

# Einfluss von Pflanzenwachstum (Salat) auf die Mobilität von Haupt- und Spurenelementen gemäß dem sequentiellen Löseverfahren nach Tessier im Gefäßversuch

M. SAGER

Pflanzenwachstum kann auch in metallbelasteten Gebieten stattfinden, womit die Konsumenten der Pflanzen oft mehr Probleme haben als die Pflanzen selbst. Belastungen der Böden bzw. Kultursubstrate sind denkbar bei Erzvorkommen, Abraumhalden und Mülldeponien. Es gibt schätzungsweise etwa 1 400 000 kontaminierte Flächen auf dem Gebiet der EU, wobei der Übergang in das Nahrungsnetz und der damit einhergehende Einfluß des Pflanzenwachstums auf die Metall-Mobilisierung zu beachten sind. Die Anreicherung aus dem Boden in Pflanzen kann man aber auch zur Sanierung belasteter Gebiete nutzen („Phytosanierung“). Darunter versteht man den maximalen Entzug von Schadstoffen aus dem Substrat in das Erntegut. Dabei bleiben die Bodenfunktionen erhalten, saniert wird aber nur die Durchwurzelungstiefe, und das Verfahren ist langfristig.

Organische Stoffe können abgebaut oder in der Pflanze abgelagert werden. Metallatome bleiben naturgemäß immer erhalten; nach der Ablagerung in den Blättern und Veraschung kann man lösliche Salze durch Auslaugen der Asche mit verdünnter Salzsäure bekommen, die einer Wiederverwertung zuführbar sind. Einige Ionen werden beim Überschuß im Boden methyliert und gasförmig über die Blattoberfläche abgegeben, wie Dimethylquecksilber oder Dimethyldiselenid.

## Phytosanierung

Bei der Wahl der Pflanze, mit deren Hilfe die Phytosanierung durchgeführt werden soll, sind die Pflanzenwachstumsgeschwindigkeit sowie die Fähigkeit zur Anreicherung von Spurenelementen (spezifisch ein Element, oder möglichst viele) zu berücksichtigen. Im allgemeinen ist Anreicherung von Spurenelemen-

ten in Blattgemüse größer als in Wurzelgemüse und dieses größer als in Getreide. Die Ziele dabei sind, den Transport der Metalle bis in die Blätter zu erreichen (Wurzeln bleiben bei der Ernte leicht im Boden), und rasches Wachstum zu gewährleisten. Die Kernfrage lautet: wieviele Ernten sind nötig, um unter den Bodengrenzwert zu kommen?

Deshalb wurde versucht, die Phytoextraktion mit Komplexbildnern zu beschleunigen. Die Komplexbildner sollen die Metalle aus schwerlöslichen Sulfiden oder Oxiden lösen. Komplexe (EDTA o.ä.), die schwer abbaubar sind, sind lange wirksam, sind aber naturfremde Substanzen mit möglichen Nebenwirkungen. Organische Säuren, wie Zitronensäure oder Äpfelsäure werden auch von den Pflanzen selbst an die Rhizosphäre abgegeben, durch den Abbau im Boden ist aber die zeitliche Wirksamkeit eingeschränkt. Die erhöhte Ausschwemmung mobiler Metallfraktionen ins Grundwasser sollte aber vermieden werden. Um das Verfahren bei einer Phytoextraktion real einsetzen zu können, muß die Zahl der Ernten, die man sich beim Zusatz der Komplexbildner erspart, mit dem Preis der eingesetzten Chemikalien gegenkalkuliert werden.

## Experiment

Salat (*Lactuca sativa* L.), 10 tägige Setzlinge, mit Wurzeln ca. 5cm, wurden in Gefäße gepflanzt, die mit etwa 1 kg der zu untersuchenden Substrate gefüllt waren. Jede analysierte Probe entsprach dem Schnitt aus 3 Töpfen. Das Wachstum erfolgte bei 14h Licht täglich und 24-28°. Pflanzen und Böden wurden nach 5, 10, und 15 Tagen beprobt.

Das Substrat stammt vom aufgelassenen Blei-Zink-Bergwerk in Shiheung / Ko-

rea, mit ca. 2% Blei und Zink, 0,5% Cu, sowie Anreicherungen in Cadmium und Arsen.

Die Gefäße A enthielten das zu sanierende Abraumhaldensubstrat, die Gefäße B einen Boden der Umgebung, künstlich kontaminiert mit  $CdCl_2/PbCl_2$  (2h einwirken, 3 mal mit  $H_2O$  gewaschen), und die Gefäße C das Abraumhaldensubstrat, vermengt mit 20% Kompost. Weitere Versuche, deren Ergebnis bei dieser Präsentation nicht dargestellt wurde, enthielten das Abraumhaldensubstrat mit den Zusätzen EDTA, NTA, Zitronensäure, Äpfelsäure und NaCl.

Der Transfer Boden-Pflanze im zeitlichen Verlauf wurde durch Ernte und Bodenprobenahme nach 5 - 10 - 15 Tagen dokumentiert. Blätter und Wurzeln wurden getrennt analysiert. Es wurde getrennt der Oberboden, Wurzelboden und Unterboden beprobt, und die Bindungsformen mit einem selektivem Löseverfahren frei nach Tessier erfaßt.

Die Reagenzienfolge wurde einer karbonat-armen, aber eisenreichen Matrix angepaßt:

- I Austauschbar ( $MgCl_2$ , 0.5M, pH=7)
- II Karbonat - gebunden ( $CH_3COOH$ , 0.16M, pH=5)
- III Mn-Oxid - gebunden ( $NH_2OH \cdot HCl$ , 0.5M, pH=2)
- IV Fe-Oxide - gebunden (Oxalat, 0.2M)
- V Oxidierbar ( $H_2O_2$ , 0.16M Essigsäure)
- VI Rückstand (Königswasser)

Die Darstellung der Fraktionen im zeitlichen Verlauf soll folgende Fragen klären:

- \* Wie hoch sind die schwach-säurelöslichen Anteile (Mycorrhiza?)

---

**Autor:** Doz. Dr. Manfred SAGER, Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH – Landwirtschaftliche Untersuchungen und Forschung Wien, Institut für Agrarökologie, Spargelfeldstraße 191, A-1226 WIEN



- \* Ändern sich die pedogenen Oxide (Eisen, Aluminium, Mangan) als Verwitterungsphasen?
- \* Wie verhält sich Phosphor und andere Nährelemente?
- \* Kommt es zur Verwitterung von Sulfiden?
- \* Kommt es zur Bildung refraktärer organischer Verbindungen?
- \* Kommt es zur Mobilisierung durch Kompostzugabe infolge der Aktivierung von Bodenmikroorganismen, oder eher zur Komplexierung der Spurenelemente durch organische Säuren?
- \* Erfolgt Mobilisierung aus Sulfiden durch Pflanzenwachstum?

## Ergebnisse

Nach 10 Tagen erreichten die Salatpflanzen hinsichtlich der meisten anorganischen Inhaltsstoffe Konzentrationsmaxima, während sie nach 15 Tagen wieder nachließen und knapp am Absterben waren. Die Gehalte an Gesamt-Stickstoff in den Pflanzen lassen auf Mangelernährung schließen (ca. 1% in der Trockenmasse; mündl. Mitteilung Prof. EDELBAUER), mit Ausnahme der kompostgedüngten Variante (ca. 2% in Trocken-

masse). Die Kultursubstrate waren gering in Calcium (pH 5,7), und die Kompostzugabe hatte keinen deutlichen Einfluß auf den zeitlichen Verlauf der Ca/Mg-Fractionen. Die Ca-Vorräte werden verbraucht. Der natürliche Boden hatte den Phosphor hauptsächlich an die Mn/Fe-Oxide gebunden, die mobilen Fraktionen blieben im zeitlichen Verlauf konstant. Der Kompost bringt eine zusätzliche Hydroxylamin-lösliche (= nominell Mn-gebundene) Phosphorfraction ein.

Hinsichtlich der Elemente Fe-Al-Mn, sanken die Fraktionen Oxalat und  $\text{HNO}_3$  im zeitlichen Verlauf, während die Fraktionen Hydroxylamin und  $\text{H}_2\text{O}_2$  stiegen, was bedeutet, daß die Hydroxide löslicher wurden, und die Residualfraktion zugunsten der organisch - sulfidischen Fraktion sank. Der Hauptunterschied in den Lösemustern zwischen dem Boden und dem Abraumhaldensubstrat lag in der  $\text{H}_2\text{O}_2$ -oxidierbaren Manganfraktion. Die Kompostzugabe bewirkte keine wesentlichen Änderungen.

Bei den sequentiellen Lösemustern der Metalle wurden wesentliche Unterschiede zwischen Boden und Abraum sichtbar. Die zugesetzten löslichen Pb und Cd-Salze zeigten deutlich höhere Mobi-

lität, und auch einen höheren Transfer in die Pflanze. Geringe Mobilität trat bei tiefen natürlichen Gehalten der nicht angereicherten Elemente Chrom, Nickel und Cobalt auf.

Der zeitliche Verlauf der „Karbonatphase“ pH 5 (häufiges Maximum nach 5-10 Tagen) deckt sich am ehesten mit dem Verlauf der Konzentrationen in der Pflanze. Bei den „pedogenen Oxiden“ scheint es zu starken Änderungen an Gesamtmenge und an darin gebundenen Spurenelementen während des Pflanzenwachstums zu kommen. Die Kompostzugabe änderte das Lösemuster des Abraums im wesentlichen nur beim Phosphor – die zweifellos erhöhte mikrobielle Aktivität wirkte sich also während der 15-tägigen Wachstumsperiode noch nicht aus.

Detaillierte statistische Auswertungen sind in Vorbereitung.

**Danksagung:** die pflanzenbaulichen Experimente wurden im Rahmen der Diplomarbeit von Ms. So Young LEE an der Seoul National University in Korea durchgeführt (Betreuer: Prof. Hyo Taek CHON). Die Laboranalysen erfolgten im BFL im Rahmen des Projekts „pedogene Oxide“, unter der tatkräftigen Mitwirkung von Ms. So Young LEE.