

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural  
**Band:** 83 (1985)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Erhaltung eines gesunden Bodens  
**Autor:** Furrer, O.J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-232584>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 17.11.2024

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

# Erhaltung eines gesunden Bodens

O. J. Furrer

Die Fruchtbarkeit des Bodens ist bedroht durch Bodenverdichtung, humuszehrende Fruchtfolgen, saure Niederschläge und eine Flut von Schadstoffen. Besonders die Schwermetalle, die sich zunehmend im Boden anreichern, können auf lange Sicht Schäden verursachen, die nicht wieder gutgemacht werden können. Massnahmen zum Schutze des Bodens sind dringend.

*La fertilité des sols est menacée par la compression de ceux-ci, par la rotation de cultures à bilan d'humus négatif, par les précipitations acides et par un grand apport de substances toxiques. Les métaux lourds, particulièrement, par leur accumulation croissante dans les sols peuvent, à longue échéance, causer des dommages presque irréparables. Il est donc urgent de prendre des dispositions pour protéger nos sols.*

## 1. Einleitung

Der Boden ist ein wichtiges, zentrales Element unserer Umwelt. Seine Bedeutung ist vielfältig:

- Der Boden ist Standort für die Pflanzen, ist das Medium, in welchem sie ihre Wurzeln entwickeln.
- Der Boden ist ein Speicher für Wasser und Nährstoffe und als solcher eine wichtige Grundlage für das Pflanzenwachstum.
- Der Boden ist Lebensraum für eine riesige Zahl und Vielfalt von Bodenlebewesen: Bakterien, Pilze, Algen, Bodentiere.
- Der Boden ist das Milieu, wo Rückstände von Pflanzen, Ausscheidungen der Tiere und viele Abfälle umgesetzt werden in wertvolle Bestandteile des Bodens und hochwertige Nährstoffe für die Pflanzen.
- Der Boden ist ein wirksamer Wasserfilter und als solcher eine wichtige Voraussetzung für gutes Trinkwasser.
- Der Boden ist auch ein guter Schadstoff-Filter. Organische Chemikalien werden abgebaut, Schwermetalle ausgefiltert, fixiert.

Bei allen Funktionen des Bodens spielen die Bodenlebewesen eine wichtige Rolle. Es gibt kaum ein Medium, in welchem eine so grosse Vielfalt und Zahl von Lebewesen vorhanden ist wie im Boden. In einer Handvoll Erde sind mehr Lebewesen vorhanden, als es Menschen gibt auf der ganzen Welt. Leider wird dieser lebende Boden zunehmend bedroht durch eine steil ansteigende Flut von Schadstoffen.

## 2. Bedrohliche Schadstoff-Flut

Die letzten 30 Jahre brachten eine beispiellose technische und wirtschaftliche Expansion, gekennzeichnet durch einen verschwenderischen Verbrauch der Energie- und Rohstoffreserven. Zur Illustration dieser Entwicklung diene der Energieverbrauch, der dabei eine bestimmende zentrale Stellung einnimmt und viel zur Umweltbelastung beiträgt.

In Abbildung 1 ist der Energieverbrauch der Schweiz in einem grösseren Zeitmassstab dargestellt. Die Steilheit und das enorme Ausmass der Zunahme des Energieverbrauchs ist frappant und zugleich bedrohlich. Es ist erstaunlich, dass diese Kurve zusammen mit der Ölkrise und angesichts der rasch zur Neige gehenden Ölreserven uns nicht stärker zum Nachdenken und zum Handeln, d. h. zum Sparen veranlasst hat.

Ähnliche Kurven ergeben auch der Cadmiumverbrauch, die Produktion von Herbiziden, die Zahl der synthetisierten chemischen Verbindungen usw.

Die Kehrseite dieser Entwicklung ist eine Flut von Schadstoffen. Als Nebenprodukt der masslosen Aktivität des Menschen entstehen riesige Mengen an Abfällen, die die ganze Umwelt belasten. Die Schädlichkeit der Schadstoffe ist eine Frage der Konzentration, der Dosis, des Masses. Wenn wir die Kurve in Abbildung 1 betrachten, müssen wir feststellen, dass wir jedes Mass gründlich verloren haben.

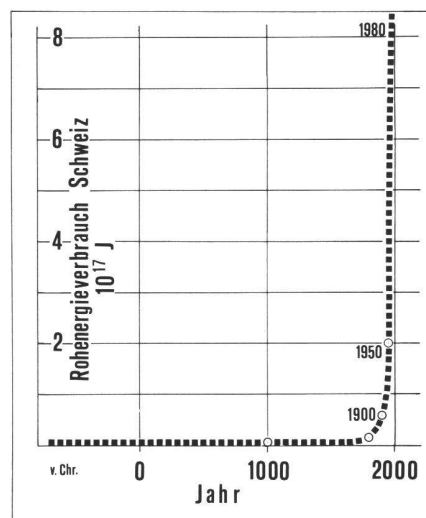


Abb.1 Rohenergieverbrauch der Schweiz in Joules

Bedrohlich ist nicht nur die enorme Menge, sondern auch die Vielfalt der Schadstoffe. Nach Schätzungen der OECD sind gegenwärtig um die 60 000 Chemikalien im täglichen Gebrauch. Und diese Zahl steigt ständig um 1000 bis 1500 neue Substanzen jedes Jahr weiter an.

Quellen für Schadstoffe gibt es sehr viele. Die wichtigsten lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

- Die Atmosphäre. Luft und Regen sind zunehmend belastet durch eine Vielzahl von Schadstoffen: Säuren, Schwermetalle, organische Verbindungen. Sie stammen vor allem aus Industrie, Autoabgasen, Heizung, Kehrlichtverbrennung.
- Abfallstoffe, wie Klärschlamm, Müllkompost: unvernünftigerweise werden Giftstoffe aus Haushalt und Industrie ins Abwasser und in den Kehrlicht geworfen.
- In zunehmendem Masse verwendet auch die Landwirtschaft Chemikalien: Pestizide, Futterzusätze, Dünger, Güllezusätze usw.

## 2.1 Schwermetalle

Schwermetalle sind eine sehr wichtige Gruppe von Schadstoffen. Man zählt zu ihnen die Metalle mit einer Dichte von wenigstens 4 g/cm<sup>3</sup>. Vom biologischen Standpunkt aus werden sie in zwei Hauptgruppen unterteilt:

A) Lebensnotwendige Elemente, auch Spurenelemente oder Mikronährstoffe genannt. Sie sind in kleinen (mikro) Mengen (Spuren) lebensnotwendig. Wenn sie in zu knapper Konzentration vorhanden sind, treten Mangelerscheinungen auf: Mangelbereich. Andererseits wirken sie toxisch (giftig), wenn sie in zu grossen Mengen, in zu hohen Konzentrationen auftreten: Toxischer Bereich. Zwischen diesen beiden unerwünschten Bereichen liegt die Zone einer günstigen Spurenelement-Versorgung, die gewünschte, für die Lebewesen optimale Konzentration (Abb. 2A).

B) Nicht lebensnotwendige, ab einer gewissen Konzentration toxisch wirkende Metalle, wie Cadmium (Cd), Blei (Pb) und Quecksilber (Hg). Hier werden zwei Bereiche unterschieden: ein indifferenter Konzentrationsbereich, wo die Anwesenheit dieser Elemente von den Lebewesen ertragen wird, wo noch keine Schädigung auftritt, und ein toxischer Bereich, wo Schäden auftreten, das Wachstum mehr oder weniger gestört wird oder die Lebewesen absterben (Abb. 2B).

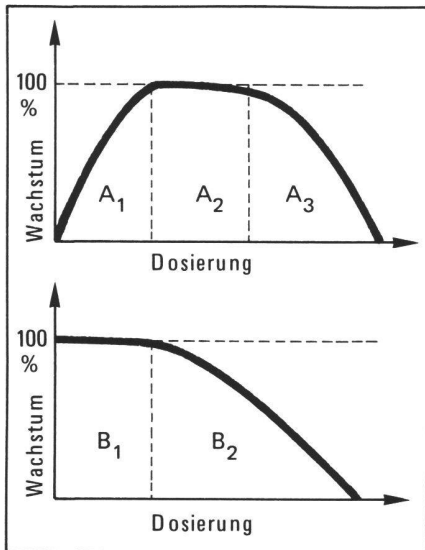


Abb.2 Einfluss der Schwermetalle auf Pflanzenwachstum

- A: biologisch *essentielle* Metalle: Fe, Mn, Zn, Cu, Mo...
- A<sub>1</sub> = Mangelbereich, Spurenelementmangel
  - A<sub>2</sub> = Bereich optimaler Spurenelementversorgung
  - A<sub>3</sub> = toxischer Bereich, zu hohe Metallkonzentration.
- B: biologisch *nicht essentielle* Metalle: Cd, Pb, Hg
- B<sub>1</sub> = indifferentier Bereich, noch keine Schädigung
  - B<sub>2</sub> = toxischer Bereich, zu hohe Metallkonzentration.

In Abbildung 2 kommt deutlich zum Ausdruck, dass die schädliche Wirkung, die Giftigkeit, eine Frage der Konzentration ist. Es ist jedoch sehr schwierig, die Grenzen zwischen den einzelnen Bereichen anzugeben, weil nicht alle Lebewesen gleiche Ansprüche stellen und gleich empfindlich reagieren. Dazu kommen Wechselwirkungen, Interaktionen zwischen verschiedenen Stoffen, welche die Wirkung abschwächen oder verstärken können.

## 2.2 Organische Chemikalien

Organische chemische Verbindungen bilden eine sehr umfangreiche Gruppe von Schadstoffen. Die meisten Pflanzenschutzmittel (Herbizide, Fungizide, Insektizide) fallen darunter, ebenso sehr schlimme Gifte wie Dioxine (= Seveso-Gift). Organische Substanzen werden mehr oder weniger rasch abgebaut. Je leichter sie abgebaut werden, um so schneller verschwinden sie wieder; je stabiler sie sind, um so grösser ist die Gefahr, dass sie vor allem im Boden angereichert werden. Ein grosses Problem sind Abbauprodukte, Metaboliten, die als Zwischenprodukte beim Abbau entstehen und unter Umständen toxischer sind als die Ausgangssubstanz. Zur Beurteilung eines Produktes sind genaue Kenntnisse über den Abbau dringend notwendig, leider aber noch

zu lückenhaft bekannt. Ein weiteres Problem sind die Begleitstoffe, Verunreinigungen, die bei der Synthese einer chemischen Verbindung gebildet werden können und zum Teil sehr toxisch sind.

## 3. Schadstoffe im Boden

Im Zusammenhang mit den Schadstoffen spielt der Boden eine besondere Rolle. Die meisten Schadstoffe, wo immer sie in den natürlichen Stoffkreislauf (Abb. 3) eintreten, gelangen irgendwann in den Boden. Die abbaubaren organischen Stoffe werden dort mehr oder weniger rasch durch die enorme Zahl der Organismen mineralisiert. Langsam oder nicht abbaubare (Schwermetalle!) Stoffe werden im Boden zurückgehalten und können sich dort anreichern. Der Boden wirkt so puffernd und reinigend, er kann dabei aber selber kontaminiert und nachhaltig geschädigt werden.

Wenn Schadstoffe in den Boden gelangen, können negative Auswirkungen auftreten bezüglich:

- Boden: Eine Beeinträchtigung der biologischen Prozesse im Boden kann zu einer verzögerten Humifizierung (Folge = Rohhumusaufgabe), zur Bildung ungünstiger Abbauprodukte, zu einer Verschlechterung der Bodenstruktur und zu einer Hemmung des Abbaues organischer Pestizide führen.
- Wasser: Unerwünschte Stoffe gelangen aus dem Boden ins Wasser.
- Pflanzen: Sowohl direkte toxische Wirkung auf das Wachstum als auch Verschlechterung der Pflanzenqualität durch Anreicherung unerwünschter Stoffe,
- Konsumenten (Tiere, Mensch) von belasteten Pflanzenprodukten.

Kurzfristig ist der Boden ein sehr stabiles System mit hoher Pufferkapazität und aktiver, mikrobiologischer Selbstreinigung. Kurzfristig sind daher wenig Schäden sichtbar, was der Grund dafür sein mag, dass bisher dem Schutz des

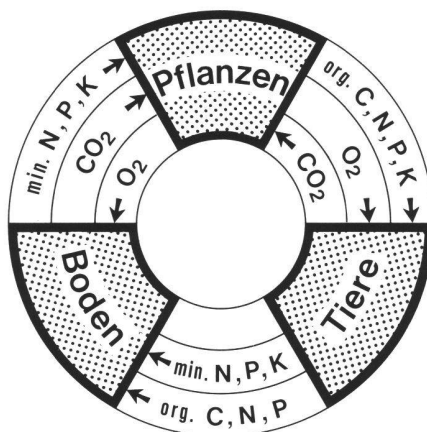


Abb.3 Der natürliche Stoffkreislauf im Boden

Bodens viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden ist.

Langfristig jedoch besteht eine ausgeprägte Gefährdung des Bodens durch Schadstoffe, die nur sehr langsam oder überhaupt nicht abbaubar sind, aber vom Boden festgehalten werden. Schwermetalle z.B. werden nicht abgebaut; sie werden auch kaum ausgewaschen; die Pflanzen können nur sehr geringe Mengen aufnehmen. So ist die Gefahr der Anreicherung, der Akkumulation im Boden, besonders auf lange Sicht, sehr gross.

Verschmutzte Luft wird rasch wieder rein, wenn die Verschmutzungsquellen beseitigt werden. Ähnlich ist es bei Fließgewässern. Bei Seen und beim Grundwasser dauert es jedoch lange, bis eine Verschmutzung wieder saniert ist. Beim Boden aber kann eine Kontamination irreversibel sein und zu Schäden führen, die kaum mehr zu beheben sind. Deshalb ist hier ein Vorbeugen so besonders wichtig.

## 3.1 Schwermetalle

Schwermetalle, die in den Boden gelangen, treten hier in ein neues Löslichkeitsgleichgewicht ein. Dieses Gleichgewicht hängt sowohl von der Bindungsform der Schwermetalle im zugeführten Produkt (z.B. Luftimmission, Klärschlamm, Kompost) als auch von den Bodeneigenschaften ab. Unter diesen sind vor allem der pH-Wert sowie die Art und Menge der Bodenkolloide (Ton, Humus, amorphe Fe- und Al-Oxide) von Bedeutung. An den negativen Überschussladungen der Tonmineralien findet eine nicht selektive Bindung von Schwermetallen statt, die durch Salzlösungen austauschbar sind. Dagegen vermögen Oxide und Organische Bodensubstanz (Humus) mit ihren pH-abhängigen Oberflächenladungen die Schwermetalle selektiv und damit nicht austauschbar festzulegen. Neben dieser Fixierung an den verschiedenen Adsorptionsplätzen kann bei pH-Werten über 7 zusätzlich eine Schwermetallfällung in Form von schwerlöslichen Verbindungen (Hydroxide, Karbonate, Phosphate usw.) erfolgen.

Diese Betrachtungen zeigen, dass in Böden mit tiefen pH-Werten und niedrigem Gehalt an Bodenkolloiden schon nach geringer Schwermetallbelastung erhöhte Konzentrationen in der Bodenlösung auftreten können. Bei der Beurteilung des Schwermetall-Problems ist zu berücksichtigen, dass der Humusaufbau und die Versauerung der Böden unter dem Einfluss von Düngung, Bewirtschaftung und natürlicher Entwicklung relativ rasch verlaufen kann. Dadurch kann die Mobilität und damit die Toxizität der schon im Boden vorhandenen Schwermetalle stark erhöht werden.

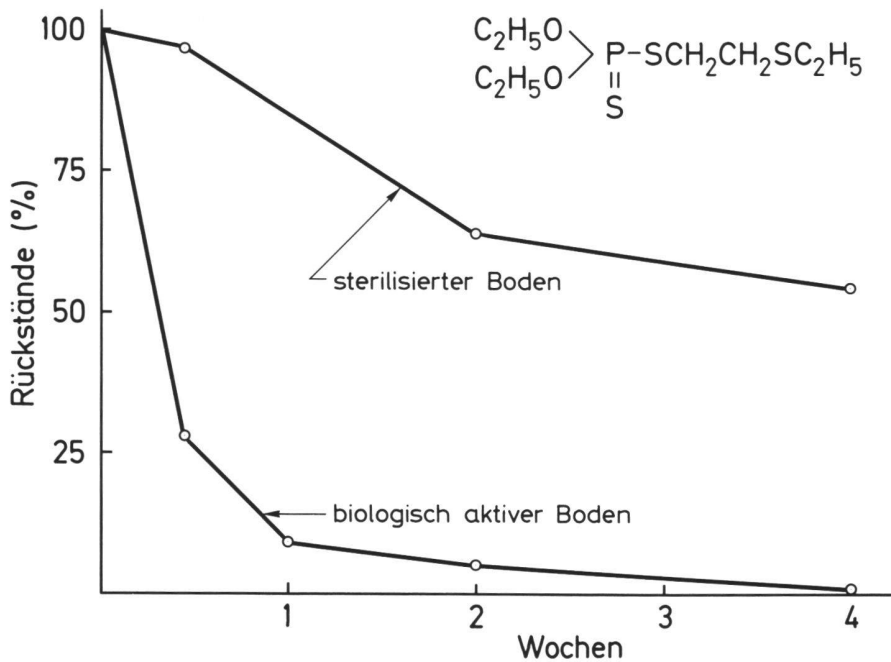


Abb. 4 Verlauf des Abbaues von Disulfoton in sterilisiertem (autoklaviert) und in biologisch aktivem (nicht autoklaviert) schluffigem Lehm Boden

### 3.2 Organische Chemikalien

Im Gegensatz zu den Schwermetallen können die organischen Substanzen im Boden abgebaut werden. Die Gefahr einer Anreicherung im Boden ist um so geringer, je grösser die biologische Abbaubarkeit einer Substanz ist. In einem gesunden Boden sind sehr viele Mikroorganismen zu finden: pro Gramm Boden in der Grössenordnung von  $10^8$  Bakterien (2000 Arten) und  $10^5$  Actinomyceten. Dank dieser enormen Zahl und der grossen Vielfalt der Mikroorganismen im Boden werden viele organi-

sche Stoffe sehr rasch abgebaut. Die Tatsache, dass DDT und andere chlorierte Kohlenwasserstoffe in gewissen Böden in bedenklichem Ausmass angereichert wurden und noch Jahre nach der letzten Anwendung hohe Gehalte gefunden werden, sollte uns davon abhalten, schwer abbaubare Verbindungen auf den Boden und in die Umwelt zu entlassen.

Wie Abbildung 4 zeigt, ist der Abbau auf die Aktivität der Mikroorganismen zurückzuführen: in einem sterilisierten Boden erfolgt er viel langsamer. Hohe

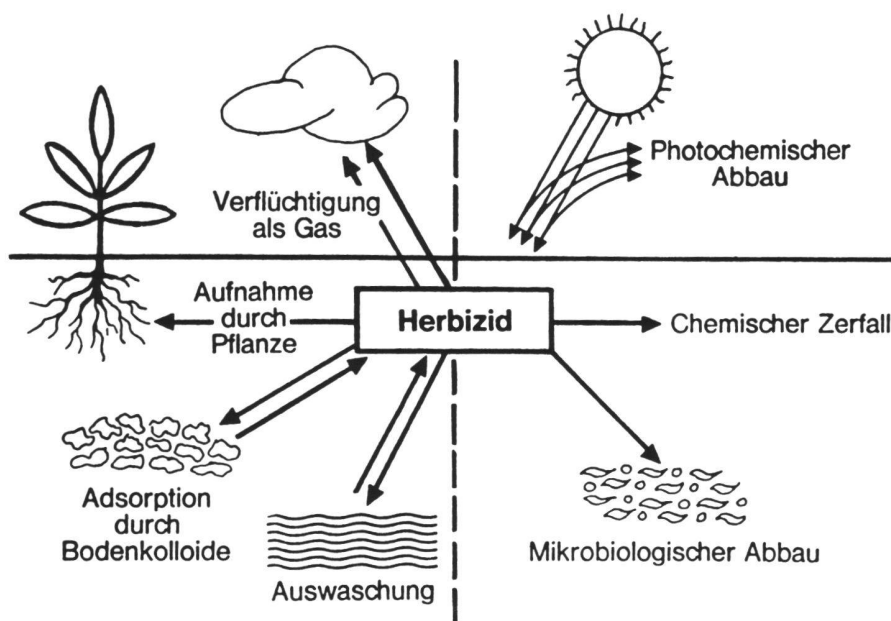


Abb. 5 Schematische Darstellung von Wanderung, Abbau und Festlegung von Pestiziden im Boden als Beispiel für das Verhalten von organischen Chemikalien im Boden

Konzentrationen an Schwermetallen oder Pestiziden können die biologische Aktivität hemmen und so den Abbau verlangsamen.

Beim Abbau vor allem komplizierter organischer Verbindungen können Metaboliten auftreten, die pflanzenschädigend wirken oder dank ihrer Stabilität zu einer Anreicherung im Boden führen. Daraus ergibt sich die Forderung, dass Pestizide und andere organische Chemikalien auf Metaboliten und deren Auswirkungen zu prüfen sind. Wenn die Rückstandsüberwachung nur den verwendeten Wirkstoff umfasst, besteht keine Gewähr, dass nicht noch schädliche Metaboliten vorhanden sind. Es kann auch vorkommen, dass in der benutzten organischen Substanz Verunreinigungen vorhanden sind, die viel bedenklichere Auswirkungen haben als das eigentliche Mittel. Es ist also auch diesen Verunreinigungen Beachtung zu schenken, z.B. Dioxin in Polychlorphenoxyessigsäurepräparaten.

Zahlreiche Vorgänge sind zu beachten, wenn organische Schadstoffe in den Boden gelangen (Abb. 5). Herbizide und gleicherweise auch viele andere organische Verbindungen, die in den Boden gelangen, können verflüchtigen, chemisch, photochemisch und mikrobiell abgebaut, auf verschiedenste Art im Boden festgehalten, von Pflanzenwurzeln und Bodentieren aufgenommen, im Sickerwasser ausgewaschen und von der Bodenoberfläche durch Wasser weggeschwemmt oder durch den Wind fortgeblasen werden.

### 4. Massnahmen

Um zu verhindern, dass der Boden durch die gegenwärtige Schadstoffflut zunehmend belastet wird und schlussendlich stirbt, sind wirksame Massnahmen zu einer drastischen Eindämmung dieser Schadstoffflut dringend erforderlich. Um zweckmässige Massnahmen ergreifen zu können, sind genügend Kenntnisse über die Quellen der Schadstoffe und ihr Verhalten in den Stoffkreisläufen erforderlich.

Die Vielzahl der Schadstoffquellen, die den landwirtschaftlich genutzten Boden belasten, sei hier in drei Hauptgruppen zusammengefasst:

- Atmosphäre:  
Gase, Niederschläge, Stäube
- Landwirtschaftliche Hilfsstoffe:  
Pestizide usw.
- Abfallverwertung:  
Klärschlamm, Müllkompost usw.

Die Luftverschmutzung ist eine perfide, unheimliche Gefahr für den Boden. Die eigentliche Schadstoffquelle kann sehr weit entfernt, auch jenseits der Grenze sein und ist in vielen Fällen überhaupt nicht bekannt. Wichtige Luftverschmutzer sind das Auto, die Industrie, die Müllverbrennung und die Verbrennung

überhaupt (Heizung, Strohverbrennung).

Vom Auto kommen Blei, Stickoxide, Pneubetrieb (Cd!), Öl, Russ usw. Wichtige Massnahmen sind: weniger, vernünftiger, sparsamer, langsamer fahren, Verwendung von bleifreiem Brennstoff, Katalysatoren und Cadmium-freien Reifen.

Die Industrie produziert sehr viele verschiedene Luftschadstoffe in grossen Mengen. In vielen Fällen ist noch viel zu tun für eine ausreichende Abgasreinigung. Aber auch hier soll vermehrt versucht werden, Produktionsmethoden zu entwickeln, bei denen möglichst wenig Abfall, Abwasser, Rauch und Staub entsteht.

Die Müllverbrennung produziert riesige Mengen an Schadstoffen, die nur mit sehr grossem Aufwand aus den Rauchgasen entfernt werden können. Eine echte Lösung dieser Probleme wird nur dann erreicht, wenn nicht mehr nur Abfallbeseitigung, sondern Abfallverwertung betrieben wird. Dann ist der Zweck der Verbrennung nicht mehr in erster Linie eine Volumenverminderung beim Abfall, sondern eine Energienutzung jener Komponenten des Mülls, die sich dazu eignen und wofür keine andere, bessere Verwertung möglich ist. Voraussetzung dafür sind neue Wege beim Einsammeln der Abfälle.

Landwirtschaftliche *Hilfsstoffe* stellen ebenfalls vielfältige Probleme für den Boden dar. Fungizide, Insektizide und Akarizide werden zwar auf die Pflanzen gespritzt. Ein Teil des Spritznebels fällt jedoch direkt auf den Boden, ein weiterer Teil wird von den Pflanzen abgewaschen und gelangt so in den Boden. Und endlich kann ein Teil via Wurzeln und Ernterückstände oder via Tier und Hofdünger oder via Mensch und Klärschlamm auch noch in den Boden gelangen. Es ist wichtig, die Applikationsmethoden zu verbessern, damit die ganze Wirkstoffmenge den gewünschten Wirkungsort erreicht und somit die Aufwandsmengen reduziert werden können. Bodenherbizide, die direkt auf den Boden ausgebracht werden, sollten möglichst durch mechanische Unkrautbekämpfung und angepasste Fruchtfolgen ersetzt werden. Überhaupt sind beim Pflanzenschutz soweit möglich alternative Methoden mit geringerer Umweltbelastung einzusetzen.

Futterzusätze tragen Stoffe in den natürlichen Kreislauf ein, die den Boden belasten können. Grosszügig bemessene Zugaben von Spurenelementen (Cu, Zn, Mn, Co, Fe) führen zu erhöhten Schwermetallgehalten in Hofdüngern. Zusätze von Medikamenten, Antibiotika und Hormonen dürfen nicht via Gülle zu Störungen des Bodenlebens führen. Die Mentalität, bei Unsicherheit einen kräftigen Sicherheitszuschlag zu machen

und reichlich zu dosieren, ist oft umweltbelastend.

Düngemittel können ebenfalls Stoffe enthalten, die im Boden mit der Zeit Probleme bereiten. Rohphosphat z.B. enthält je nach Herkunft beträchtliche Cadmiummengen. Hier sind Anstrengungen notwendig, Cd-arme P-Dünger herzustellen, sei es durch die Wahl von Cd-armen Herkünften oder durch Fabrikationsmethoden, die das Cadmium eliminieren.

Auch andere Hilfsstoffe, wie Güllezusätze, Siloinnenanstrich, Holzschutz, sind sorgfältig auf ihre Nebenwirkungen zu prüfen.

Die *Abfallverwertung*, genauer gesagt, die Verwertung von Kommunalabfällen wie Klärschlamm und Müllkompost ist mit besonderen Risiken verbunden. Die Probleme werden verursacht durch Mängel der Entsorgungskonzepte. In kommunales Abwasser dürfen neben den Ausscheidungen der Bevölkerung nicht auch noch Giftstoffe irgendwelcher Herkunft eingeleitet werden, sonst wird der Klärschlamm unbrauchbar für die landwirtschaftliche Verwertung. Wenn das Problem der festen Abfallstoffe gelöst werden soll, muss eine möglichst weitgehende Verwertung angestrebt werden. Eine sehr wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche Verwertung ist ein geeignetes Einsammelssystem, das vermeidet, dass Geeignetes mit Ungeeignetem und Schädlichem vermischt wird. Ein Viertel des Hausmülls besteht aus Rüst- und Lebensmittelabfällen und aus pflanzlichen Abfällen aus dem Garten. Dieser Viertel ist wasserreich und verschlechtert die Wärmenutzung der übrigen Abfälle, ist aber ein guter Rohstoff zur Kompostherstellung. Er ergibt einen Kompost, dessen Schwermetallgehalt um einen Faktor 10–100 unter denen des bisher üblichen Müllkompostes liegt. Es ist eine Illusion zu erwarten, dass mit einer technischen Aufbereitung von üblichem Mischsammelgut ein annähernd gleichwertiger Kompost erzielt werden kann. Auch die Schadstoffprobleme bei der Verbrennung dürfen nicht allein nur durch technische Massnahmen bei der Rauchgasreinigung, sondern vor allem auch durch geeignetes Einsammeln angestrebt werden, das einen Brennstoff ohne Batterien, ohne Cadmium, Quecksilber und Blei ergibt.

### 5. Konzept für dauernden Schutz

Zur Festlegung von Grenzwerten für die Schadstoffbelastung des Bodens wurde bisher meist von einem tolerierbaren Gesamtgehalt des Bodens ausgegangen und dazu die Vorgabe gemacht, dass dieser Gehalt im Boden über einen langen Zeitraum (z.B. 100 Jahre) nicht erreicht wird. Meist wurde auch nicht die gesamte Schadstoffbelastung aus

allen Immissionsquellen berücksichtigt, sondern Grenzwerte für bestimmte Quellen, z.B. Luft, Klärschlamm, Wasser, festgelegt.

Dieses Vorgehen weist drei wesentlich schwache Stellen auf:

1. Da unsere Böden sehr unterschiedliche Kapazitäten zum Festlegen und dadurch zum Immobilisieren der Schadstoffe, insbesondere der Schwermetalle, aufweisen, ist es problematisch, von einem bestimmten, maximalen Totalgehalt im Boden auszugehen. Bei gleichem Totalgehalt kann in unterschiedlichen Böden der Gehalt an löslichen, daher aktiven Schwermetallen durchaus um einen Faktor 1000 variieren. Zudem besteht die Gefahr, dass die Böden gedankenlos «aufgefüllt» werden.
2. Die bedeutendste Schwäche ist die Vorgabe, dass der Boden innerhalb einer bestimmten, also beschränkten Zeit einen kritischen Wert nicht erreichen soll. Der Boden darf nicht nur für eine gewisse Zeit, sondern er muss für immer geschützt werden. Eine stete Akkumulation von Schwermetallen kann also nicht akzeptiert werden.
3. Das sektorielle Denken ist die dritte Schwäche. Zum Schutze der Böden müssen unbedingt alle Quellen gleichzeitig beachtet werden. Ein dauernder Schutz der Böden kann nur erreicht werden, wenn auf lange Sicht die Akkumulation gestoppt werden kann. Es muss für den Boden, präziser ausgedrückt für die durchwurzelte Bodenschicht als «Träger» des Pflanzenwachstums, ein *Gleichgewicht* zwischen «Import» und «Export» von Metallen erreicht werden, und dies auf einem Niveau, wo keine Probleme zu befürchten sind. Es geht nicht an, dass dauernd mehr Schadstoffe in den Kreislauf (Abb. 3) eingebracht werden, als darin abgebaut werden können oder als den Kreislauf wieder verlassen. Beim Schadstoffeintrag in den Kreislauf sind alle Quellen, wie Regen, Luft, Handelsdünger, Spritzmittel, Klärschlamm, Müllkompost, Staub usw., zu berücksichtigen. Ein Austrag aus dem Kreislauf erfolgt im wesentlichen nur durch Auswaschung aus dem Boden. Unter Auswaschung ist all das zu verstehen, was mit dem Wasser in Tiefen, die unterhalb der Wurzelzone liegen, hinab transportiert wird. Wenn dieser Kreislauf im Bereich der schweizerischen Landwirtschaft (10<sup>6</sup> ha landwirtschaftliche Nutzfläche im engern Sinn) betrachtet wird, muss festgestellt werden, dass alle Mineralstoffe, die dem Boden durch die Pflanzen entzogen werden, mit den Hofdüngern und dem Klärschlamm wieder dem Bo-

den zugeführt werden. Was mit Lebensmitteln aus dem Kreislauf (exportiert) wird, wird durch Futtermittelimport mehr wie kompensiert.

Bei den Schwermetallen sind zwei Gruppen zu unterscheiden: Metalle, die für das Leben notwendig, essentiell sind (Spurenelemente: Cu, Zn, Co...), und Metalle, die nicht essentiell sind, wie Cd, Hg, Pb. Erstere müssen wie Düngemittel in der richtigen Dosierung zugeführt werden; zu wenig und zu viel ist falsch. Letztere sollen in möglichst geringen Mengen zugeführt werden. Entsprechend lautet der Ansatz:

Essentielle

Elemente: Import = Export

Nicht essentielle: Import ≤ Export

Unter Export fällt praktisch nur, was ausgewaschen wird unter Bedingungen, wo sowohl das Bodenleben als auch das Pflanzenwachstum und die Pflanzenqualität noch nicht beeinträchtigt sind.

## 6. Beispiel Cadmium

Cadmium (Cd) ist ein Metall mit grosser Toxizität. Nach einer FAO/WHO-Expertengruppe soll ein erwachsener Mensch pro Woche nicht mehr als 0,5 mg Cd aufnehmen. Das macht für die ganze Bevölkerung der Schweiz im Jahr eine Menge von maximal 165 kg Cd. Der Verbrauch an Cadmium in der Schweiz beträgt über 100 t pro Jahr, und etwa 20 000 kg Cd kommen aus der Atmosphäre in Form von Niederschlägen auf unser Land.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der Schweiz beträgt ohne Alpweiden rund eine Million Hektaren. Der mittlere Cd-Gehalt im Boden beträgt etwa 0,2 g/t Boden. Die obersten 20 cm der 10<sup>6</sup> ha LN enthalten somit rund 500 t Cd.

Der zulässige Cd-Export ist schwer festzulegen. Primär sind dazu Grenzwerte für Lebensmittel bestimmend. In der Schweiz gelten gegenwärtig folgende Richtwerte je kg Frischgewicht:

Blatt-, Spross- und	
Fruchtgemüse	0,1 mg Cd
Kartoffeln, Getreide	0,1 mg Cd
Wurzelgemüse, Obst	0,05 mg Cd
Fleisch von Rind, Kalb, Schwein	0,1 mg Cd
Käse, Eier, Süsswasserfische	0,05 mg Cd
Schweineleber	0,8 mg Cd

Die zulässigen jährlichen Entzüge durch die Pflanzen betragen je ha somit etwa:

50 t Kartoffeln	à 0,1 g Cd -	5 g Cd
70 t Einschnide-		
kabis	à 0,1 g Cd -	7 g Cd
5 t Weizen	à 0,1 g Cd -	0,5 g Cd
10 t Rauhfutter	à 1 g Cd -	10 g Cd

Für Rauhfutter gelten Richtwerte von 1–2 g Cd/t TM (0,1–0,3 g Cd/t Frischsubstanz) im Hinblick auf Tiergesundheit und Cd-Gehalt in Fleisch, Milch und Innereien.

Als zulässige Entzüge sind langjährige Mittelwerte (Fruchtfolge) zu verwenden. Da der Grünlandanteil hoch ist, dürfte ein Wert von gut 5 g Cd/ha · a diskutabel sein. Dies ist der «Export nach oben» ohne die in den Ernterückständen und Wurzeln eingelagerten Cd-Mengen.

Da bei unsern Klimabedingungen fast die Hälfte des Niederschlagswassers versickert, kann angenommen werden, dass eine ähnliche Cd-Menge unter die Wurzelzone ausgewaschen wird. 5 g Cd/ha in 500 mm Sickerwasser ergeben einen Gehalt von 1 mg/m<sup>3</sup> Wasser. Zulässig im Wasser sind etwa 5 mg Cd/m<sup>3</sup>. Beim gegenwärtigen Stand der Cd-Belastung des Bodens wird der Cd-Entzug durch die Pflanzen auf rund 2 g/ha · a geschätzt. In gleicher Höhe dürfte die Auswaschung liegen.

Der gegenwärtige Cd-Import auf die landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz kann wie folgt geschätzt werden (t/10<sup>6</sup> ha · a bzw. g/ha · a):

aus Atmosphäre	5
aus Abfalldüngern	2
aus Handelsdüngern	1 bis 2
aus Hofdüngern	2
Total rund	10

Die Cd-Fracht in Hofdüngern wird in dem Masse zunehmen, als der Cd-Entzug durch Pflanzen zunimmt. Über 80% der in der Schweiz produzierten Menge an Pflanzentrockenmasse wird Tieren verfüttert. Über 95% der verfütterten Cd-Menge erscheint wieder in den Hofdüngern. Da zudem beträchtliche Futtermengen importiert werden, ist die Cd-Menge in den Hofdüngern etwa gleich hoch wie der gesamte Cd-Export durch die Pflanzen. Daraus folgt, dass die Summe der Importe aus allen andern Quellen (Atmosphäre, Handelsdünger, Abfalldünger) nicht grösser sein darf als die Exporte durch Versickerung. Diese Bedingung wird aber heute nicht eingehalten.

### Literatur:

Furrer, O.J.: Konzept zur Festlegung von Grenzwerten für Schwermetallimmissionen in den Boden. Schweiz. Landwirtschaftliche Forschung 23 (3), 195–199, 1984

Furrer, O.J.: Schadstoffe bedrohen die Landwirtschaft. Schweiz. Landwirtschaftliche Monatshefte 62, 35–52, 1984

Adresse des Verfassers:

Dr. Otto J. Furrer  
Eidg. Forschungsanstalt für  
Agrikulturchemie und Umwelthygiene  
CH-3097 Liebfeld-Bern

# Zur Beurteilung des Bodens als Pflanzenstandort

F. Jäggli

Die Planung der Ernährung unseres Volkes in Krisenzeiten geht von einer Erhöhung der Ackerfläche um rund 80 000 ha aus. Diese Mehranbaufläche muss jedoch den pflanzenbaulichen Ansprüchen genügen, wenn das gesteckte Ziel erreicht werden soll. Einerseits müssen die neuen Ackerbauflächen eine genügende Sickerfähigkeit wie auch eine angemessene Wasserspeicherkapazität aufweisen. Untersuchungsergebnisse zeigen, wie stark sich bei der heutigen Produktionstechnik das Angebot an pflanzenproduktivem Wasser auf den Ertrag auswirkt.

*La planification de l'alimentation de notre population par temps de crise passe par l'augmentation de la surface cultivable de 80 000 ha en chiffre ronds. Le but visé ne sera toutefois atteint que si les gains de surface réalisés sont adoptés aux exigences des plantes: notamment en ce qui concerne le drainage et la capacité de stockage de l'eau, qui doit être adéquate. Les études montrent en effet le rôle considérable, dans les techniques de production actuelles, de l'eau utile sur les rendements agricoles.*

## 1. Einleitung

Noch für rund 6% unserer Bevölkerung ist der Boden ein direkter Produktionsfaktor. Die Gefahr ist daher gross, dass seine vorrangige Bedeutung als Grundlage der Nahrungsmittelproduktion vergessen oder übersehen und er allzuoft nur noch als Handelsware oder Lebensraum der Industriegesellschaft gewertet wird. Von plötzlicher Aktualität wird seine ursprüngliche Leistungsbestimmung jedoch, wenn es um die Sicherstellung der Ernährung in Zeiten mit gestörter Zufuhr geht. Dieser Planungsfall zeigt sowohl das gegenwärtige Leistungsvermögen wie auch die künftige