

Damit der Salat nicht so schwer im Magen liegt:

Schadstoffe im Boden festsetzen



Abb. 1: Die eine oder andere Handvoll Boden wandert schon mal in den Mund.

Rita Haag
Bernd Marschner
Ingo Müller

Die dreijährige Lena hilft ihrer Oma bei der Salaternte. Die eine oder andere Handvoll Erde wandert dabei in den Mund. Halb so schlimm, denkt die Oma, das haben wir alle früher gemacht. Sie putzt den Salat gründlich und freut sich auf die vitaminreiche Beilage. Doch der Salat enthält nicht nur Gutes, und auch die Erde ist nicht harmlos: Schwermetalle, vor allem Blei und Cadmium kommen mitunter in hohen Konzentrationen im Boden vor. Wie man sie dingfest macht, ohne gleich den ganzen Boden abzutragen, erforschen Bodenökologen der RUB.

Gerade im Ruhrgebiet gibt es viele Schrebergärten, die zur eigenen Versorgung mit Gemüse beitragen. Ist der Verzehr von Produkten aus eigenem Anbau bei der vorliegenden Umweltbelastung denn überhaupt noch gesund? Ist es schädlich für Kinder, wenn beim Spielen im Garten Boden über Mund oder Atemwege aufgenommen wird, fragen viele besorgte Gartenbesitzer. Denn auch wenn Gemüse aus eigenem Anbau sicherlich frischer und oft geschmackvoller als aus dem Supermarkt ist, kann es auch unerwünschte Stoffe enthalten. Hierzu gehören beispielsweise Schwermetalle, vor allem Blei und Cadmium, die sich besonders im Ruhrgebiet in hohen Konzentrationen im Boden nachweisen lassen und von den Pflanzen aufgenommen werden können. Schwermetalle gelangen bei der Bodenbildung je nach Ausgangsgestein auf natürliche Weise in die Böden – mitunter stark ergänzt um Einträge aufgrund menschlicher Tätigkeit, z.B. aus der Schwerindustrie oder dem Autoverkehr. Böden haben ein langes Gedächtnis: Auch nach dem weitgehenden Verschwinden der Belastungsquellen bleiben die Schwermetalle in

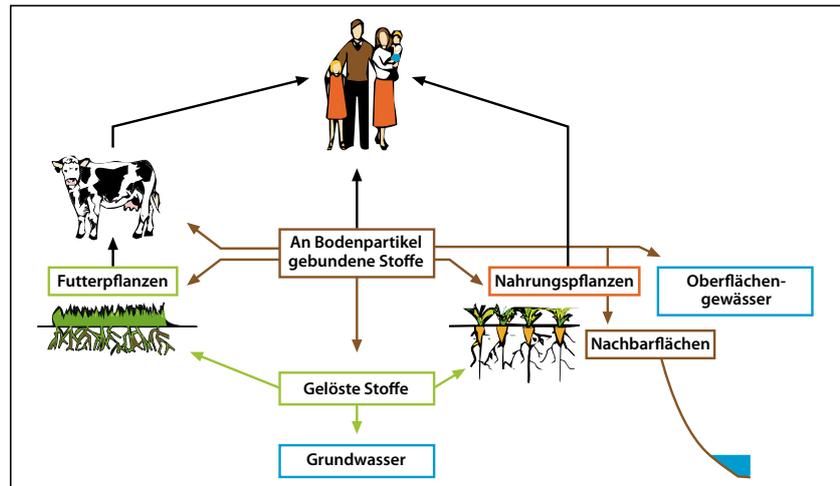


Abb. 2: Wirkungspfade von Schadstoffen aus den Böden.

erhöhten Konzentrationen dem Boden erhalten. Auch hier gilt *dosis facit venenum* (Die Menge macht das Gift): Erhöhte Schwermetallgehalte können auf Mensch und Umwelt schädlich wirken. Blei etwa kann Nervenschäden hervorrufen und bei Kindern die Gehirnentwicklung beeinträchtigen. Cadmium schädigt Leber und Niere. Seit 1999 gibt es mit dem Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) sowie der dazugehörigen Verordnung (BBodSchV) bundeseinheitliche Re-

gelungen zu Schadstoffgehalten in Böden (s. Info 1).

Schadstoffe wie Schwermetalle können auf unterschiedlichen Wegen in den menschlichen Körper gelangen und dort Schäden verursachen (s. Abb. 2). Beim so genannten „Direktpfad“ gelangen die Schadstoffe direkt mit dem belasteten Boden beim Verschlucken oder Hautkontakt in den Körper. Dies kann besonders bei Kleinkindern eine Rolle spielen. Indirekte Schadstoffwege führen über

info¹

Den Boden gesund halten – Gesetzliche Regelungen

Ziel des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) ist es, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen (§ 1). Der Boden erfüllt im Sinne des § 2 natürliche Funktionen als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen durch seine Wasser- und Stoffkreisläufe sowie als Abbau- und Ausgleichsmedium für Schadstoffe, aufgrund seiner Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, die insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers beitragen.

Jeder hat sich so zu verhalten, dass schädliche Bodenveränderungen gar nicht erst entstehen können (§ 7, Vorsorgeprinzip). Eine schädliche Bodenveränderung bedeutet dabei die Beeinträchtigung oder Schädigung der genannten Bodenfunktionen. Droht eine schädliche Bodenveränderung oder liegt sie bereits vor, so sind Verursacher, Grundstückseigentümer und –nutzer gleichsam zur Gefahrenabwehr

verpflichtet (§ 4). Das bedeutet aber nicht, dass Kleingärtner dazu verpflichtet sind, Bodenuntersuchungen durchführen zu lassen. In dem untergesetzlichen Regelwerk, der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) sind für verschiedene Schadstoffe konkrete Werte aufgeführt, um schädliche Bodenveränderungen zu beurteilen. Die Überschreitung von Vorsorgewerten deutet dabei auf ein mögliches Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung bei weitergehend ungebremselter Schadstoffzufuhr hin.

Werden bei Bodenuntersuchungen Prüfwerte überschritten, erfolgt eine weitergehende einzelfallbezogene Untersuchung, die zur Entscheidung führt, ob eine schädliche Bodenveränderung vorliegt. Bei Überschreitung von Maßnahmenwerten liegt in der Regel eine schädliche Bodenveränderung vor und es sind Maßnahmen zur Gefahrenabwehr zu ergreifen.

Nahrungsmittel wie Obst, Gemüse oder Fleisch und vom Grundwasser über das Trinkwasser zum Menschen. Kleingärtner in Gebieten mit höherer Schadstoffbelastung sind somit mehreren potenziellen Belastungspfaden ausgesetzt.

Dabei kann gerade der Verzehr von Produkten aus eigenem Anbau eine –unsichtbare – Belastung darstellen: Gut gewachsenem Gemüse ist es nicht anzusehen, ob in den Pflanzen Schwermetalle angereichert sind (Abb. 3). Die bodenschutzrechtlichen Bewertungsmaßstäbe sind in Bezug auf den Wirkungspfad differenziert. So finden sich Werte für die Beurteilung der direkten Bodenaufnahme z.B. durch spielende Kinder, des Transfers vom Boden in Nahrungs- und Futterpflanzen oder der Verlagerung in das Grundwasser.

Stoffliche Belastungen von Kulturböden umfassen in Nordrhein-Westfalen meist größere Flächen. Daher scheiden übliche großtechnische Sanierungen, beispielsweise durch Abtragung des kontaminierten Bodens, in der Regel aus.

Die Maßnahmen beschränken sich oft auf Restriktionen im Hinblick auf die Flächennutzung, wie Einschränkungen oder Verbote beim Pflanzenanbau. Daher ist man auf der Suche nach alternativen Lösungen. Einen Erfolg versprechenden Ansatz stellt dabei die Inaktivierung von Schwer-

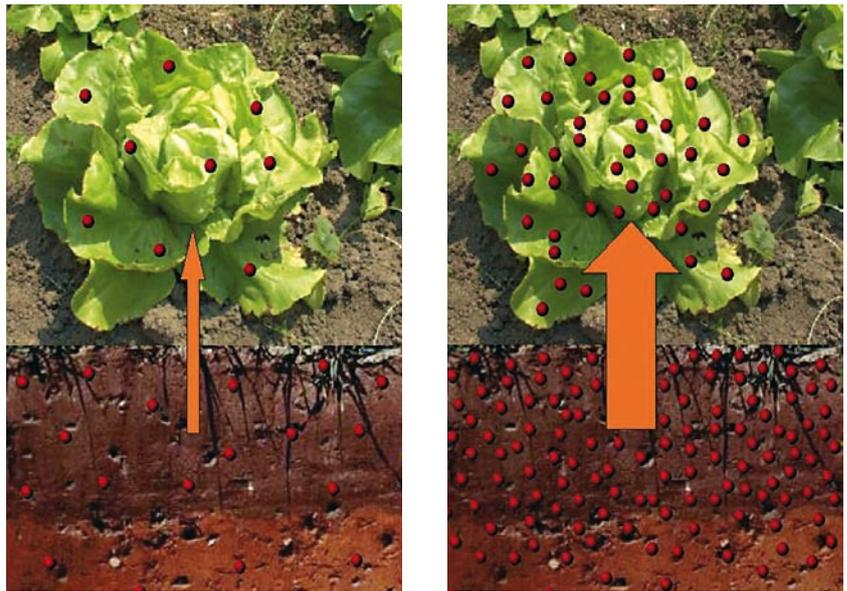


Abb. 3: Der Schein kann trügerisch sein: Auch Gemüse, das appetitlich aussieht, kann stark belastet sein.

metallen dar. Denn die Aufnahme von Schadstoffen in die Pflanzen ist nicht direkt von ihren Gesamtgehalten in den Böden abhängig, sondern von den mobilen, pflanzenverfügbaren Anteilen der Schwermetalle.

Verschiedene chemische Reaktionen steuern die Verteilung von Schwermetallen zwischen Bodenlösung und -festphase und sind somit auch für die Pflanzenverfügbarkeit verantwortlich: Eine Fällung von Schwermetallen tritt ein, wenn das chemische Löslichkeitsprodukt der entsprechenden Schwermetallverbindung überschrit-

ten wird. Die Übertragung bekannter Löslichkeitsprodukte aus wässrigen Lösungen auf den Boden ist aber nur bedingt möglich, da die physikalisch-chemischen Bedingungen in Böden sehr variabel sind.

Sorptionsreaktionen, d.h. die Anlagerung von Schwermetallen an und in Bodenpartikel, sind entscheidend für die Bindungsprozesse im Boden.

Sorptionsprozesse sind teilweise reversibel und werden deshalb in die dauerhafte, so genannte spezifische, und die weniger persistente unspezifische Sorption untergliedert. Vor

Anzeige

Value-Tec
Ingenieurgesellschaft mbH

Ickerner Straße 56a
44581 Castrop-Rauxel
Telefon 02305 9778 0
Telefax 02305 9778 13
www.value-tec.de

Value-Tec

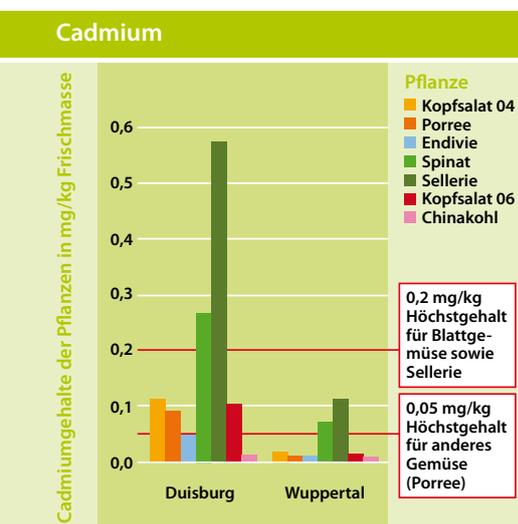
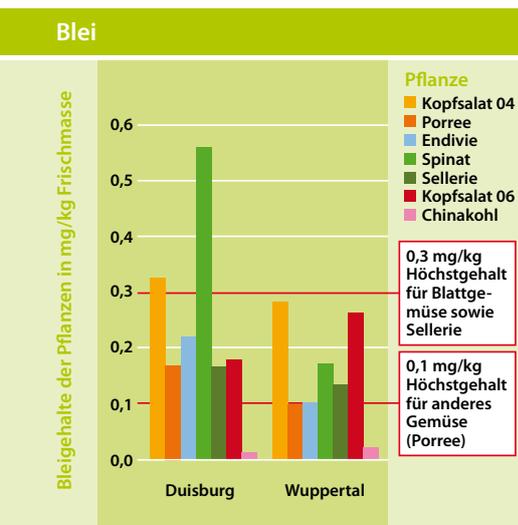


Abb. 4: Blei- (oben) und Cadmiumgehalte (unten) der Pflanzen in den Gärten ohne Zusatz von Materialien sowie die Angaben zu Höchstgehalten nach der EU-Kontaminanten-Verordnung. Alle Angaben beziehen sich auf mg Schwermetall pro kg Frischmasse.

allein die unspezifische Sorption ist stark abhängig vom pH-Wert und dem Redox-Potential in den Böden.

Der pH-Wert hat einen wesentlichen Einfluss auf die Mobilität von Schwermetallen. Im zunehmend sauren Bereich nimmt die Löslichkeit für Schwermetalle stark zu. Dabei gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Schwermetallen. Während sich bei Cadmium bereits eine Mobilisierung bei leicht saurem pH-Wert von 6,5 zeigt, wird Blei erst ab pH-Werten von 4,0 mobilisiert. Arsen zeigt hingegen ein Mobilitätsmaximum bei pH 6,5 bis 7. Der optimale pH-Wert, der bei zu sauren Böden über Kalkung erreicht werden kann, sollte also an die vorhandenen Schadstoffe angepasst werden.

Eine Komplexbildung, durch die Schwermetalle immobilisiert werden können, findet man bei organischen und anorganischen Substanzen. Es treten vor allem Komplexe zwischen Schwermetallen und organischer Substanz auf, deren starke Bindung durch funktionelle Gruppen von Fulvo- und Huminsäuren verursacht werden. Phosphat, Carbonat, Sulfat und Chlorid sind anorganische Komplexbildner. Da die Komplexe aber gerade in Gartenböden durch die hohe biologische Aktivität abgebaut werden können, eignen sich organische Zusätze nicht für die dauerhafte Fixierung von Schwermetallen in Böden. Durch bestimmte Bodenzusätze lassen sich diese verschiedenen Reaktionen im Boden beeinflussen. Zu den



Abb. 5: Metasorb® – ausgebracht vor der Einarbeitung in das Gartenbeet.

Materialien mit hohem und dauerhaftem Immobilisierungspotential gehören Tonminerale, Aluminium-Silikate wie Metasorb® und Zeolith, Phosphate, Kiesschlämme sowie Eisen-, Aluminium- oder Mangan-Oxide.

Im Rahmen eines praxisorientierten Projekts der Abteilung Bodenkunde/Bodenökologie des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität, das vom nordrhein-westfälischen Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert wird, haben wir verschiedene Materialien auf ihre Fähigkeit, Schwermetalle im Boden zu fixieren, getestet.

Für den Einsatz der Substanzen im Freiland wurden Gärten von jeweils zwei Kleingartenanlagen in Duisburg und Wuppertal ausgewählt, bei denen sowohl in den Pflanzen, als auch in den Böden erhöhte Schwermetallgehalte vorlagen (s. Abb. 4). In einer Wuppertaler Kleingartenanlage stammen die Schadstoffe vor allem aus einer unter den Gärten gelegenen ehemaligen Abfalldeponie. In Duisburg sind vor allem die Staubeinträge aus der Schwerindustrie (z.B. Zinkerzverarbeitung) für die Belastung verantwortlich.

In beiden Städten traten in den untersuchten Proben für Cadmium und Blei Überschreitungen auf (s. Tab. 1), und vor allem in Blattsalaten wie Endivie

Kleingartenanlage	Anzahl Gärten	Arsen (As)	Cadmium (Cd)	Blei (Pb)	Zink (Zn)	pH-Wert
Feierabend (Duisburg)	6	98 ± 38	41 ± 9	< 25	2360 ± 930	6,6 ± 0,1
Varresbeck (Wuppertal)	6	63 ± 5	< 2	< 25	990 ± 450	6,7 ± 0,1
PW / MW		400²	40/100¹	100¹	2000²	

* Prüf- und Maßnahmenwerte der BBodSchV im Hinblick auf:
¹ Pflanzenqualität bzw.
² Wachstumsbeeinträchtigungen

Tab. 1: „Mobile“ Stoffgehalte im Oberboden (NH₄NO₃-Extrakt) und ihre Bewertung nach BBodSchV: Alle Angaben in µg Schwermetall/Metalloid pro kg Boden (Trockenmasse).



Abb. 6: Zwei verschieden Zusatzstoffe und Kontrolle, bepflanzt mit Kopfsalat und Porree (oben) sowie Sellerieernte (rechts).



und Kopfsalat variierten die Belastungen stark. In Duisburg lagen z.B. die mittleren Cadmiumgehalte des Porrees und des Selleries über dem zulässigen Höchstgehalt. Pflanzen zeigen unterschiedlich starke Akkumulation, Wurzelgemüse lagern beispielsweise besonders viele Schadstoffe ein.

Um die Wirksamkeit verschiedener Bodenzusätze auf die Schwermetallverfügbarkeit zu prüfen, wurden zunächst rund 30 Substanzen im Labor

Blattsalat stark belastet

getestet. Bodenproben aus den Gärten wurden mit den Zusätzen versetzt und nach drei Wochen der pflanzenverfügbare Schadstoffgehalt gemessen. Die sechs Zusätze, die im Labor die besten Ergebnisse erzielten, wurden dann in den Gärten in einem dreijährigen Feldversuch eingesetzt.

Für den Feldversuch qualifizierten sich Wasserwerksschlamm (WS), der beim Kontakt von stark eisenhaltigem Grundwasser mit Sauerstoff durch die

Bildung von Eisenoxiden entsteht und deshalb bei der Trinkwasseraufbereitung in großen Mengen als Restprodukt vorliegt; Zeolith (ZEO), ein Mineral, das als Waschmittelzusatz eingesetzt wird; Metasorb® (MESO, Abb. 5), ein im Handel erhältliches Produkt, das ursprünglich bei der Kohlenrestverwertung anfiel und heute industriell hergestellt wird; Phosphat mit Kalk (P), mit dem vor allem Blei unlösliche Verbindungen bildet; TMT, ein für die Rauchgaswäsche oder zur Behandlung von metallhaltigem Abwasser eingesetztes Trinatriumsalz; Tonmehl (TON) sowie Kombinationen dieser Zusatzstoffe. Die Zusätze wurden intensiv in die obersten 30 cm der Gartenböden eingearbeitet. In jedem Garten wurde ein Teil der Fläche zur Kontrolle unbehandelt gelassen.

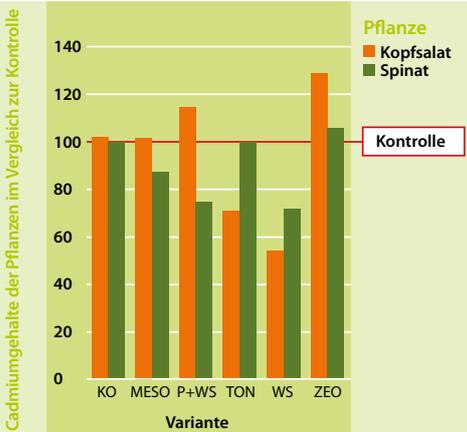
Da Pflanzen ein stoff-spezifisches Aufnahmeverhalten zeigen, wurden für die Bepflanzung ortstypische Gemüsesorten ausgewählt, von denen teilweise eine Schwermetallanreiche-

rung bekannt ist. Im Laufe der Versuchsdauer wurden zweimal Kopfsalat und je einmal Endiviensalat, Sellerie, Spinat, Porree und Chinakohl angebaut (Abb. 6). Nach der Ernte wurde das Gemüse küchenfertig aufgearbeitet und auf seine Schwermetallgehalte untersucht.

Durch die Zusätze ließ sich eine Verminderung des Schwermetalltransfers in die Pflanzen um bis zu 50 Prozent erreichen. Allerdings zeigte sich eine große Variabilität innerhalb der Varianten und nicht alle Bodenzusätze erfüllten im Freiland die in sie gesetzten Erwartungen. Beispielsweise verursachte Zeolith (ZEO) eine zusätzliche Schadstoffmobilisierung, vor allem bei Blei (Abb. 7). Für Cadmium und Blei zeigten der Zusatz Wasserwerksschlamm (WS) und Phosphat mit Wasserwerksschlamm (P+WS) relativ gute Erfolge.

Parallel zu den Untersuchungen der Pflanzen wurden zur Ernte Boden-

Cadmium



Blei

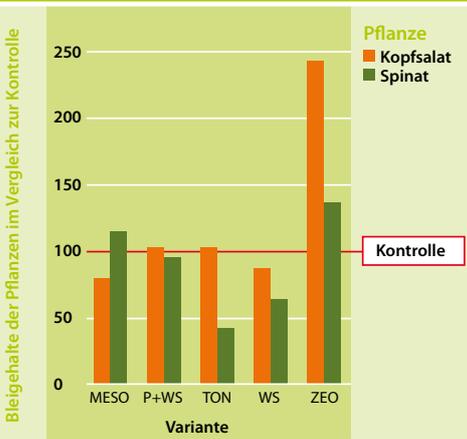


Abb. 7: Relative Cadmium- (oben) und Blei-gehalte (unten) der Pflanzen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (=100 Prozent).

Abb. 8: „Mobile“, durch Pflanzen aufnehmbare relative Cadmium- (links) und Arsengehalte (rechts) nach Zugabe verschiedener Zusätze im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

proben entnommen und analysiert, um beide Parameter miteinander in Beziehung setzen zu können. Denn die Pflanzenverfügbarkeit anorganischer Schadstoffe wird nicht nur durch die Schadstoffgesamtgehalte und die Schadstoffeigenschaften bestimmt, sondern auch durch Bodeneigenschaften wie Mineralbestand, pH-Wert und Humusgehalt.

Es zeigte sich, dass sich durch die Zusätze die Schwermetallmobilität auch im Boden um bis zu 50 Prozent verringern ließ. Allerdings fand sich eine deutlich größere Variabilität als bei den vorangegangenen Laborversuchen (s. Abb. 8). Die Zusätze Wasserwerksschlamm (WS) und Phosphat mit Metasorb® (P + MESO) verringerten die pflanzenverfügbaren Cadmiumgehalte um bis zu über 40 Prozent.

Aber nicht alle Schwermetallmobilitäten wurden gleichermaßen positiv durch die Zusätze verändert: Phosphat in dem Zusatz „P + MESO“ verursachte etwa eine Mobilisierung des Arsens im Mittel um bis zu 120 Prozent. Zink konnte hingegen durch den gleichen Zusatz um über 60 Prozent in seiner Verfügbarkeit verringert werden.

Um die Mobilität schädlicher Schwermetalle im menschlichen Körper nach der Bodenbehandlung bei direkter Aufnahme des Bodens über die Verdauung zu testen, analysierten wir zusätzlich im Labor die so genannte Resorptionsverfügbarkeit der Schwerme-

talle im Vergleich zur unbehandelten Bodenprobe. An einem künstlichen chemischen Magen-Darm-Modell (Abb. 9) konnte die potenzielle Resorptionsmenge von Schwermetallen in den unterschiedlichen Verdauungsabschnitten getestet werden. Dabei zeigte sich, dass durch die Zusätze

Im künstlichen Magen-Darm-Modell getestet

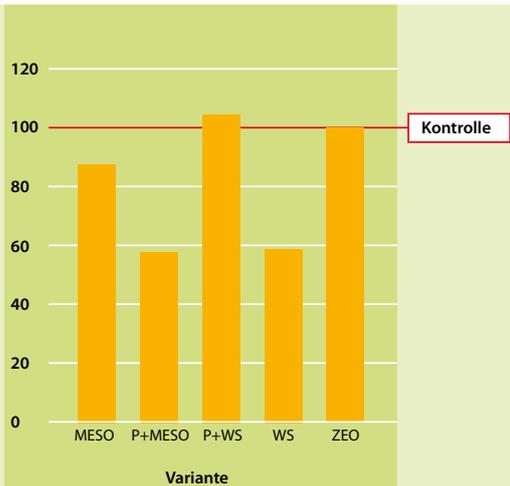
die mögliche Aufnahme von Schwermetallen über den Darm in den Körper bis zu 48 Prozent gesenkt werden konnte. In dem dargestellten Beispiel (Abb. 10) sind die im Darm resorbierbaren Gehalte, links von Cadmium und rechts von Blei dargestellt. In beiden Fällen zeigte TMT die höchste Abnahme der Resorptionsverfügbarkeit um 36 Prozent bei Cadmium und um 48 Prozent bei Blei. Aber auch Eisenoxide (FE), Metasorb® (MESO) und Wasserwerksschlamm (WSL) zeigten Verminderungen der Bleiverfügbarkeit von über 30 Prozent. Die Bindungsformen in den Böden wurden durch die Zusätze also so stark verändert, dass die Wirkung bezüglich des Direktpfads, also die orale oder dermale Aufnahme, abnahm – gute Nachrichten also für besorgte Gärtner.

Um mögliche Risiken und weitere Wirkungspfade einschätzen zu können, werden zusätzlich Untersuchungen zum Eintrag der Schwermetalle in das Grundwasser sowie zum Einfluss

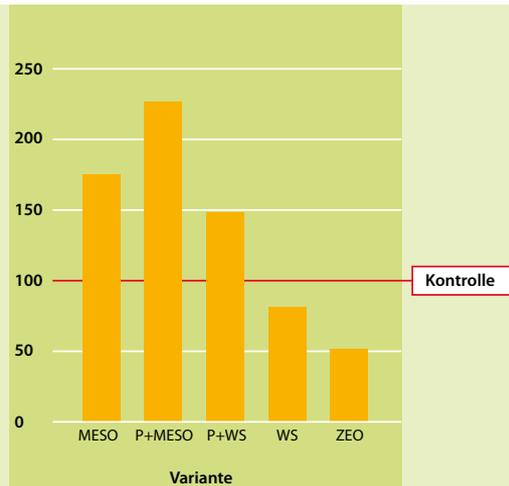
der Zusätze auf Bodenorganismen durchgeführt.

Insgesamt zeigt sich aus den bisherigen Ergebnissen, dass Möglichkeiten zur Immobilisierung von Schwermetallen durch verschiedene Zusätze durchaus gute Ergebnisse erzielen, vor allem in Bezug auf die direkte Aufnahme von Boden, etwa durch Kinder. Aber auch bei der indirekten Aufnah-

„Mobile“ Cadmiumgehalte des Bodens



„Mobile“ Arsengehalte des Bodens



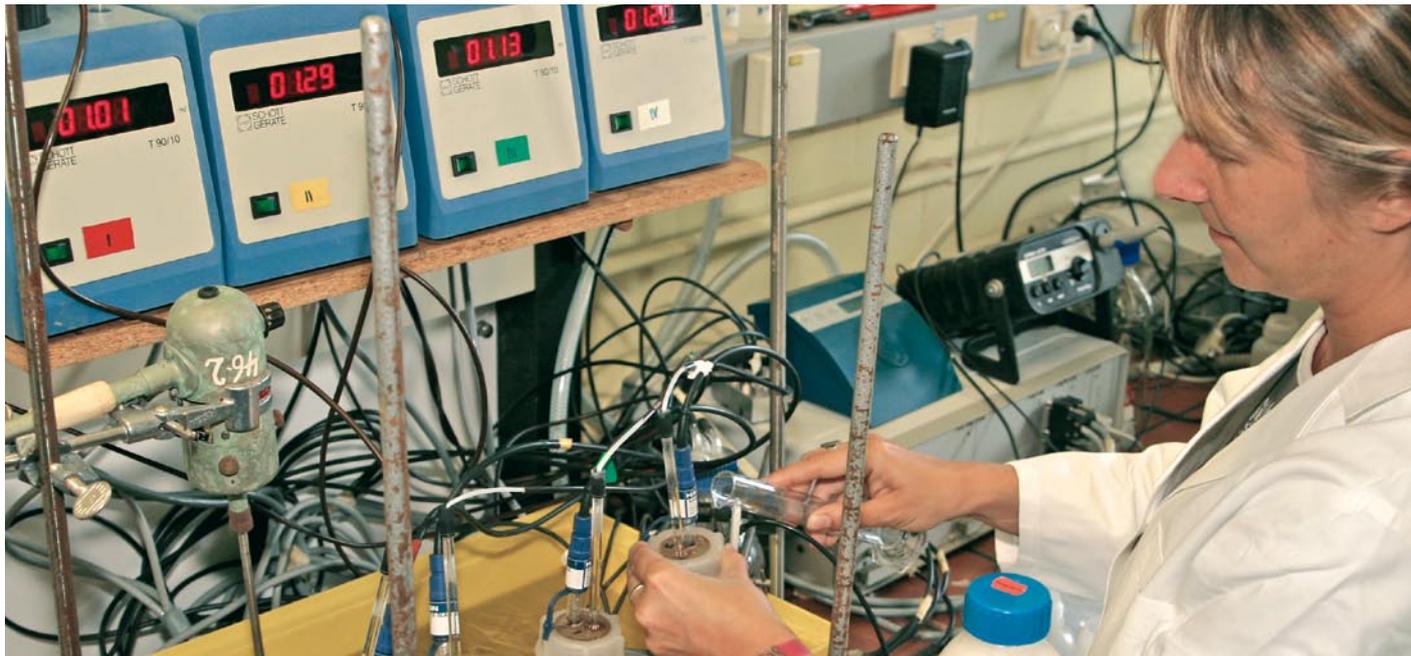


Abb. 9: Im Magen-Darm-Modell wurde die Schadstoffaufnahme über die Verdauung im Labor getestet.

me über Pflanzen können bestimmte Zusätze über mehrere Jahre hinweg zu deutlichen Verringerungen der Schwermetallgehalte führen. Als vielversprechende Zusätze erwiesen sich vor allem Wasserwerksschlamm und TMT. Nach abschließender Auswertung der Daten und Diskussionen mit Betroffenen, Herstellern und den verantwortlichen Umweltbehörden wird sich zeigen, ob es zur Weiterentwicklung dieser potenziellen Immobilisierungsprodukte zur Praxisreife und damit zur Verfügbarkeit im Handel kommen wird. Zurzeit kann sich zwar theoretisch jeder an ein Wasserwerk wen-

den und dort nach den anfallenden Schlämmen fragen, allerdings liegen sie dort meist mit sehr hohem Wassergehalt vor, der Transport und Einarbeitung erschwert. Des Weiteren muss man die örtlichen Schwermetallgehalte des Wasserwerksschlammes berücksichtigen, damit man keine zusätzliche Belastung seines Gartenbodens verursacht. In jedem Fall wird es weiterhin notwendig sein, die Standorteigenschaften und die örtliche Belastungssituation bei der Wahl eines geeigneten Bodenzusatzes zu berücksichtigen, da nicht jeder Zusatz auf jedes Schwer-

metall und die Akkumulation im Gemüse die gleiche Wirkung zeigt. Optimal angepasste Zusätze sind auch für andere Anwendungen interessant, z.B. auf landwirtschaftlichen Flächen.

Prof. Dr. Bernd Marschner, Dipl. Geogr. Rita Haag, Dr. Ingo Müller, Geographisches Institut, Bodenkunde und Bodenökologie

Abb. 10: Im Darm resorbierbare relative Cadmium- (links) und Blei- (rechts) von behandelten Böden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Mittelwerte).

