

Markus Puschenreiter - Walter Wenzel

Pflanzen als Metall-Schlucker

Verschmutzte Böden als brennendes Umweltproblem

1,4 Millionen kontaminierte Flächen wurden 1998 von der EEA (European Environment Agency) für den EU-Raum angegeben. Allein in Österreich gibt es nach Angaben des Umweltbundesamtes fast 30.000 Standorte, die mit Metallen und/oder organischen Schadstoffen belastet sind. Herkömmliche Technologien zur Reinigung verschmutzter Böden beschränken sich im Wesentlichen auf die Abtragung und Deponierung des Bodens („dig and dump“), die Bodenwäsche mit Säure und anderen Chemikalien oder die Verbrennung des Bodens. Diese Methoden sind sehr teuer und zerstören Struktur und Funktion des Bodens. Speziell bei großflächigen Kontaminationen sind herkömmliche Sanierungstechnologien nur sehr bedingt einsetzbar. In vielen Entwicklungs- und Schwellenländern gibt es v.a. auch aus Kostengründen ein großes Interesse an alternativen Technologien.

Phytosanierung – die grüne Technologie

1983 hat Rufus Chaney (USA) erstmals die Idee formuliert, dass man Pflanzen zur Sanierung von verschmutzten Böden einsetzen könnte. Grundlage für diese Idee war die Tatsache, dass es unter den Pflanzen einige Spezialisten gibt, die große Mengen an Schwermetallen in den Blättern speichern können. In den folgenden Jahren starteten eine Reihe von Forschungsvorhaben, um diese Idee in die Wirklichkeit umzusetzen. Diese neue Technologie, die Pflanzen zur Bodensanierung verwendet, die sog. Phytosanierung, erweckte großes Interesse und es wurden rasch große Fortschritte erzielt. Der Begriff Phytosanierung umfasst mittlerweile eine Reihe von verschiedenen Methoden:

- Phytoextraktion: der Entzug der Schadstoffe durch Aufnahme in die Pflanze und Speicherung in der oberirdischen Biomasse
- Phytodegradation: der pflanzeninduzierte Abbau von organischen Schadstoffen im Boden
- Phytostabilisierung: die Fixierung von Schadstoffen im Boden
- Phytovolatilisierung: die Umwandlung der Schadstoffe in flüchtige Formen und anschließende Freisetzung in die Atmosphäre

- Rhizofiltration: Die Entfernung von Schadstoffen aus Gewässern durch Fixierung in Pflanzenwurzeln

Phytoextraktion mit metall-akkumulierenden Pflanzen

Seit mehr als hundert Jahren ist ein botanisches Kuriosum bekannt: manche Pflanzen, die auf oberflächlichen Erzvorkommen (z.B. auf Serpentinstandorten) wachsen, nehmen die im Boden vorkommenden Metalle in außerordentlich hohen Mengen auf. Dieses Phänomen wurde 1977 von Robert Brooks (Neuseeland) als Hyperakkumulation bezeichnet. Mittlerweile sind mehr als 400 Hyperakkumulatoren bekannt, die viele verschiedenen Metalle speichern können, z.B. Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Selen und Zink. Die aussergewöhnlichste Pflanze in dieser Gruppe ist sicher der tropische Baum *Sebertia acuminata*, dessen Rindensaft 22 % Nickel enthält. In Österreich findet man beispielsweise das Nickel-akkumulierende Gösinger Täschelkraut (*Thlaspi goesingense*) auf Serpentinstandorten im Burgenland (Bernstein, Redlschlag) oder die Wiesen-Schaumkresse (*Cardaminopsis halleri*), die Zink speichert und in Arnoldstein, Kärnten, vorkommt. Beide Pflanzen gehören, wie viele der Hyperakkumulatoren, zu den Kreuzblütlern und enthalten in den Blättern mehr als 1 % des jeweiligen Metalls. All diesen Pflanzen ist gemeinsam, dass die Metall-Konzentration in den Blättern den Durchschnittswert anderer Pflanzen um mehr als das Hundertfache überschreitet, ohne dass die Pflanze dadurch Schaden erleidet. Es haben sich hier spezielle Metall-Toleranz-Mechanismen entwickelt, die dafür sorgen, dass die Metalle den normalen Stoffwechsel der Pflanze nicht stören. Beispielsweise werden die Metalle in der Zellwand oder in der Zell-Vakuole abgelagert. Eine weitere ungewöhnliche Eigenschaft dieser Pflanzen ist, dass die Wurzeln gezielt zu den Metallen hinwachsen und stark kontaminierte Bereiche stärker durchwurzeln als weniger belastete Teile des Bodens.

Trotz dieser aussergewöhnlichen Fähigkeit sind viele dieser Pflanzen nur bedingt für die Phytoextraktion von Metallen einsetzbar. Das Problem ist, dass v.a. in der gemäßigten Klimazone die meisten Hyperakkumulatoren sehr kleine Pflanzen sind. Der Netto-Entzug auf einer Fläche ist somit trotz der hohen Konzentration in den Blättern sehr gering.

Bäume als Bodensanierer?

Von einigen Forschern wurde die Möglichkeit erwogen, mit Hilfe von metall-mobilisierenden Substanzen (z.B. Ethylen-Diamin-Tetra-Acteat, EDTA) die Metall-Aufnahme in Pflanzen mit hoher Biomasse, wie z.B. Mais, zu fördern. Bei dieser Technologie wird die metallmobilisierende Substanz kurz vor der Ernte der Pflanzen in den Boden gebracht, indem sie als Lösung auf das Feld gesprüht wird. Durch den Transpirationsstrom gelangen die Metalle in die Pflanzen, die kurze Zeit später durch die toxische Wirkung absterben und dann geerntet

werden. In unserer Arbeitsgruppe wurde jedoch gezeigt, dass diese Technologie hohe Risiken in sich birgt, da die Gefahr der Auswaschung der Metalle ins Grundwasser besteht. Daher haben wir nach weiteren Alternativen gesucht. Bei einer intensiven Beprobung eines metall-belasteten Standortes in Arnoldstein, Kärnten, zeigte sich, dass einige der dort natürlicherweise vorkommenden Weiden und Pappeln sehr große Mengen an Schwermetallen in den Blättern speichern können. Die Werte liegen zwar unter den Konzentrationsbereichen der Hyperakkumulatoren, finden sich aber immer noch im Promille-Bereich. Aufgrund der Raschwüchsigkeit und der hohen Biomasse erscheinen daher diese Pflanzen sehr vielversprechend. Die höchsten Schwermetall-Konzentrationen wurden in den Blättern der Salweide (*Salix caprea*) und der Zitterpappel (*Populus tremula*) gefunden. Beide Arten wurden mit Stecklingen vermehrt und in Gefäßversuchen erfolgreich getestet. Die dabei erzielten Maximalkonzentrationen in den Blättern betragen 0,04 % Cd und 0,4 % Zn. In den nächsten Monaten sind erste Feldversuche geplant, die die Phytosanierungseffizienz unter praxisnahen Bedingungen zeigen sollen. Auch die Effizienz auf verschiedenen Böden wird dabei untersucht. Mittlerweile wurden auch einige andere Weiden-Arten von Standorten aus Österreich und Tschechien in die Untersuchungen miteingeschlossen, z. B. die Bruchweide (*Salix fragilis*) und die Godesbergweide (*Salix rubens*).

Eine wichtige Rolle bei der Metall-Aufnahme in die Weiden und Pappeln scheinen die Mykorrhiza-Pilze zu spielen. Es handelt sich dabei um eine Gruppe von Pilzen, die in Symbiose mit den Wurzeln dieser Pflanzen leben und normalerweise die Aufnahme von wichtigen Nährstoffen wie z.B. Phosphor fördern und im Gegenzug dazu von der Pflanze organische Substanzen, z.B. Zucker, erhalten. Viele dieser Pilze hemmen die Aufnahme von Schadstoffen, einige jedoch fördern die Schwermetall-Akkumulation in den Weiden und Pappeln. Die Wahl der richtigen Kombination von Pflanze und Pilz scheint eine Schlüsselrolle zur Optimierung der Phytoextraktion von Metallen zu spielen. In Zusammenarbeit mit Joseph Strauss vom Zentrum für Angewandte Genetik (ZAG) der Universität für Bodenkultur werden diese Pilze isoliert und ihre Metall-Toleranz analysiert. Die Pilz-Isolate werden für die Mykorrhizierung der Weidenstecklinge verwendet.

Abbau von organischen Schadstoffen

Zur Gruppe von organischen Schadstoffen zählen unter anderem Öle, Dioxine oder Rückstände von Pflanzenschutzmitteln. Im Gegensatz zu den Metallen sind diese Schadstoffe prinzipiell biologisch abbaubar, nur dauert dieser Vorgang oft viele Jahre und Jahrzehnte. Bislang bestand eine Sanierung dieser belasteter Böden oft darin, das Erdreich auszuheben und zu verbrennen.

Pflanzen können auch in diesem Fall Hilfe leisten. Durch Wurzelausscheidungen, die die Pflanze in den Boden abgibt, wird in der Bodenzone um die Wurzel, in der sog. Rhizosphäre, die Aktivität von vielen Mikroorganismen angeregt. Einige Mikroorganismen, v.a. Bodenbakterien, können die organischen Schadstoffe vergleichsweise rasch abbauen. Angela Sessitsch von den Austrian Research Centers Seibersdorf arbeitet an der Isolierung und Charakterisierung dieser Mikroorganismen. Da verschiedene Pflanzen auch verschiedene Mikroorganismen fördern, kann hier durch Auswahl bestimmter Pflanzenarten und -sorten der Abbau gezielt gefördert werden. Eine Vielzahl von Versuchen hat gezeigt, dass u.a. die Schwarzpappel (*Populus nigra*), Schilf (*Phragmites australis*) oder auch manche Raps-Sorten (*Brassica napus*) den Abbau von organischen Schadstoffen stark beschleunigen. Das ausgeprägte Wurzelsystem des Schilfs bringt zusätzlich noch Sauerstoff in den Boden, was nochmals den Abbau fördert. Ziel weiterer Forschungsarbeiten, die gemeinsam mit Andreas Loibner vom IFA Tulln durchgeführt werden, ist die Identifizierung von Pflanzen bzw. Kombinationen von Pflanzen, die zur Sanierung von Böden mit mehreren Schadstoffarten (z.B. Öle und Metalle) geeignet sind.

Phytostabilisierung, Phytovolatilisierung, Rhizofiltration

Das dichte Wurzelsystem der Pflanzen führt zu einer mechanischen und chemischen Stabilisierung von kontaminierten Böden. Während einerseits durch den Pflanzenaufwuchs Erosion vermindert wird, kann auch die Gefahr der Auswaschung ins Grundwasser verringert werden, da durch die Transpirationsleistung der Pflanzen die aufsteigende Wasserbewegung im Boden dominiert. Die Ausscheidungen von Pflanzenwurzeln können auch zu einer chemischen Fixierung der Schadstoffe im Boden führen, z.B. durch Ausfällung. Die Phytostabilisierung ist v.a. als Primärmaßnahme auf stark kontaminierten Böden einsetzbar, um die Gefahr einer Grundwasserverschmutzung zu verringern. Hier können zusätzlich auch mineralische Bodenverbesserer, z.B. Kalk, Eisenoxide, Zeolithe, etc., zu einer Fixierung von Metallen im Boden verwendet werden. Der bioverfügbare Anteil von Schadstoffen kann damit sehr effizient verringert werden. Othmar Horak, Wolfgang Friesl und Martin Gerzabek von den Austrian Research Centers Seibersdorf haben bei dieser Methode bereits große Fortschritte erzielt und es soll in den nächsten Monaten gemeinsam mit unserer Arbeitsgruppe erstmals ein Feldversuch durchgeführt werden.

Bei der Phytovolatilisierung wandeln Pflanzen bzw. die in der Rhizosphäre vorkommenden Mikroorganismen die Schadstoffe in flüchtige Formen um. Vor allem Selen und Quecksilber können mit dieser Maßnahme den Böden sehr effektiv entzogen werden.

Die Rhizofiltration nutzt die Fähigkeit von Pflanzenwurzeln, sehr große Mengen an Schadstoffen zu binden. Jene Pflanzen mit einem gut ausgeprägten Wurzelsystem und vielen

Feinwurzeln sind für die Rhizofiltration geeignet, z.B. viele Gräser. Slavik Dushenkov (U.S.A.) hat bei einem Feldversuch in der Nähe von Tschernobyl gezeigt, dass mit dieser Methode große Mengen an radioaktiven Substanzen aus stehenden Gewässern entzogen werden können.

Weiterbehandlung des Pflanzenmaterials

Bei der Sanierung von Böden mit organischen Schadstoffen kann das Pflanzenmaterial bedenkenlos weiterverarbeitet werden, da die Schadstoffe nicht oder in nur sehr geringem Ausmaß aufgenommen werden. Bei der Phytoextraktion von Metallen ist das anders, da ja die Metalle bevorzugt in den Blättern abgelagert werden. Aber auch hier bieten sich mehrere Möglichkeiten der Weiterverarbeitung an. Viele Forschungsgruppen schlagen die Verbrennung der Pflanzen vor, da hier auch eine Wiedergewinnung der Metalle aus der Pflanzenasche möglich ist. Diese rentiert sich jedoch nur ab einem bestimmten Gehalt in der Pflanze und nur bei bestimmten Metallen (z.B. Nickel). Eine weitere Möglichkeit ist die Kompostierung des Pflanzenmaterials, die auch vor Ort vorgenommen werden kann. Hier sind einige Begleitmaßnahmen notwendig, die verhindern, dass die beim Abbau freigesetzten Metalle wieder in den Boden zurückgelangen. Das kann z.B. durch eine Tonmineralschicht unter dem Kompostiermaterial erzielt werden, die die Metalle sehr effektiv bindet.

Der Einsatz von Geomatten, die unter den Phytoextraktionspflanzen aufgelegt werden, ist eine weitere Variante, die in unserer Arbeitsgruppe entwickelt und bereits in Österreich und den U.S.A zum Patent angemeldet wurde. Diese Geomatten enthalten eine Schicht aus Tonmineralien und binden die aus dem Laubfall freigesetzten Metalle, bevor sie zurück in den Boden gelangen. Die Matten können über mehrere Jahre am Standort belassen werden, eine Rückgewinnung der Metalle aus den Tonmineralien ist ebenfalls möglich.

Rechnet sich Phytosanierung?

Im Vergleich zu herkömmlichen Bodensanierungstechnologien ist die Phytosanierung relativ billig. Ausräumung und Deponierung des Bodens kostet etwa 1,6 Millionen Dollar pro Hektar, Bodenwäsche ca 790.000 Dollar pro Hektar, wie von Scott Cunningham (U.S.A.) vorgerechnet wurde. Die Kosten der Phytosanierung liegen nach eigenen Schätzungen bei etwa 50.000 Euro pro Hektar bei einem Sanierungszeitraum von 5 Jahren.

Im Gegensatz zu den U.S.A., wo schon seit mehreren Jahren Phytosanierung kommerziell angeboten wird, gibt es in Europa bislang nur sehr wenig Firmen auf diesem Sektor. Von David Glass (U.S.A), der das Marktpotential der Phytosanierung bereits seit einigen Jahren untersucht, werden jährliche Steigerungen von ca. 10 % vorhergesagt bei einem europäischen Marktpotential von 3 – 8 Millionen Euro im Jahr 2003. Neben den Industrieländern

zeigen v.a. auch Entwicklungs- und Schwellenländer großes Interesse an alternativen Bodensanierungstechnologien.

Weiterer Forschungsbedarf

Zur Zeit befindet sich die Phytosanierung immer noch in der Entwicklungsphase und es ist noch weiterer Forschungsbedarf notwendig um diese Technologie zu optimieren. Wichtige Parameter sind hier eine entsprechende Akkumulation der Schadstoffe in der Pflanze bzw. die Abbaurate im Boden. Ein mögliches Problem der Phytosanierung ist der eventuell zu lange Zeitraum der Sanierungsdauer. Als optimal wird ein Sanierungszeitraum unter 10 Jahren angesehen. Da bislang nur wenige Daten aus Langzeitversuchen vorliegen, ist eine Abschätzung des Sanierungszeitraums schwierig. Fraglich ist dabei auch, ob die Effizienz der Sanierung über den gesamten Zeitraum gleich bleibt und welche begleitenden Maßnahmen notwendig sind, um die Sanierung zu beschleunigen. Auch die Nachhaltigkeit der Phytosanierung ist ein wichtiger Faktor, vor allem bei der Entfernung von Metallen.

Trotz mancher noch ungelöster Fragen überwiegen in der Phytosanierung bei weitem die Vorteile. Neben den niedrigen Kosten ist auch der technologische Aufwand relativ gering, somit kann die Phytosanierung auch auf relativ großen Flächen eingesetzt werden. Aufgrund der Umweltfreundlichkeit dieser „grünen Technologie“ ist auch die Akzeptanz in der Bevölkerung sehr groß. Wir sind daher überzeugt, dass der Phytosanierung eine Schlüsselrolle in der künftigen Umwelttechnologie zukommt.

Danksagung

Die in der Arbeitsgruppe durchgeführte Forschungsarbeit wurde von der Universität für Bodenkultur, vom FWF, von der EU, von der Stadt Wien, vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur sowie von der Kommunalkredit Austria gefördert.

Autoren:

Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Walter W. Wenzel

Mag. Dr. Markus Puschenreiter

Universität für Bodenkultur, Institut für Bodenforschung

Gregor Mendel-Strasse 33, 1180 Wien

Tel.: 01 47654 3119

email: walter.wenzel@boku.ac.at; markus.puschenreiter@boku.ac.at

<http://www.boku.ac.at/boden/>