflösung steht jedoch eine zunehmende Herausforderung in der Bildanalyse der verfügbaren Daten gegenüber. Insbesondere die Nutzung der hohen räumlichen Auflösung sowie die Kombination von Bildinformationen verschiedener Kamerasysteme sind bisher unzureichend. Damit bleiben jedoch wichtige Potenziale in der bildgebenden Pflanzendiagnose, etwa in der Früherkennung von Symptomen an spezifischen Teilen der Pflanzen (z.B. Blattspitze, Blattrand) bisher ungenutzt. Auch die Kombination von Kamerasystemen zur besseren Erfassung komplexer physiologischer Reaktionen (z.B. der Beziehung zwischen Blattwasserpotenzial und Stomataleitfähigkeit bei isohydrischer vs. anisohydrischer Trockenstressreaktion; HOCHBERG et al. 2018) ist bisher nur wenig untersucht und erfordert entsprechende Algorithmen zur multimodalen Vernetzung und Registrierung von Bildinformationen.

Im Folgenden werden Ansätze für ein solches multimodales Kamerasetup präsentiert, die für die physiologische Phenotyping-Plattform der Universität für Bodenkultur am Beispiel von Weinpflanzen entwickelt werden.

Material und Methoden

Phenotyping Plattform: Abbildung 1 zeigt die Phenotyping-Infrastruktur. Diese besteht aus Kamerasystemen zur Erfassung verschiedener „Modalitäten" des Objekts Pflanze (RGB, Tiefe, VISNIR-Spektrum, thermales Infrarot). Als direkte Referenzsensoren für die zerstörungsfreie Messung von „Groundtruth"-Zeitreihen sind derzeit im System Waagen (Evapotranspiration über Masseänderung), Bodensensoren (Matrixpotenzial) sowie Stammpsychrometer (Pflanzenwasserpotenzial) integriert.

Parameter	Wert
RGB-D	
Spektraler Bereich	RBG Kanäle
Räumliche Auflösung	1920 x 1080
Tiefenauflösung	1024 x 768
Tiefengenauigkeit	≈ 5 mm
Minimumabstand	250 mm
Hyperspektal	
Spektraler Bereich	400 – 1000 nm
Spektrale Auflösung	7 nm (204 Bänder)
Räumliche Auflösung	512 x 512 Pixel
Minimumabstand	150 mm
Thermal/Infrarot	
Spektraler Bereich	7.5 – 14 mm
Räumliche Auflösung	640 x 480 Pixel
Thermale Auflösung	0.03 K
Thermale Genauigkeit	± 2K

Abbildung 1: **Phenotyping-Infrasturktur an der Universität für Bodenkultur (UFT Tulln).** ***Links*** **Wuchskammer mit LED-Beleuchtung,** ***Mitte*** **Phenotyping-Einheit,** ***rechts*** **Kameraspezifikationen.**

Analyse-Pipeline: Die Analyse-Pipeline umfasst das Mapping der Kamera-Modalitäten in ein multimodales Bild sowie das Pixel-Tracking über die Zeit. Derzeit in Entwicklung sind die automatisierten Prozesse Einzelblatt-Segmentierung, multimodale Mustererkennung, Klassifikation sowie die Vernetzung der Bildinformationen mit den direkten „Groundtruth"-Messgrößen zur Entwicklung von Prognosemodellen physiologischer Stressreaktion aus Bilddaten.

Modell-Spezies: Die Entwicklung erfolgt anhand von Weinreben. Die Reben werden im Klimaraum unter LED-Pflanzenlichtern mit einer Mindestintensität (PPFD) von 300 mm m^{-2} s^{-1} in 2 l Töpfen gezogen. Für die Methodenentwicklung erfolgte eine rasche Stressinduktion durch Durchtrennung des Stammes im Vergleich zu einer ausreichend bewässerten Kontrollpflanze.

Ergebnisse und Diskussion

Multimodales Mapping von Kameras: Eine Kombination aus RGB-Tiefeninformationen und thermalem Infrarot wird verwendet, um das Austrocknungsverhalten von Weinpflanzen zu verfolgen. Die Bildgebungsaufgabe besteht darin, die thermischen Informationen (Anstieg der Blatttemperatur durch stomataschluss) auf einzelne Blätter abzubilden, die ihre Position im Laufe der Zeit aufgrund des Welkens ändern. Dafür werde die Informationen aus den wechselseitig kalibrierten Kameras mit einer Modalitätsregistrierungsmethode hinsichtlich der thermischen und räumlichen (Änderung der Blattarchitektur) Informationen kombiniert.
Abbildung 2 zeigt ein Schema für die angewandte Modalitätsregistrierungsmethode für die beiden Kameras (hier: RGB-Tiefe + thermales Infrarot). Ein 3D-Punkt wird in das Bild projiziert, wo der entsprechende Pixelwert erfasst und dem 3D-Punkt zugeordnet wird. Anschließend wird der Pixelwert in eine zweite Szene projiziert (entsprechend einer anderen Modalität/Kamera). Eventuell müssen einige Punkte (roter Punkt in Abb. 2 links) aus benachbarten Pixeln interpoliert werden, für die kein passender 3D-Punkt gefunden wird. Damit können mit Wärme- und RGB-Tiefenkameras aufgenommene Modalitäten der Blätter kombiniert werden, um so eine adäquate und hochauflösende räumliche Verfolgung dehydrierender Blätter zu ermöglichen.

Abbildung 2: **Schema und Beispiel der Registrierung von Bildmodalitäten (thermales Infrarot mit RGB-Tiefe) für multimodales Phenotyping von Trockenstress (z.B. Temperaturanstieg + Blattrollen).**

Einzelblatt-Segmentierung: Abbildung 3 zeigt den Ablauf der Einzelblatt-Detektion über den implementierten Segmentierungsalgorithmus. Die Methode beginnt mit der Identifizierung relevanter Bildregionen (Blätter) über semantische Segmentierung. Aus der erhaltenen Segmentierung, die zuerst das gesamte Blattdach erfasst, werden potenzielle Blattzentren als Startpunkte für die „Ein-Pixel-Instanzen-Segmentierung" geschätzt. Diese Startpunkte dienen als Eingabe für das Segmentierungsmodell der Blattinstanzen. Es wird damit ein neuartiges Tandem-Lernschema verwendet, bei dem ein vorab trainierter Encoder in das Segmentierungsmodell der Blattinstanz integriert und dabei jeweils ein Blatt einzeln und iterativ segmentiert wird, bis alle Blätter des Blätterdachs separat identifiziert sind. Abschließend werden durch einige automatisierte Nachbearbeitungsschritte die einzelnen Segmentierungselemente konsolidiert.

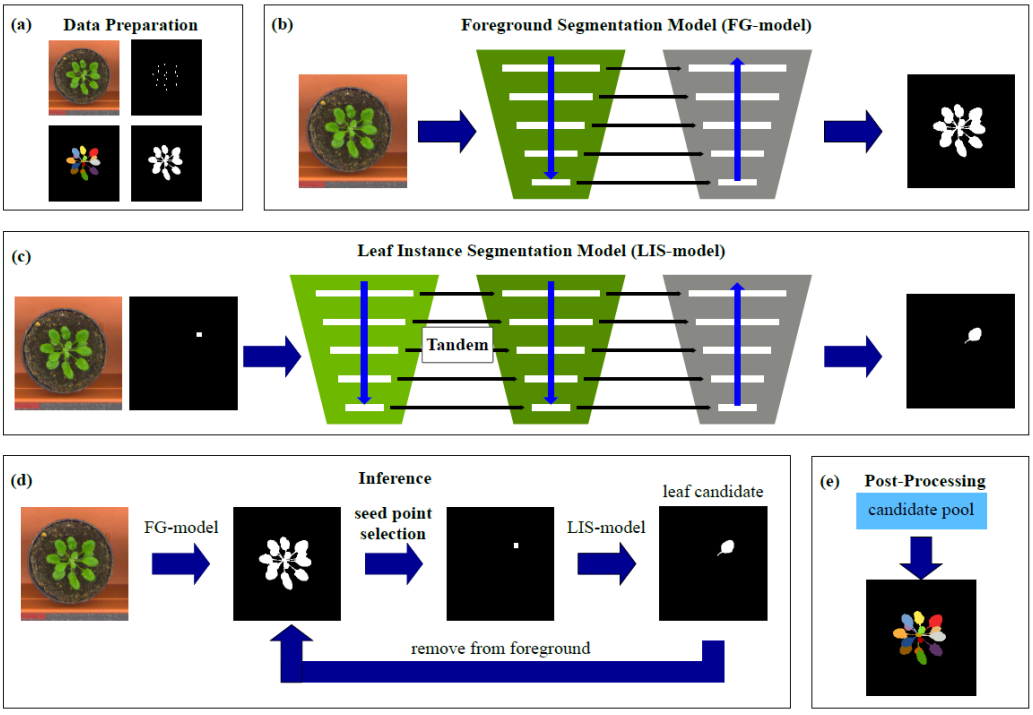


Abbildung 3: **Einzelpixel-Segementierung von Blättern als Grundlage der Blattidentifikation in der Phenotyping-Analysepipeline (Quelle: Strebl et al., 2022)**

Einzelpixel-Tracking (Abbildung 4): Für die zeitliche Dimension von Trockenstress wurden zwei Ansätze getestet, um Pixel auf den Blättern über die Zeit effektiv zu verfolgen: SIFT-Features (Scale-Invariant Feature Transform; LOWE 1999) und der Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) Feature Tracker (SHI 1994). Während der Blattrand um das Blatt herum gezeichnet wird, werden die Punkte im ersten Bild manuell gesetzt (Zeit = t_0) und SIFT sucht in den nachfolgenden Bildern nach den entsprechenden Pixeln innerhalb des Blattrandes. Die Homographie wird dann zwischen übereinstimmenden SIFT-Punkten berechnet, was das Verfolgen von Punkten und der Grenze zwischen verschiedenen Bildern in der Sequenz ermöglicht.

Als alternativen Ansatz zu SIFT wurde die Verwendung des KLT-Feature-Trackers getestet, um Punkte im Zeitverlauf zu verfolgen (nicht gezeigt). Die Einschränkung besteht jedoch darin, dass der Tracker nur mit RGB-Bildeingängen arbeitet, also nur drei Eingangskanäle verarbeiten kann und somit in seiner jetzigen Form für den hier im Setup verwendeten multimodalen Ansatz eingeschränkt ist.

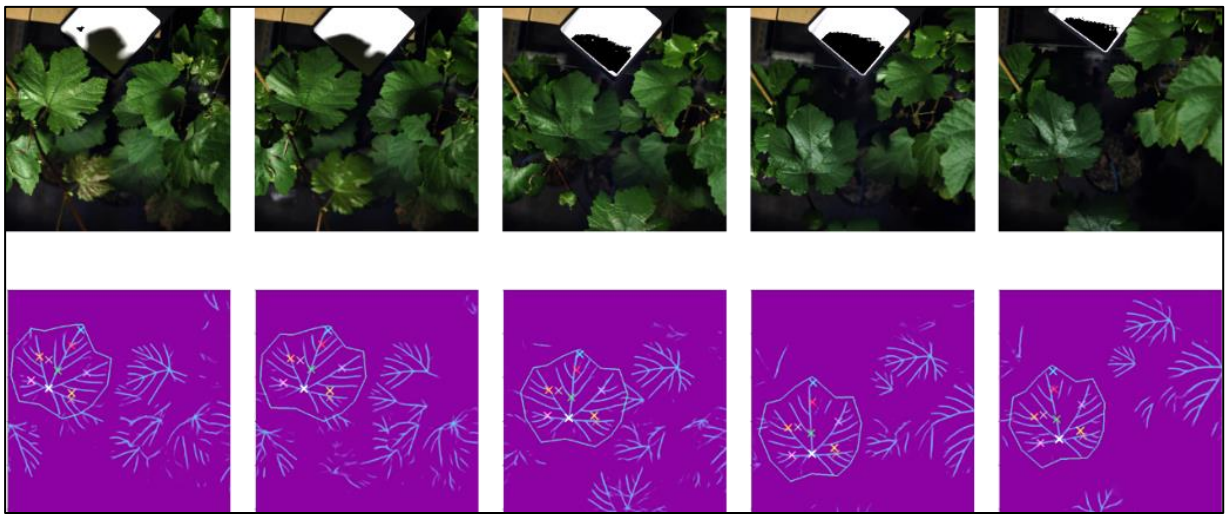


Abbildung 4: **Beispiel für SIFT-basiertes Pixeltracking über die Zeit ((von links = t_0 bis rechts t_4 während eines Trocknungsprozesses). Hyperspektrales Rohbild (oben) und verfolgte Pixel (unten).**

Zusammenfassung

Zur verbesserten Nutzung von Informationen im Pflanzen-Phenotyping wurden neue Ansätze für eine Bildanalyse der Trockenstressreaktion von Pflanzen entwickelt. Durch differenzierte Erfassung einzelner Blätter ist die Analyse von Einzelblattinstanzen (z.B. junge vs. ältere Blätter) möglich. Die Kombination verschiedener Kamerainformationen auf Pixelebene erlaubt eine Vernetzung von Informationen, um komplexere physiologische Prozesse zu beschreiben. Die Integration der zeitlichen Dimension in hoher pixelgenauer räumlicher Auflösung bietet neue Potenziale, um die Früherkennung und Prozessbeschreibung von physiologischen Pflanzenreaktionen bei Trockenheit zu verbessern.

Abstract

To improve the use of information in plant phenotyping, new approaches for image analysis of drought stress response of plants have been developed. Through the differentiated segmentation of individual leaves, the analysis of single leaf instances (e.g. young *vs.* old leaves) is possible. Combination of different camera modalities at pixel level allows capturing patterns to be linked for analysing more complex physiological processes. The integration of the temporal dimension in high spatial resolution image analysis offers novel potential for early detection and mechanistic description of processes of physiological response of plants under drought.

Literatur

HOCHBERG U, ROCKWELL FE, HOLBROOK NM, COCHARD H. (2018). Iso/anisohydry: a plant–environment interaction rather than a simple hydraulic trait. Trends in Plant Science 23(2), 112-120.
LIU H, BRUNING B, GARNETT T, BERGER B (2020). Hyperspectral imaging and 3D technologies for plant phenotyping: From satellite to close-range sensing. Computers and Electronics in Agriculture, 175, 105621.
LOWE DG (1999) Object recognition from local scale-invariant features. Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision Vol. 2, 1150-1157).
SHI J (1994) Good features to track. Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 593-600

STREBL J, STUMPE E, BAUMHAUER T, KERNSTOCK L, SEIDL M, ZEPPELZAUER M. (2022) One-Pixel Instance Segmentation of Leaves, Proceedings of the Workshop of the Austrian Association for Pattern Recognition, p. 6, TU Graz.

Danksagung
Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projekts „DiPhSpec: Digitalisierung der Physiologie für verbesserte spektrale Pflanzendiagnose“ (FTI18-005), das von der Gesellschaft für Forschungsförderung Niederösterreich m.b.H. im Rahmen der FTI-Strategie des Landes Niederösterreich zum Thema Digitalisierung gefördert wird.

Adressen der Autoren

[1]Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, 3430 Tulln

[2] Institut für Obst- und Weinbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, 3430 Tulln

[3] Institut für Creative\Media/Technologies, Fachhochschule St. Pölten, Campus-Platz 13100 St. Pölten

[*]Ansprechpartner: Gernot BODNER gernot.bodner@boku.ac.at