Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 106 (1988)
Heft: 14

Artikel: Schadstoffe im Boden
Autor: Häni, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85680

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

- Absaugen (vor allem von leicht flüchtigen Stoffen durch Vakuum)
- Biologischer Abbau:
  - Förderung vorhandener Mikroben
  - Zufügen von fremden Mikroben
- Entzug durch «schadstoffliebende» Pflanzen

On site:
- Deponie (direkt)
- Deponie nach Verfestigung
- Deponie mit Abdichtung
- Fixieren der Schadstoffe (Bindemittel)
- Extraktion
- Hydraulische Massnahmen (auspressen)
- Auswaschungen (evtl. Wasser unter Druck)
- Thermische Behandlung (leichtflüchtige Stoffe)
- Biologischer Abbau (Mikrobielle Reinigung mit selektierten und adaptierten Mikroben mit dem Prinzip eines Bioreaktors)

Die meisten der aufgeführten Verfahren der Bodendekontaminationen existieren verfahrenstechnisch erst in Ansätzen, Pilotprojekten oder gar nur als Ideen. Auch wenn die Liste eine recht reichhaltige Palette von Möglichkeiten aufzeigt, darf sie nicht vortäuschen, dass man die Probleme der Bodenreinigung in Zukunft im Griff hat. Hier liegt noch ein weites, unbearbeitetes Feld von praxisbezogener Forschung und möglichen Verfahrenstechniken.

Zur paktischen Verwirklichung des umfassenden Bodenschutzes

Das quantitative «Bodenbewusstsein» ist schon - auch wenn in den Auswirkungen nicht sehr erfolgreich - um einige Jahre älter als das qualitative. Dieses wurde spätestens mit der Erkenntnis des Waldsterbens ausgelöst oder stark gefördert. Daraus erwuchsen das Nationale Forschungsprogramm Boden und andere positive Aktivitäten in Richtung umfassendem Bodenschutz. Langfristig vielleicht die nachhaltigsten Wirkungen wird der Erlass der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) 1986 haben, obschon dieses Papier nur auf einen engen - wenn auch aktuell brennenden - Bereich des chemischen Bodenschutzes ausgerichtet ist. In der VSBo wird aber implizit von den Kantonen verlangt, dass sie Stellen bestimmen, bezw. neu schaffen, die sich mit dem Bodenschutz befassen. Dies ist in der Zwischenzeit bereits in einigen Kantonen geschehen. Diese Fachstellen, Umweltschutz- und anderen Ämter bauen nun ihre kantonalen Beobachtungsnetze in Zusammenarbeit mit dem Bund auf und fühlen täglich den Puls der Bodenprobleme in der Schweiz. Dadurch und vor allem gestützt auf die bald zur Verfügung stehenden Messdaten dürfte in naher Zukunft im Bodenschutz noch einiges mehr ausgelöst werden, als dies in der VSBo vorgesehen ist.

Dabei wird nicht nur eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener Berufsgruppen nötig sein, sondern die Koordination zwischen Bodenbewirtschaftern im weitesten Sinn, Politikern auf allen Ebenen, Verwaltung und Forschung dürfte für die Umsetzung und den Vollzug eines wirkungsvollen, umfassenden Bodenschutzes von ausschlaggebender Bedeutung werden.

Auf der Ausbildungsseite zeichnen sich ermutigende Tendenzen ab (Studien der Umweltwissenschaften und des Umweltingenieurs an der ETH in Zürich u. a.), die bis zu den untersten Stufen reichen (Umwelterziehung in der Primarschule), und dies aber auch tun müssen. Denn Bodenschutz, Luftreinhaltung, eine Stoffverordnung oder Abfallkonzepte sind zwar gut, sie werden aber bedeutend besser und sicher erst dann voll wirksam, wenn eine in der breitesten Bevölkerung abgestützte, geänderte, menschliche Mentalität dahintersteht. Umfassender Bodenschutz beginnt bei jedem einzelnen, wenn er sich bewusst wird, dass er mit praktisch allen seinen Aktivitäten, Bedürfnissen und - oft unnötigen? - Wünschen Boden beansprucht, braucht, verschmutzt und verbraucht.

Adresse des Verfassers: Dr. *F. Zollinger*, dipl. Kulturing. ETH, Fachstelle für Bodenschutz, Walchetor, 8090 Zürich.

Schadstoffe im Boden

Unter Schadstoffen werden nachfolgend natürliche oder künstliche Stoffe verstanden, welche die Fruchtbarkeit des Bodens beeinträchtigen können. Dazu gehören namentlich Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink etc.) und organische Schadstoffe (bspw. chlorierte Kohlenwasserstoffe). Diese Stoffe sind nicht oder nur schwer abbaubar und reichern sich somit im Boden an. Ein einmal verschmutzter Boden kann - im Gegensatz zu Luft und Wasser - nicht mehr gereinigt weden.

Hauptursachen der Schadstoffbelastung

Umverteilungen sind bei den natürlich vorkommenden Schwermetallen der Grund für ihre Anreicherungen am Ort

VON H. HÄNI, LIEBEFELD

der Verarbeitung: Aus konzentrierten Lagerstätten werden die Erze, aus denen Werk- und Wirkstoffe gewonnen werden, entnommen. Bild 1 zeigt, dass die globale Produktion des Cadmiums seit 1920 stark zugenommen hat, was mit einer gewissen Verzögerung zu Gehaltszunahmen im Gletschereis (als Indikator der globalen Belastung) und im Sediment des Greifensees (als Indikator einer regionalen Belastung) geführt hat. Aus dem Anstieg der Cadmiumgehalte im Weizenkorn erkennt man, dass auch die Pflanzen auf die erhöhte Belastung reagieren (*Brunner* und *Baccini*, 1981).

Die Schadstoffe gelangen aus der *Luft* oder durch die *Bewirtschaftung* in den Boden. Für den Eintrag aus der Atmosphäre sind vor allem metallverarbeitende Betriebe, Industrie- und Hausfeuerungen, Kehrichtverbrennungsanlagen (chlorierte Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle) sowie der Kraftfahrzeugverkehr (Blei) verantwortlich. Bei der Bewirtschaftung steht die Anwendung von Hof- (Zink, Kupfer) und Handelsdüngern (Cadmium, Chrom, Vanadium), Klärschlamm und Müllkompost (Schwermetalle, organische Schadstoffe) sowie Pestiziden (bspw. Kupfer im Rebbau) im Vordergrund.

Tabelle 1 enthält grobe Schätzungen des mittleren jährlichen Eintrages von Cadmium aus den verschiedenen Quellen in die landwirtschaftlich genutzten Böden der Schweiz (Bundesamt für Umweltschutz, 1984).

Tabelle 1. Jährlicher mittlerer Eintrag von Cadmium in die landwirtschaftlich genutzten Böden der Schweiz

Eintrag aus	*g/ha·a*
Atmosphäre	4
Hofdünger	2
Handelsdünger	2
Klärschlamm	1,7
Müllkompost	0,5

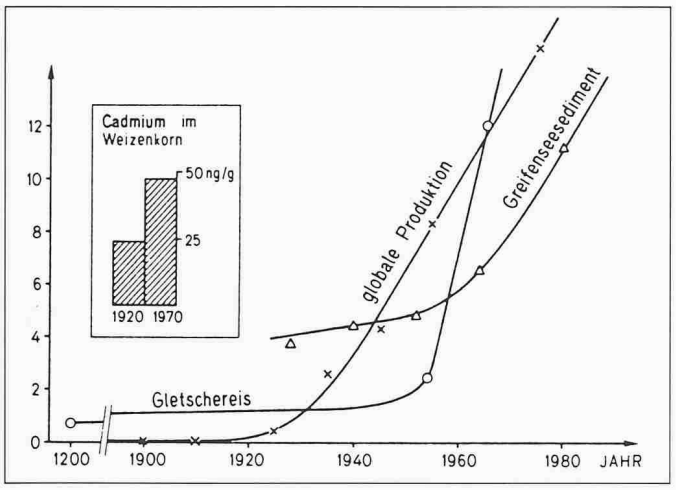


Bild 1. Cadmiumproduktion und -konzentration in Funktion der Zeit. Globale Cd-Produktion in 10^3 t/Jahr; Gletschereis in µg/kg; Sediment (Greifensee) in mg/kg; Weizenkörner in µg/kg

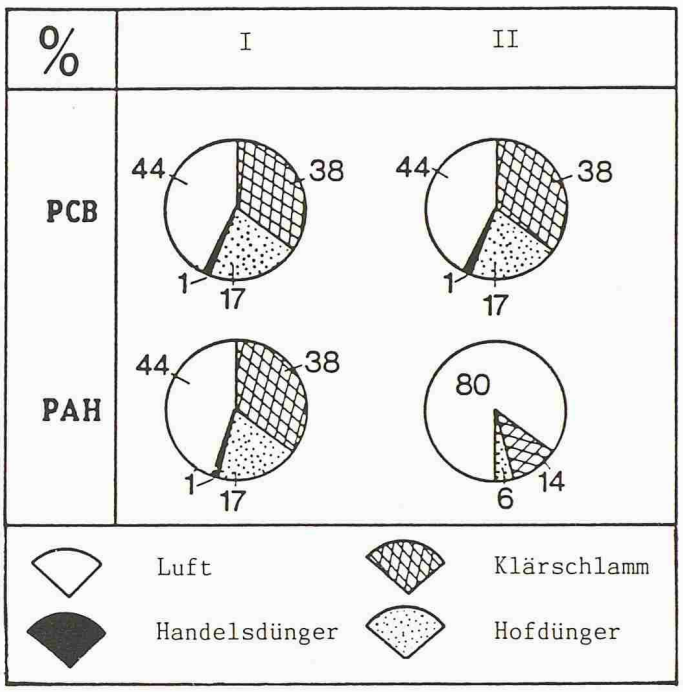
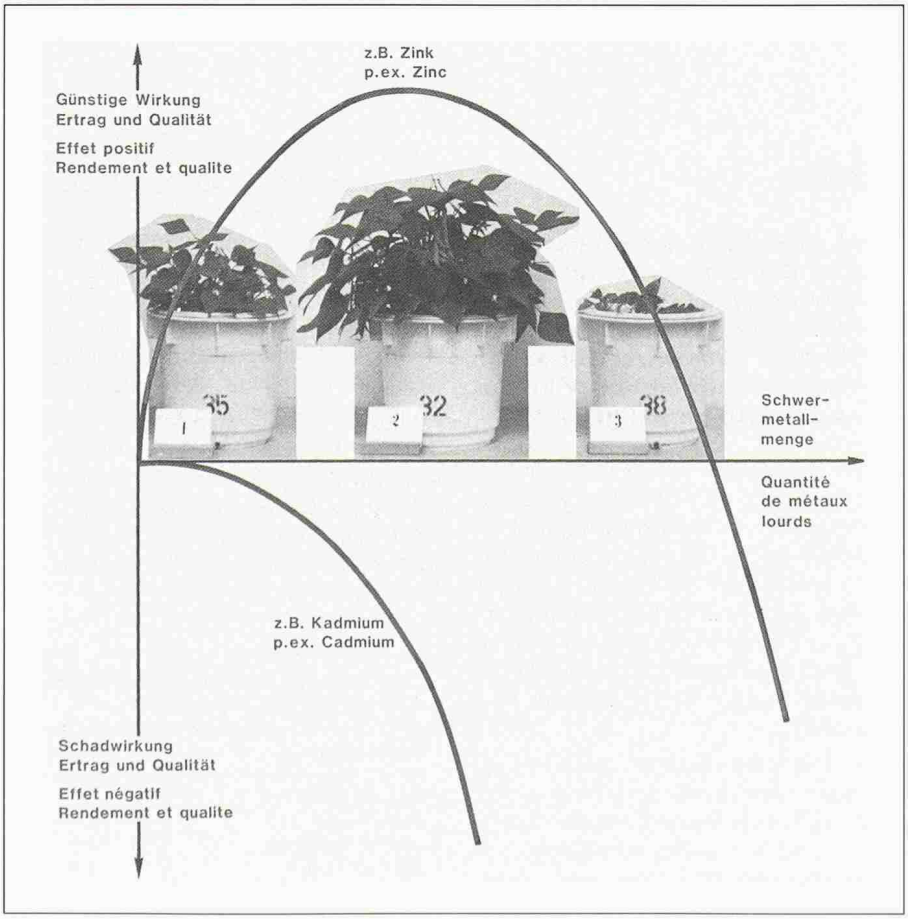


Bild 2. Prozentualer Eintrag von PCB und PAH aus verschiedenen Quellen in den Boden

In der Schweiz sind Fälle bekannt, wo die Bodengehalte für ein oder mehrere Schwermetall(e) 10–100mal höher sind als die natürlichen Gehalte. Der prozentuale Anteil derartiger Flächen dürfte nicht allzu gross sein. Ein genaueres Bild lässt sich jedoch nur durch intensivierte Messungen erhalten. Gemäss neuesten Ergebnissen ist allerdings die Befürchtung, die Zahl belasteter Flächen könnte grösser sein als ursprünglich angenommen, nicht ganz unbegründet.

Was den Eintrag organischer Schadstoffe anbetrifft, sei auf Bild 2 aus einem kürzlich abgeschlossenen Nationalfondsprojekt verwiesen, worin eine Schätzung für die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) und polychlorierten Biphenyle (PCB) vorgenommen wurde (*Diercxens* et al. 1987).

Bild 3. Beeinflussung von Ertrag und Qualität durch Schwermetalle



Auswirkungen erhöhter Schwermetallgehalte im Boden

Einige Schwermetalle (z. B. Kupfer und Zink) sind Spurenelemente, d. h. diese Elemente sind in geringen Konzentrationen für das Pflanzenwachstum notwendig. Andere Schwermetalle (wie Blei, Cadmium und Quecksilber) haben überhaupt keine positive Wirkung. Bei höheren Konzentrationen zeigen alle Schwermetalle – ob Spurenelemente oder nicht – negative Wirkungen (s. Bild 3 aus: Boden, bedrohte Lebensgrundlage? Sauerländer, 1985).

Die lösliche und damit wirksame Schwermetallkonzentration hängt von den Bodeneigenschaften ab. Neutrale bis schwach alkalische Böden (pH 6,5–7,5) mit ausreichendem Ton-, Humus- und Oxidgehalt binden Schwermetalle wesentlich besser als saure Sandböden. Pflanzen, die auf solchen Böden wachsen, werden also bereits bei viel geringeren Totalgehalten geschädigt als Pflanzen, die auf gut bindenden Böden gezogen werden.

Neutrale Salzlösungen (z. B. o,1M $NaNo_3$) haben sich am besten bewährt, eine zum Pflanzengehalt in Beziehung stehende Schwermetallmenge aus den Böden zu extrahieren. Bild 4 dokumentiert diesen Befund anhand der Abhängigkeit des Cadmiumgehaltes in Ret-

tichblättern von der aus 12 Böden verschiedener Eigenschaften mit o,1M $NaNO_3$ extrahierten Cadmiummenge (*Häni* und *Gupta*, 1984).

Besondere Beachtung verdient die unterschiedliche Pflanzenreaktion auf gleiche lösliche Bodengehalte. So stellten Davis und Carlton-Smith (1980) Metallgehalte in verschiedenen Pflanzen, die auf einem belasteten Boden gewachsen waren, zusammen. Danach wiesen bspw. Tabakblätter einen zwölfmal höheren Cadmiumgehalt auf als Maisblätter.

Je geringer die Schwermetalle im Boden festgehalten werden, desto grösser ist ihre Mobilität oder Beweglichkeit. Mobile Schwermetalle besitzen nicht nur eine erhöhte Pflanzenverfügbarkeit, sie unterliegen auch einer erhöhten Auswaschungsgefahr. Bild 5 zeigt, dass Zink in einem stark belasteten sauren Boden bis in Tiefen von 60 cm eingewaschen wird (ersichtlich am erhöhten löslichen Gehalt). Gleichzeitig erkennt man aus der vergleichsweise geringen Mobilität des Kupfers, dass die Bindungsfestigkeit neben den Bodeneigenschaften auch von der Art des Schwermetalls abhängt (Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 1987). Für die Schwermetalle Cadmium, Nickel, Zink, Kupfer und Blei nimmt die Mobilität in der Reihenfolge ihrer Aufzählung ab.

Ähnlich wie Pflanzen reagieren auch die Bodenmikroorganismen auf die löslichen Metallkonzentrationen in der Bodenlösung. Für die Elemente Blei, Cadmium, Nickel und Zink dürften die Pflanzen am empfindlichsten reagieren, während beim Kupfer die Bodenmikroorganismen vor der Pflanzenschädigung beeinträchtigt werden. So wurde bei einem löslichen Gehalt von 0,5 ppm (Richtwert gemäss Verordnung über Schadstoffgehalte des Bodens 0,7 ppm, s. «Massnahmen») bereits eine Bodenatmungshemmung von 20% beobachtet (*Stadelmann* und *Santschi-Fuhrimann*, 1987).

Ein Boden, in dem die biologischen Prozesse gestört sind, ist in seiner Fähigkeit, abgestorbene Lebewesen pflanzlicher und tierischer Herkunft in Humus umzuwandeln, wesentlich beeinträchtigt. Dies wirkt sich ungünstig auf die Bodenstruktur aus. Zudem erfolgt der Abbau organischer Schadstoffe in einem Boden geringer biologischer Aktivität viel langsamer als in einem Boden ungestörter biologischer Aktivität.

Auswirkungen organischer synthetischer Schadstoffe

Im Gegensatz zu den Schwermetallen ist über die Wirkungen organischer Schadstoffe nocht recht wenig bekannt. In neuester Zeit beschäftigten sich verschiedene Autoren mit dem Abbauverhalten dieser Stoffe im Boden. Nach *Giger* et al. (1987) werden die Tenside, die über den Klärschlamm in den Boden gelangen, relativ rasch abgebaut. So konnte während der Vegetationszeit in der obersten Bodenschicht (0–5 cm) einer Parzelle, die seit 10 Jahren mit 5 t organischer Faulschlammsubstanz pro Hektare und Jahr gedüngt wurde, 100 Tage nach der letztmaligen Klärschlammgabe ein 90%iger Abbau der linearen Alkylbenzolsulfonate (LAS), Nonylphenol (NP), Nonylphenolmonoethoxylat (NP IEO) und Nonylphenoldiethoxylat (NP 2EO) festgestellt werden. Es wird allerdings darauf hingewiesen, dass wegen der hohen Gehalte

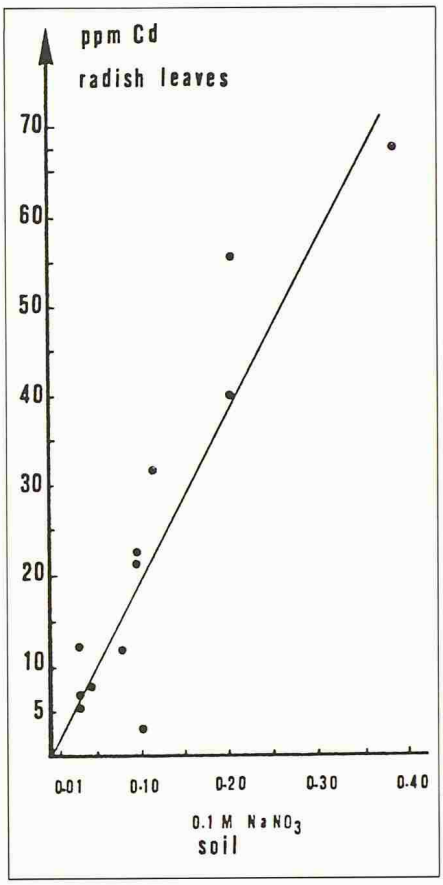
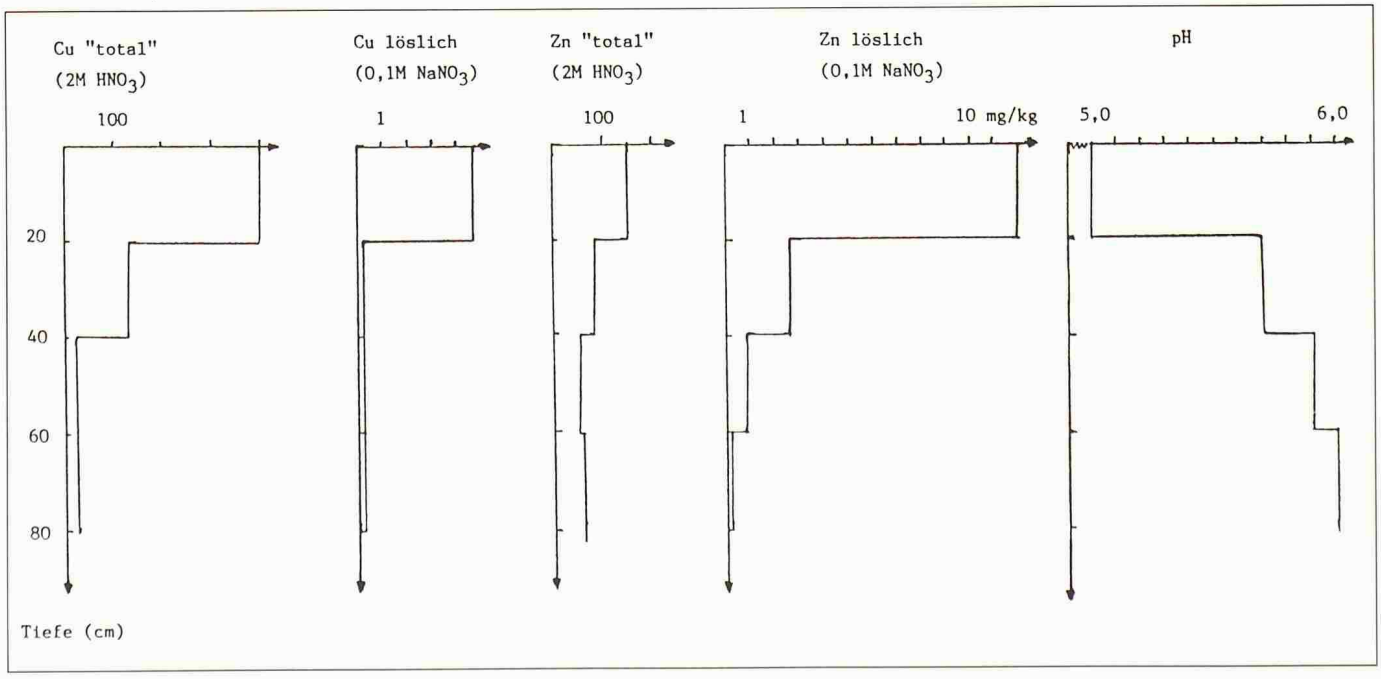


Bild 4. Pflanzengehalt von Cadmium in Abhängigkeit des auf 12 verschiedenen Böden mit 0,1M $NaNo_3$ extrahierten Cadmiums

Bild 5. Verteilung von totalem sowie löslichem Kupfer und Zink im Profil eines belasteten sauren Bodens (pH innerhalb des Profils von 5,0 bis 6,0)



von NP und LAS im Klärschlamm sich die Bodengehalte immer noch im ppm-Bereich bewegen. Zudem sei die ökotoxikologische Bedeutung der Restkonzentrationen von NP und LAS zurzeit noch unklar.

Demirjian et al. (1987) untersuchten eine ganze Reihe organischer Schadstoffe im Klärschlamm (N-Verbindungen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Säuren u. a.). Die Autoren wiesen bei einer Klärschlammgabe von 25 T TS/ha.a einen mehr als 50%igen Abbau der meisten dieser Substanzen während einer Vegetationsperiode nach. Sie folgern, dass vom Gesichtspunkt einer Bodenbelastung mit organischen Schadstoffen eine jährliche Gabe in dieser Grössenordnung sicher zu sein scheine, sofern der Boden fortlaufend überwacht werde. Gemäss Klärschlammverordnung (1981) ist die maximale jährliche Gabe bekanntlich auf 2,5 t TS pro Hektare begrenzt.

Die Erkenntnis, dass diese Stoffe im Boden allmählich verschwinden, genügt allein nicht. Man müsste mehr über die beim Abbau entstehenden Umwandlungsprodukte (Metalbolite) wissen. So ist es immerhin beunruhigend, dass von den rund 5000 potentiell toxischen Substanzen nur einige näher untersucht sind. Wertvoll ist der Hinweis von *Demirjin* et al. (1987), wonach vermehrt versucht werden sollte, aus der chemischen Struktur einer Substanz Ideen über ihre möglichen Umwandlungen im Boden zu entwickeln. Solche Hypothesen wären dann gezielt mit Hilfe analytischer Methoden zu überprüfen.

Die Aufnahme organischer Schadstoffe über die Wurzeln in oberirdische Pflanzenteile scheint eher unwahrscheinlich. Hingegen wurde für polychlorierte Biphenyle (PCB), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Diethylhexylphtalate (DEHP) eine Anreicherung in den Wurzeln (Ad- oder Absorption?) festgestellt (*Diercxens* et al. 1987).

Neben dem indirekten Eintrag organischer Schadstoffe über die Siedlungsabfälle ist der direkte durch die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Biozide) zu erwähnen. Gemäss *Scheffer/Schachtschabel* (1982) lässt sich für die einzelnen Biozidgruppen die folgende Reihe abnehmender Persistenz (Zeiten für einen 75–100%igen Abbau) angeben:

- Chlorierte Kohlenwasserstoffe 2–5 Jahre
- Harnstoffderivate, s-Triazin 2–18 Monate
- Carbamate
- P-Ester 2–12 Wochen

Im Zusammenhang mit Bioziden wird häufig auf ungünstige Veränderungen in der Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulation im Boden sowie auf mögliche Hemmungen der Aktivität der Bodenlebewesen hingewiesen (*Desaules* et al. 1984).

Die Möglichkeit der Auswaschung von Bioziden (Grundwasserkontamination) kann aus ihrer Mobilität, die nach *Scheffer/Schachtschabel* (1982) mittel bis gering ist, abgeschätzt werden. Allerdings bestehen im einzelnen grosse Unterschiede, indem Stoffe mit Säurecharakter (z. B. Pichloran) am mobilsten, Phenylharnstoffe (z. B. Linuron) und s-Triazin (z. B. Simazin) mittel mobil und chlorierte Kohlenwasserstoffe (z. B. Lindan) und P-Ester (z.B. Parathion) wenig mobil sind.

Massnahmen

Im Verlaufe der Zeit wurden verschiedene gesetzliche Massnahmen, die für den qualitativen Bodenschutz von grosser Wichtigkeit sind, beschlossen:

- Verordnung über den Verkehr mit landwirtschaftlichen Hilfsstoffen vom 4. 2. 55 (Bewilligungsverfahren für landwirtschaftliche Hilfsstoffe)
- Giftgesetz vom 21. 3. 69 (Unschädlichmachen von Giften, ohne den Boden zu verunreinigen)
- Verordnung über verbotene giftige Stoffe vom 23. 12. 71 (vollständiges bzw. teilweises Verbot der Verwendung von Arsen, Blei, Quecksilber, Thallium sowie von verschiedenen schwer abbaubaren organischen Schadstoffen)
- Klärschlammverordnung vom 8. 4. 81 (Festlegen von Grenzwerten für Schwermetalle im Klärschlamm)
- Umweltschutzgesetz vom 1. 1. 85
  - Luftreinhalteverordnung (Festlegen von Emissions- sowie Immissionsgrenzwerten für eine ganze Reihe von Schadstoffen)
  - Stoffverordnung (Umweltverträglichkeitsprüfung; Qualitätsanforderungen an Dünger und düngerähnliche Stoffe sowie an Komposte; Verbot problematischer Stoffe wie Octyl- und Nonylphenolethoxylaten in Textilwaschmitteln, polychlorierte Biphenyle, Pentachlorphenole, Hexachlorbenzole)
  - Verordnung über Schadstoffe im Boden (Festlegen von Richtwerten für 10 Schwermetalle und Fluor im Boden)

Kurz- bis mittelfristig weisen die erwähnten gesetzlichen Massnahmen zur Reduktion des Schadstoffeintrages in den Boden in die richtige Richtung. Längerfristig wird jedoch der Schadstoffflut nur durch eine drastische Reduktion des Verbrauches an Energie, Rohstoffen und Chemikalien zu begegnen sein. Auch die Landwirtschaft ist herausgefordert, wieder zu lernen, mit weniger Energie und Chemie zu produzieren.

Adresse des Verfassers: Dr. *H. Häni*, Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 3097 Liebefeld.

Literatur

Boden – bedrohte Lebensgrundlage? Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz. Verlag Sauerländer (1985)

Brunner, P. und *Baccini, P.*: Die Schwermetalle, Sorgenkinder der Entsorgung? Neue Zürcher Zeitung, Beilage Forschung und Technik, 70 (1981)

Bundesamt für Umweltschutz: Cadmium in der Schweiz. Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 32 (1984)

Davis, R. D. and *Carlton-Smith, C.*: Crops as indicators of the significance of contamination of soil by heavy metals. Technical Report 140, Stevenage Laboratory Water Research Centre (1980)

Demirjian, Y. A. Joshi, A. M. Westman, T. R.: Fate of organic compounds in land application of contaminated municipal sludge. Journal WPCF, Volume 59, 32–38 (1987)

Desaules, A. Candinas, A. und *Schneider, M.*: Bericht über die Belastung der Böden mit Schadstoffen in der Schweiz. Pilotprojekt 3, Nationales Forschungsprogramm «Boden», Bern (1984)

Diercxens, Ph. Wegmann, M. Daniel, R. Häni, H. Tarradellas, J.: Apport par les boues d'épuration de micro polluants organiques dans les sols et les cultures. Gas, Wasser, Abwasser Nr. 3, 123–132 (1987)

Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld: Tätigkeitsbericht 1985/86 (1987)

Giger, W. Brunner, P. Ahel, M. Mc Evoy, J. Marcomini, A. Schaffner, Chr.: Organische Waschmittelinhaltstoffe und deren Abbauprodukte im Abwasser und Klärschlamm. Gas, Wasser, Abwasser Nr. 3, 111–122 (1987)

Häni, H. and Gupta, S. K.: Reasons to use neutral salt solutions to assess the metal impact on plant and soils. In Proceedings of a Seminar, organized at Münster (Eds. Leschber, R. Davis, R. D. and L'Hermite, P.) Elsevier Applied Science Publishers, London, 42–48 (1984)

Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart (1982)

Stadelmann, F. X. und *Santschi-Fuhrimann, E.*: Beitrag zur Abstützung von Schwermetallrichtwerten im Boden mit Hilfe von Bodenatmungsmessungen. Schlussbericht zum Projektauftrag Nr. 319.158 des Bundesamtes für Umweltschutz (1987)