

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 90 (1992)

**Heft:** 8

**Artikel:** Boden : Grundlage für Leben und Überleben

**Autor:** Schulin, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-234855>

### **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:** 19.03.2025

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

## Boden – Grundlage für Leben und Überleben

R. Schulin

Der Boden dient uns Menschen in vielfältiger Weise als Grundlage unserer Existenz: sowohl im wortwörtlichen Sinne als feste Unterlage, insbesondere als Baugrund und Verkehrsfläche, als auch im übertragenen Sinn als Standort und Nährsubstrat für die Pflanzenproduktion, als Rohstoffquelle oder als Senke für Abfälle aller Art, um nur einige Nutzungsfunktionen zu nennen (Sticher, 1991).

Die scheinbar naturgegebene Selbständigkeit, mit der der Boden diese Funktionen in der Regel auch erfüllt, trägt ihm aber mehr Gering-, als Wertschätzung ein. Die Einsicht, dass der Boden unverzichtbar und unersetzbar, das heisst nicht nur Lebensgrundlage, sondern auch Überlebensgrundlage ist und daher des Schutzes vor Übernutzung und Überbelastung bedarf, ist auch heute noch wenig populär.

*Le sol nous sert de multiples façons comme base de notre existence: aussi bien comme base solide au sens propre du terme, en particulier comme terrain à bâtir et comme surface destinée aux transports, qu'au sens figuré comme lieu et substrat nutritif pour la production végétale, comme source de matières premières ou comme décharge pour des déchets de toutes sortes, cela afin de ne citer que quelques fonctions d'utilisation du sol. (Sticher, 1991).*

*Le fait que le sol remplit en général ces fonctions d'une façon qui semble aller naturellement de soi lui confère cependant plus de mépris que d'estime. La prise de conscience que le sol est indispensable et irremplaçable, c'est-à-dire qu'il est non seulement base existentielle, mais aussi base de survie et qu'il doit ainsi être protégé contre sa surexploitation et sa surcharge est aujourd'hui encore peu populaire.*

### Gesetzliche Situation des qualitativen Bodenschutzes in der Schweiz

Politisch hat der Boden in unserer Gesellschaft nach Luft und Wasser als letztes Umweltmedium Beachtung zu finden begonnen. Im Umweltschutzartikel, der 1971 – ein Jahr vor der Verabschiedung der «Europäischen Bodencharta» durch den Europarat (Blume, 1990) – in die schweizerische Bundesverfassung aufgenommen wurde (Art. 24 septies), werden neben der Lärmbekämpfung nur Luftverunreinigungen ausdrücklich erwähnt. Erst im Umweltschutzgesetz (Bundesgesetz über den Umweltschutz, 1983), das zwölf Jahre später, am 7. 10. 1983, gestützt auf diesen Artikel erlassen und am 1. 1. 1985 in Kraft gesetzt wurde, wird der Boden auch namentlich als erhaltenswertes Umweltgut anerkannt. Allerdings geht das Umweltschutzgesetz in bezug auf den Boden nicht über die vage und zaghafte Forderung hinaus, dass bei der Festlegung von Immissionsgrenzwerten und verschärften Emissionsbegrenzungen auch der Schutz der Bodenfruchtbarkeit vor einer Belastung durch schwer abbaubare Stoffe zu

berücksichtigen sei. Die auf dieser Grundlage vom Bundesrat erlassene Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) vom 9. 6. 1986 regelt den Vollzug dieser Bestimmungen. Insbesondere sind in der VSBo Richtwerte für zehn Schwermetalle und Fluor zur Beurteilung von stofflichen Bodenbelastungen festgelegt. Die VSBo bildet bis anhin die einzige gesetzliche Grundlage für den behördlichen Vollzug des Bodenschutzes, die direkt die Erhaltung der Qualität des Bodens zum Ziel hat. Im übrigen muss sich qualitativer Bodenschutz in der Schweiz indirekt auf den Schutz anderer Umweltressourcen und Güter wie Luft, Gewässer oder Lebensmittelprodukte abstützen (Zäch, 1989). Gegen mechanische Belastungen und Erosion ist der Boden nach wie vor nicht gesetzlich geschützt. Bestrebungen zu einem umfassenden Bodenschutzrecht stehen trotz aller Fortschritte bisher noch ziemlich am Anfang (Leimbacher und Saladin, 1988; Bückmann et al., 1991).

### Bedrohungen der Bodenqualität und ihre gesellschaftliche Wahrnehmung

Das umweltpolitische Aschenbrödel-dasein des Bodens hat mehrere Gründe. Erstens ist der Mensch nicht auf direkten

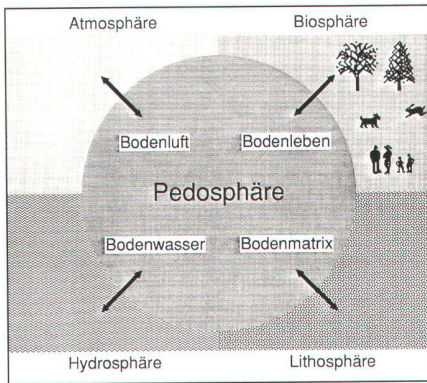
Konsum des Bodens angewiesen. Ein verschmutzter Boden bedeutet daher in der Regel keine so unmittelbare Gesundheitsgefährdung wie verunreinigtes Wasser oder verschmutzte Luft. Zweitens ist die ökologische Zerstörung des Bodens einer gewinnbringenden Nutzung meist nicht hinderlich, sondern im Gegenteil wie im Falle einer Überbauung deren notwendige Bedingung. Drittens sind die Folgen von Bodenbelastungen selten so spektakulär wie Atembeschwerden durch Smog oder an der Wasseroberfläche treibende vergiftete Fische bei Gewässerverschmutzungen. Viertens hat der Boden eine vergleichsweise hohe Belastungskapazität, er ist «stresstauglich» oder einfach «geduldig». Bodenveränderungen vollziehen sich meist schleichend und kaum merklich. Der «Geduldsfaden» kann aber auch reissen; das sogenannte «ökologische Gleichgewicht» kann wie bei Gewässern auch bei Böden umkippen (Stigliani et al., 1991).

Heute wird der Boden durch die Auswirkungen der Industrialisierung und fortschreitenden Technisierung aller menschlichen Tätigkeitsbereiche an vielen Orten in einem Ausmass belastet, dass seine Funktionsfähigkeit als ökologische Existenzgrundlage des Menschen nicht mehr auf Dauer gewährleistet ist. Im Blickpunkt der Publizität steht dabei die zunehmende Belastung mit Stoffen, die durch menschliche Aktivität kontrolliert oder unkontrolliert in die Umwelt freigesetzt werden (Meyer, 1991). Keineswegs weniger gravierend ist aber die Zerstörung fruchtbaren Bodens durch Überbauung, Versiegelung und Überschüttung. In der Schweiz gehen auf diese Weise pro Jahr etwa 25 km<sup>2</sup> Kulturland – in historischen Zeiträumen unwiederbringlich – verloren (Rotach, 1988).

Immer besorgniserregender wird auch in der Schweiz vielerorts die Bodenerosion (Mosimann et al., 1991). Unter dem Druck einer intensivierten Nutzung und Belastung sind in den vergangenen Jahrzehnten viele Böden erosionsanfälliger geworden. Erosionsbegünstigende Faktoren sind dabei insbesondere die Entblössung der Bodenoberfläche von schützender Vegetation, die Homogenisierung der Landschaft, die Schwächung der mechanischen Stabilität der Bodenstruktur und die Unterdrückung des Bodenlebens und seiner natürlichen strukturregenerierenden Wirkung. Heute hat der Bodenabtrag an manchen Orten ein Ausmass angenommen, dass die Neubildung an Boden durch Verwitterung und Humusbildung bei weitem übertrifft und damit längerfristig untolerierbar ist. Das Problem menschlich verursachter übermässiger Erosion besteht auf Kulturböden des Mittellandes ebenso wie in touristisch übernutzten Gebieten des Alpenraums.

Diese Aufzählung von Problembereichen des qualitativen Bodenschutzes ist keines-

Überarbeitete Fassung der Einführungsvorlesung vom 21. Januar 1992 an der ETH Zürich.



**Abb. 1: Der Boden als Pedosphäre im Schnittpunkt von Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre.**

wegs abschliessend. Zu erwähnen ist insbesondere noch die in engem Zusammenhang mit der Bodenerosion stehende Problematik der zunehmenden mechanischen Verdichtung und Strukturzerstörung vieler Ackerböden (Weisskopf et al., 1988).

## Der Boden als Lebensraum

Teil der Problematik ist im Bodenschutz wie im Umweltschutz allgemein, wie wenig wir wissen oder uns zumindest bewusst machen, was wir mit dem geschädigten oder sogar vollständig zerstörten Boden eigentlich verlieren.

In einem durchaus nicht oberflächlichen Sinn kann der Boden als «Haut» der Erde («Geoderma») betrachtet werden. Als Pedosphäre ist der Boden jene dünne Schicht der Erdoberfläche, in dem Gestein, Wasser, Luft und Lebewesen intensiv durchmischt und zu einem ganzheitlichen System vereint sind und in dem sich damit Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre überlagern und durchdringen (Abb. 1).

Zu einem wesentlichen Teil besteht der Boden aus fester Substanz. Diese ist kein kompakter Block, sondern ein aus Körnern verschiedener Grösse zusammengefügt und -gekitteter Verband, der als «Bodenmatrix» bezeichnet wird. Das Gefüge der sich gegenseitig stützenden Körner verleiht dem Boden die charakteristische Eigenschaft mechanischer Festigkeit, die mit dem Begriff «Boden» in seiner allgemeinen Bedeutung als Unterlage auch zuerst assoziiert wird. Ebenso wichtig wie die Bodenmatrix selbst sind die Hohlräume zwischen den Körnern: Die Bodenporen. Diese Bezeichnung bringt zum Ausdruck, dass es sich nicht um isolierte Löcher, sondern um ein in sich verbundenes und in komplexer Weise vernetztes Hohlraumsystem handelt. Dieses befähigt den Boden, Wasser und Luft zu leiten und in Stoffaustausch mit der Hydrosphäre und der Atmosphäre zu treten.

Der Porenraum ist die primäre Bedingung für die Existenz von Lebewesen im Boden.

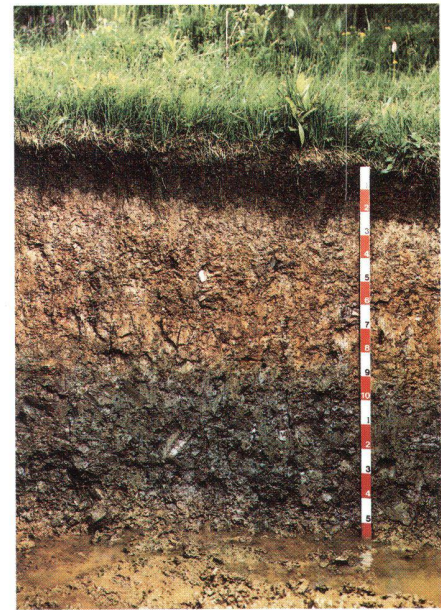
Charakteristisch und wesentlich für einen fruchtbaren Boden ist dabei, dass Poren sehr unterschiedlicher Grösse vorhanden sind. Je differenzierter der Porenraum gekammert ist, umso vielfältiger sind im allgemeinen auch die den Bodenlebewesen zur Verfügung stehenden ökologischen Nischen. Dies gilt bereits im unmittelbaren materiellen Sinne des Wortes, indem kleinere Organismen auf Schlupfwinkel angewiesen sind, in denen sie Schutz vor grösseren finden können. Feine Bodenporen mit einem Durchmesser unter etwa einem halben Mikrometer sind auch Bakterien nicht mehr zugänglich. Die in diesen Poren enthaltenen Nährstoffe sind für Organismen nur über ausgeschiedene Hilfstoffe wie Enzyme angreifbar. Die ökologische Reichhaltigkeit des Bodens geht bereits aus der Besiedlungsdichte mit Lebewesen hervor. So können in einem Gramm fruchtbaren Bodens schätzungsweise  $10^9$  Bakterien,  $10^6$  Einzeller und  $10^3$  Fadenwürmer und unter einem Quadratmeter bis zu  $10^3$  Regenwürmer leben (Gisi et al., 1990).

## Prägung des Bodens durch Lebensprozesse

Die Beziehung zwischen Bodenleben und physikalisch-chemischen Milieu besteht keineswegs aus einer einseitigen Abhängigkeit der Organismen von ihrer unbelebten Umgebung. Leben ist integraler Bestandteil des Bodens und prägt ihn in allen seinen Eigenschaften und Vorgängen in einem viel stärkeren Ausmass, als man sich oft bewusst ist.

Ein klassisches Beispiel für die sensible Wechselwirkung zwischen biotischen und abiotischen Faktoren bilden vernässte Böden. Vernässung bedeutet, dass nur wenige Poren zeitweise luftführend sind, während der grösste Teil des Porenraums dauernd mit Wasser gesättigt ist. Da die Sauerstoffdiffusion in Wasser zehntausendmal langsamer erfolgt als in Luft, sind solchermaßen vernässte Böden vom Sauerstoffnachschub aus der Atmosphäre fast vollständig abgeschnitten. Als Folge der Sauerstoffarmut werden Metalle wie Eisen und Mangan chemisch reduziert und dadurch mobilisiert. In sauerstoffreichen Zonen liegen sie dagegen in oxidierter Form vor und sind immobil. Reduzierte und oxidierte Bereiche sind in Nassböden so stark ausgeprägt, dass sie im Bodenprofil von blossen Auge an ihren graublauen und rostroten Farben erkennbar sind (Abb. 2).

Aber auch in normal durchlüfteten Böden kann in Phasen höherer Bodenfeuchtigkeit punktuell Sauerstoffmangel auftreten (Sexstone et al., 1985). Wegen ihrer beschränkten Dauer, geringen Ausdehnung und feinen Verteilung prägen sich diese Anaerobieverhältnisse allerdings nicht in von blossen Auge diagnostizierbaren Farbmerkmalen aus. Das mikroskopisch



**Abb. 2: Vernässter Boden vom Typ eines Fahlgleys (aus Richard et al., 1978).**

enge Nebeneinander von Bereichen unterschiedlicher Sauerstoffversorgung ist für die Bodenfruchtbarkeit keineswegs ungünstig. Anaerobe Mikrobereiche bilden Nischen, in denen Nährstoffe wie Eisen durch Reduktion verfügbar gemacht werden und Abbauprozesse, beispielsweise durch Gärung, stattfinden können, die unter Anwesenheit von Sauerstoff gehemmt sind (Abb. 3).

In analoger Weise wie die Bodenluft wird auch die chemische Zusammensetzung des Bodenwassers durch die biologischen Prozesse im Boden reguliert (Lynch, 1990). Der Aufnahme von im Bodenwasser gelösten Nährstoffen steht dabei die Abgabe von verschiedensten Stoffwechselprodukten gegenüber. Bei den in die Bodenlösung abgegebenen Stoffen handelt es sich zum einen vor allem um anorganische Ionen, zum anderen um organische Stoffwechselprodukte, insbesondere organische Säuren, Enzyme, Kohlenhydrate und Wachstumsstoffe. Sie werden teilweise aktiv ausgeschieden, teilweise gehen sie der Wurzel passiv verloren.

Zahlreiche dieser Stoffe fördern direkt die Verwitterung der mineralischen Substanz der Bodenmatrix und dienen damit der Mobilisierung von mineralischen Nährstoffen. Andere wie vor allem Enzyme bewirken den Abbau organischer Verbindungen im Boden. Die von Pflanzenwurzeln ausgeschiedenen Zucker und Aminosäuren stellen zudem ein besonders leicht verfügbares Nährsubstrat für Mikroorganismen dar. Eine wichtige Rolle für das chemische Milieu der Bodenlösung spielt auch das bei Atmung und Gärung entstehende Kohlendioxid, welches aus der Gasphase als Kohlensäure leicht in wässrige Lösung übergeht.

Unübersehbar kommt der Einfluss von Or-

ganismen auf den Boden nicht zuletzt auch in der Humusbildung zum Ausdruck. Unter Humus ist der organische Anteil der Bodenmatrix zu verstehen, welcher durch biologisch-chemische Umwandlung aus den Ausscheidungen lebender, sowie den Zersetzungsrückständen toter Organismen oder abgestorbener Teile von ihnen gebildet wird (Tate, 1987). Chemisch gesehen besteht Humus vorwiegend aus schwer abbaubaren, ligninähnlichen Makromolekülen, den Huminstoffen, aber auch aus Fetten, Wachsen, Kohlenhydraten und Proteinbestandteilen (Stevenson, 1982). Diese sind zu einem komplexen molekularen Netz verknüpft, das eine hohe Speicherfähigkeit für Wasser, Ionen und organische Nährstoffe besitzt.

Zu den vielen Wirkungen der organischen Bodensubstanz gehört auch die Verkittung der mineralischen Bodenkörner. Zusammen mit Feinwurzeln und Pilzhyphen, welche die Bodenkörner vernetzen und Krümel dadurch gleichsam «armieren», trägt sie wesentlich zur Stabilisierung der Bodenstruktur bei. Die Struktur eines lebendigen Bodens ist dabei eine dynamische Eigenschaft. Ebenso wie die organische Substanz muss sie durch die Aktivität der Bodenlebewesen ständig neu geschaffen werden, um aufrechterhalten zu bleiben. Besonders wichtig ist hierbei die Grab- und Durchmischungsarbeit der Regenwürmer.

## Nutzung und Belastung des Bodens

Zwischen Leben im und auf dem Boden gibt es keine Grenze. Beide stehen in enger Wechselbeziehung. Keine der im ökologischen Nahrungsnetz wichtigen Gross-

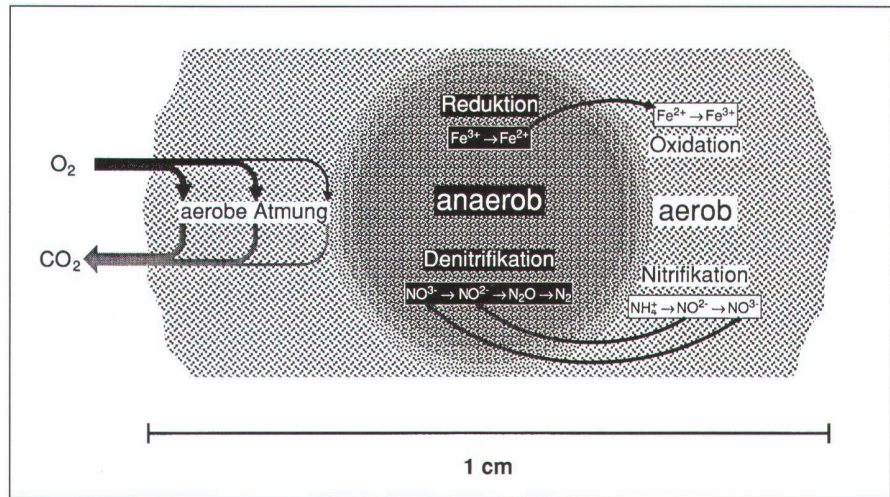


Abb. 3: Durchlüftung eines Bodenkrümels unter Feuchtigkeitsverhältnissen, bei denen die Poren im Krümel vollständig wassergesättigt sind, der Porenraum um den Krümel aber noch luftführend ist.

gruppen ist auf den oberirdischen Bereich beschränkt. Der von den Pflanzen aus der Luft assimilierte Kohlenstoff gelangt auf verschiedenen Wegen, teilweise erst über längere tierische Nahrungsketten, in den Boden und dient hier als Substrat für den Stoffwechsel der Bodenlebewesen und die Humussynthese. Die Mikroorganismen schliessen den Stoffkreislauf, indem sie organische Verbindungen wieder in ihre mineralischen Komponenten zerlegen.

Ökologisch erfüllt der Boden in diesem Kreislauf vor allem die Funktion des Stoffabbaus und der Regeneration von Ressourcen (Tabelle). Dank einer grossen, bindungsfähigen inneren Oberfläche des Bodens wird das Sickerwasser dabei in sehr wirksamer Weise filtriert. Durch vorübergehende Speicherung von Stoffen

werden Konzentrationsschwankungen ausgeglichen. Durch eine analoge Pufferfunktion werden auch Temperaturschwankungen im Boden gedämpft. In Tiefen unterhalb von einem halben Meter sind in der Regel keine tagesperiodischen Temperaturschwankungen mehr spürbar (Gisi et al., 1990).

Zu den Nutzniessern der ökologischen Funktionen des Bodens gehört insbesondere auch der Mensch. Jede Bodennutzung bedeutet aber auch einen Eingriff in den Stoff- und Energiehaushalt des Bodens, wodurch zwangsläufig seine Qualität beeinflusst wird, und stellt somit in Bezug auf den unbeeinflussten Zustand eine Belastung dar. Belastungen sind in diesem weiteren Sinne keineswegs a priori negativ zu bewerten, auch nicht, wenn sie zu irreversiblen Veränderungen führen.

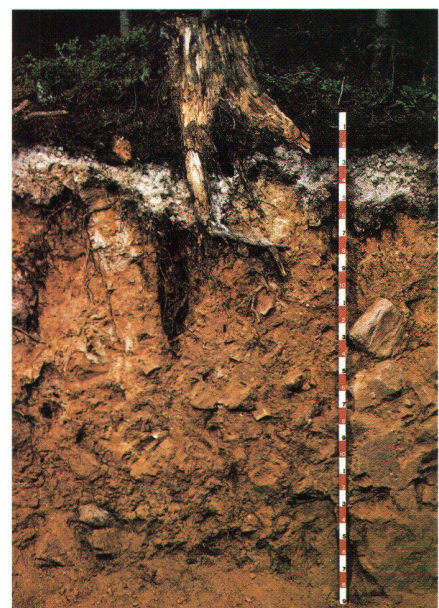


Abb. 4: Profilansicht verschiedener Bodentypen (aus Richard et al., 1981 und 1983): Auenboden (links), sandige Parabraun-erde über Schotter (Mitte), Podsol (rechts).

# Partie rédactionnelle

Böden sind von Natur aus in ständiger irreversibler Veränderung begriffen. Das Problem ist, dass menschliche Übernutzung des Bodens die von Natur aus sehr langsamen irreversiblen Veränderungen nicht nur beschleunigt, sondern auch in neue, unerwünschte Richtungen leitet.

Ein Beispiel ist die Bodenversauerung. Sie ist in unserem Klimabereich ein Prozess, der von Natur aus die Bodenentwicklung prägt. Säuren, die in den Boden eingetragen oder wie Kohlensäure und Huminsäuren im Boden selbst produziert werden, werden durch bodenbürtige Basen, die hauptsächlich durch Verwitterung aus der mineralischen Substanz nachgeliefert werden, gepuffert. Indem der Puffervorrat allmählich verbraucht wird, versauert der Boden. Problematisch an der zusätzlichen anthropogenen Säurebelastung ist, dass über die einfache Beschleunigung dieser Versauerung hinaus Ungleichgewichte zwischen verschiedenen Pufferreservoirs hervorgerufen und verstärkt werden. Diese Ungleichgewichtseffekte, die bei der langsamen natürlichen Versauerung nicht auftreten, erklären das Auftreten von Säureschäden durch Freisetzung von toxischen Aluminiumionen in an sich ausreichend gepufferten Böden und haben vermutlich erheblich zur übermässig starken Bodenversauerung in manchen Gebieten Europas und Nordamerikas beigetragen (Ulrich, 1983).

## Notwendigkeit des Bodenschutzes

In bezug auf manche Funktionen wird der Boden durch den Menschen so intensiv genutzt, dass er seine Fähigkeit einbüsst, auch andere Funktionen zu erfüllen. So hat die mit der Nutzung eines Bodens als Unterlage für Produktion, Siedlung und Verkehr notwendigerweise verbundene Versiegelung der Bodenoberfläche zur Folge, dass das Bodenleben erstickt und abgetötet wird. Ein solcher Boden kann kaum noch ökologische Funktionen erfüllen, auch nicht die der Versickerung und Filterung von Niederschlagswasser.

Es ist durchaus möglich, den Boden hinsichtlich der Erfüllung einzelner ökologischer Funktionen durch technisch-industrielle Anlagen zu verbessern oder sogar zu ersetzen, wie dies beispielsweise bei der Klärung von Abwässern mit Erfolg geschieht. Das hors sol-Verfahren zeigt, dass auch Pflanzenproduktion völlig «bodenlos» möglich ist. Die Überbauung des gewachsenen Bodens mit den dafür erforderlichen Gebäuden und Anlagen bedingt aber, dass der gewachsene Boden zerstört wird. Der Boden unter einem hors sol-Betrieb leistet keinen Beitrag zur Grundwasserneubildung oder zum Abbau von Schadstoffen.

## Ökologische, ökonomische und ideelle Funktionen des Bodens

ökologisch	ökonomisch	ideell
mechanischer Halt und Schutz	Standort und Nährsubstrat für die Pflanzenproduktion	Natur- und Landschaftselement
Speicherung und Nachlieferung von Wasser und Nährstoffen für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen	Baugrund und Verkehrsfläche	kultur- und erdgeschichtliches Archiv
Speicherbecken für die Regulation des Wasserabflusses	Rohstoffquelle (Torf, Ton, Raseneisenerz...)	Träger metaphysischer Bedeutungen
Filterung des Sickerwassers	Senke für Abfälle aller Art	ästhetischer Eigenwert
Pufferung des physikalischen und chemischen Milieus der Bodenlebewesen	Wärmespeicher und -quelle	Forschungsobjekt
Bindung und Abbau von Abfallstoffen und Wiederverfügbarmachung der darin gebundenen Nährstoffe	Planungsobjekt	

Fazit ist, dass lebendiger, biologisch aktiver Boden knapp, praktisch unvermehrbar und in seine ökologischen Funktionen für das menschliche Überleben unverzichtbar ist. Daraus ergibt sich zwingend, dass dieses natürliche Gut nachhaltig geschützt werden muss. Dies ist der Aufgabenbereich des Bodenschutzes.

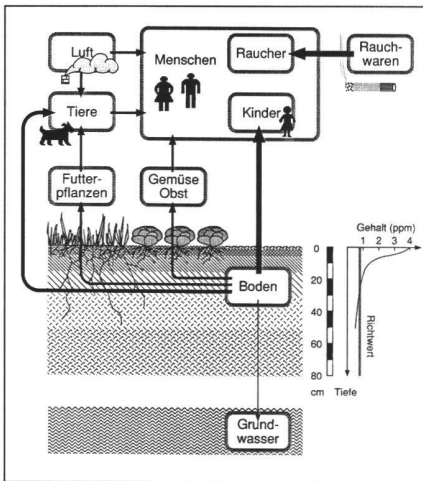
Wenn hier von Bodenschutz die Rede ist, ist damit stets der Schutz des Bodens als Teil der natürlichen oder doch wenigstens naturgeprägten Umwelt gemeint. Bodenschutz ist in diesem Sinn ein Bereich des Umweltschutzes. Zum Bodenschutz gehören sämtliche Massnahmen, die die nachhaltige Bewahrung und Sicherung des Bodens und seiner Funktionen als Lebensraum für Mensch und Mitwelt fördern oder zumindest mit diesem Ziel ergriffen werden. Da diese Funktionen einen lebendigen, biologisch aktiven Boden voraussetzen, heisst Bodenschutz primär Schutz des Lebens im und auf dem Boden.

Der Bodenschutz kann in drei Handlungsbereiche untergliedert werden:

- 1) Erkennung, Analyse und Bewertung der Auswirkungen und Risiken von Bodenbelastungen,
- 2) Erkundung, Erhebung und Überwachung von Belastungen, Gefährdungen und Veränderungen des Bodens sowie deren Verursachung,
- 3) Entwicklung und Einsatz von Verfahren und Massnahmen zur Verhinderung und Abwehr von schädlichen Einwirkungen, sowie zur Sicherung und Wiederherstellung belasteter Böden.

## Erkennung und Abschätzung von Gefahren und Risiken

In allen drei Bereichen steht heute ein akuter Vollzugsnotstand einem Mangel an Grundlagen gegenüber. Bereits die Erkennung von Bodengefährdungen und die Beurteilung des Belastungszustandes eines Bodens bereiten grosse Mühe. Denn Boden ist nicht gleich Boden (Abb. 4). Die Entwicklung eines Bodens wird durch das Zusammenwirken der Faktorenkomplexe Muttergestein, Klima, Relief und Lebewesen mit dem Faktor Zeit bestimmt. Der Vielfältigkeit an Kombinationen dieser Faktoren entspricht die Vielgestaltigkeit an Böden. Jedes Bodenprofil hat seine eigene Geschichte. Eine exakte Definition der Bodenfruchtbarkeit ist dabei ebenso schwierig wie die Definition des Begriffs «Gesundheit». Um die Diagnostik von Bodenschädigungen zu verbessern, bedarf es einer umfassenden Bezugsgrundlage von vergleichenden Untersuchungen und Beobachtungen an Böden mit definierter Belastung. Leider hat sich die bodenkundliche Forschung in der Vergangenheit zu einseitig auf die Ertragsleistung konzentriert und dabei die ökologische Multifunktionalität der Böden vernachlässigt. Die Erfassung und Überwachung von Bodenbelastungen dient nicht nur dem unmittelbaren Schutz des Bodens, sondern auch der Abwehr von Gefahren, die Mensch und Umwelt aus einem belasteten Boden drohen, beispielsweise aus der Belastung von Böden mit Schwermetallen. Überschreitungen der gesetzlich festgelegten Richtwerte bedeuten dabei nicht



**Abb. 5: Fallbeispiel für die Ausbreitungspfade einer Bodenvergiftung durch Cadmium-haltige Stäube in einem Siedlungsgebiet.**

unbedingt eine akute Gefahr, sie begründen aber die Notwendigkeit einer Ursachen- und Risikoanalyse. In Siedlungsgebieten, deren Böden durch Gifteinträge über den Luftweg belastet sind, bildet nicht selten die Gefährdung der Nahrung und des Trinkwassers, sondern die direkte Aufnahme von Bodenpartikeln durch Kleinkinder das kritischste gesundheitliche Risiko aus einer solchen Verschmutzung (Abb. 5).

## Erfassung und Monitoring von Bodenbelastungen

Ein grosses Problem für die Erfassung und Überwachung von Bodenbelastungen stellt die enorme räumliche Variabilität von Böden und Bodenparametern dar (Webster, 1985). So wurden bei den Waldschadenuntersuchungen im Kanton Zürich innerhalb von wenigen Metern in Waldböden pH-Werte gemessen, deren Bereich den grössten Teil der Variabilität abdeckt, der für Böden in der Schweiz typisch ist (Schneider et al., 1989). Da ohne die Kenntnis der räumlichen Variabilität der untersuchten Parameter die Aussagekraft von Bodenerhebungen nicht beurteilt werden kann (Abb. 6), Bodenuntersuchungen aber gewöhnlich aufwendig und teuer sind, ist die Optimierung von Erkundungs- und Überwachungsstrategien ein wichtiges Anliegen.

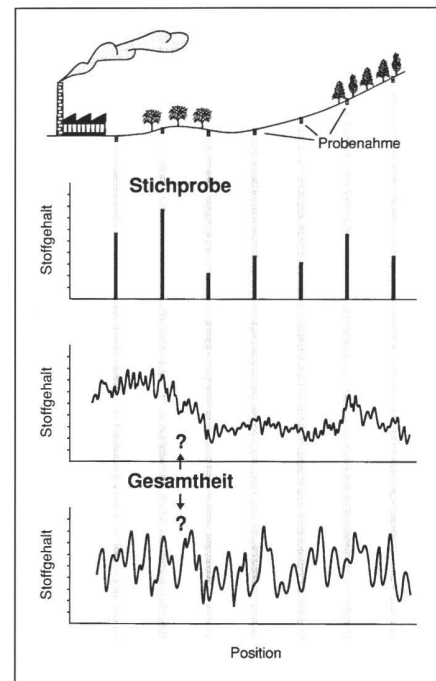
Es gibt für das Bodenmonitoring nicht eine einzige optimale Strategie. Zur Überwachung von weiträumig verteilten Immissionsbelastungen sind entsprechend weiträumig angelegte Netze von möglichst standardisiersten Dauerbeobachtungsstandorten geeignet. Für die Erfassung zahlreicher kleiner und kleinster lokaler Altlasten ist dagegen eine verdachtsorientierte Suchstrategie, also eine gezielte Su-

che unter Ausnutzung der noch verfügbaren historischen Information sinnvoll. Das Bodenmonitoring darf sich nicht auf Zustandserhebungen beschränken. Diese zeigen Belastungen grundsätzlich frühestens dann an, wenn sie bereits erfolgt sind und den Boden erreicht haben. Infolge des Problems der starken räumlichen Variabilität muss bei den zur Verfügung stehenden Mitteln mit Jahrzehnten gerechnet werden, bis eine Zunahme statistisch nachweisbar ist (von Steiger und Baccini, 1989). Dabei geht wertvolle Zeit für die Bekämpfung an sich vermeidbarer Belastungen verloren. Notwendig für einen vorsorgenden Bodenschutz sind daher Instrumente zur Früherkennung von Bodenbelastungen. Wie von Steiger und Baccini (1989) gezeigt haben, besteht im Falle von Schwermetallen ein erfolgversprechender Ansatz zur Früherkennung in der Bilanzierung von Stoffflüssen (Abb. 7). Diese Methode macht Zustandserhebungen nicht überflüssig. Zur Eichung und Kontrolle ist sie auf periodische direkte Erhebungen der Schwermetallvorräte im Boden angewiesen.

## Technische Massnahmen im Bodenschutz

Alle Erkenntnisse über die Bedrohung und Belastung des Bodens nützen nur so viel, wie sie auch schliesslich in praktische Massnahmen umgesetzt werden. Diese sind besonders dringend, wo Böden durch Belastung zu einer akuten Gefahr für Mensch und Umwelt geworden sind und es um nachsorgende Massnahmen zur Wiederherstellung eines gefahrlosen Zustandes und zur Sicherung der Umgebung geht.

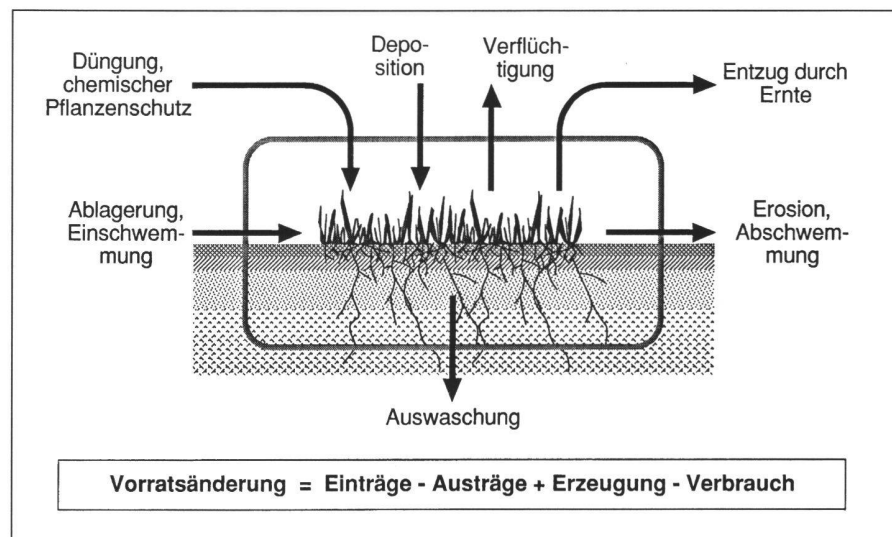
Die Palette an Verfahren zur Behandlung geschädigter Böden ist breit und wird laufend erweitert (Sims, 1990; Wilderer und Kaballo, 1991). Im Extremfall wird vergifte-



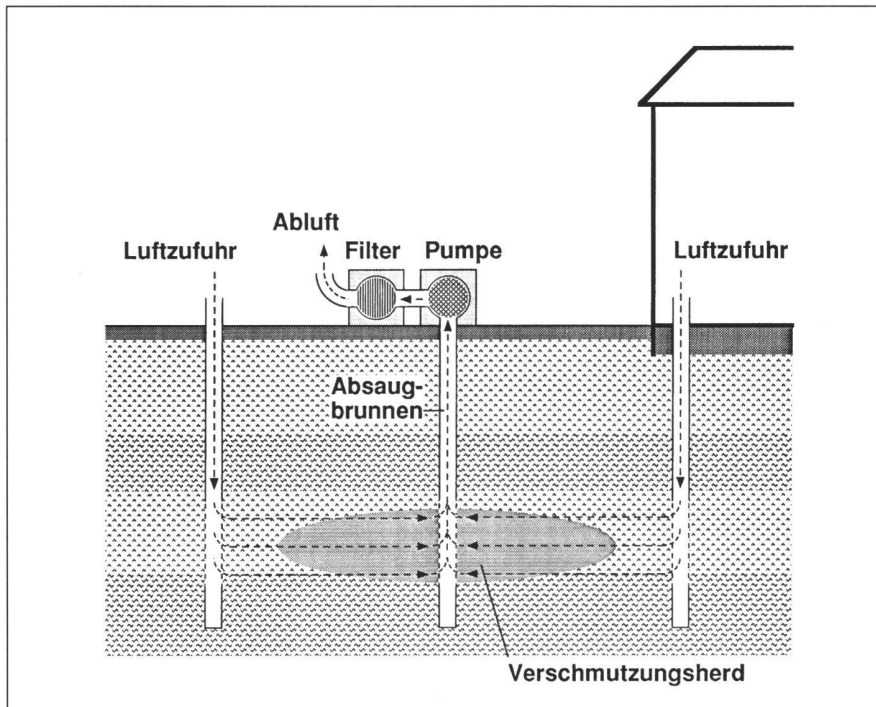
**Abb. 6: Bedeutung der räumlichen Variabilität für die Interpretation einer Stichprobe (oben) zur Erfassung von Bodenbelastungen: Nur bei genügend hoher räumlicher Autokorrelation (Mitte) des erhobenen Stoffgehaltes kann bei einem gegebenen Probenabstand auf einen Trend geschlossen werden, bei zu geringer räumlicher Autokorrelation (unten) dagegen nicht.**

ter Boden als Sondermüll verbrannt oder einer Pyrolyse unterzogen. Das Resultat einer solchen Reinigung ist Asche ohne jegliches Leben. Der Patient Boden ist damit wohl gereinigt, aber auch tot. Euphemistisch spricht man trotzdem von «Bodensanierung».

Wesentlich schonender sind im allgemeinen «in situ-Verfahren», bei denen der Bo-



**Abb. 7: Prinzip der Bilanzierung stofflicher Belastungen von Kulturböden.**



**Abb. 8: Schematische Darstellung einer in situ-Bodensanierung durch Absaugen flüchtiger Schadstoffe mit der Bodenluft.**

den in ungestörter Lagerung, also ohne Auskoffnung, behandelt wird wie beispielsweise bei einer Bodenreinigung durch künstliche Ventilation (Abb. 8). Dieses Verfahren ist allerdings nur anwendbar, wenn die zu entfernenden Stoffe genügend flüchtig sind. Ein grundsätzliches Problem aller in situ-Verfahren besteht darin, dass infolge der Inhomogenität des Bodens die Verfahrensbedingungen ebenso schwer zu kontrollieren sind wie der Sanierungserfolg.

Hochgespannte Erwartungen werden zur Zeit in die Entwicklung von in situ-Verfahren auf mikrobiologischer Basis gesetzt (Püttmann, 1990). Infolge der Inhomogenität des Bodens sind aber bei in situ-Verfahren die Verfahrensbedingungen nur sehr schlecht zu kontrollieren und damit auch der Sanierungserfolg. Hinzu kommt, dass mit der in situ-Behandlung oft starke Behinderungen oder Einschränkungen für anderweitige Nutzungen verbunden sind. Aus diesen Gründen werden auch mikrobiologische Verfahren zur Behandlung kontaminierten Bodens trotz aller Nachteile, die mit Aushub und Transport verbunden sind, bisher in der Regel nicht in situ, sondern in speziellen Anlagen durchgeführt.

Ein ungelöstes Problem stellt nach wie vor die Reinigung schwermetallvergifteter Böden dar. Hier beschränken sich Massnahmen abgesehen von Pilotversuchen noch immer im wesentlichen auf Aushub und Deponierung, Nutzungsbeschränkungen und flankierende Sicherungsmassnahmen. Mit der Deponierung kontaminierter Böden werden die Probleme allerdings nicht gelöst, sondern nur verlagert. Ein fa-

taler Trend ist insbesondere auch darin zu sehen, dass Transporte kontaminierten Bodens zu einem immer schwerer kontrollierbaren «Bodentourismus» auszuarten drohen, durch den letztlich grössere Gefahrenpotentiale aufgebaut als beseitigt werden (Winistörfer, 1989).

Zur Behandlung und Beseitigung der vorhandenen Altlasten, wie auch neuer Lasten, die wegen mangelnder Vorsorge zweifellos weiterhin anfallen werden, ist es sicherlich notwendig, die Technologie der Bodensanierung weiterzuentwickeln. Es wäre aber verfehlt, darin die Lösung aller Probleme des qualitativen Bodenschutzes zu sehen. Nachsorgende Massnahmen sind in ihren Möglichkeiten grundsätzlich sehr beschränkt. Auch wenn im Einzelfall die technische Machbarkeit gegeben ist, sind Aufwand und Kosten für die Reinigung vergifteter Böden gemessen an dem, was wir für die Erhaltung der Umwelt auszugeben bereit sind, in der Regel enorm.

## Vorbeugender Bodenschutz und Bodenkultur

Nachhaltiger Bodenschutz ist nur durch Vorsorge, das heisst durch Massnahmen an der Quelle gewährleistet. Diese haben zu verhindern, dass übermässige Belastungen und Gefährdungen überhaupt erst entstehen. Wie auch das 1991 abgeschlossene Nationale Forschungsprogramm 22, «Nutzung des Bodens in der Schweiz», bestätigt hat, ist hier eine grundlegende Neuorientierung unserer

Bodenkultur erforderlich (Häberli et al., 1991). Bodenkultur bezeichnet im umfassenden und gesamtheitlichen Sinne die Umgangsformen des Menschen in Bezug auf den Boden und umfasst sämtliche Massnahmen, welche die Bodenqualität direkt oder indirekt beeinflussen. Bodenschutz muss in diesem Sinn nicht erst bei der aktiven Bewirtschaftung, Pflege und Gestaltung von Böden, sondern als allgegenwärtiger Aspekt der Bodenkultur bereits auf der Stufe der Gesetzgebung, der Raumplanung, der Technologieentwicklung und Produktion, sowie natürlich auch bei unserem Konsumverhalten ansetzen. Aufgabe der Hochschule ist es, die in den verschiedenen Handlungsbereichen des Bodenschutzes notwendigen theoretischen Grundlagen zu entwickeln, bereitzustellen und zu vermitteln, sowie qualifizierte Fachleute auszubilden, die diese Grundlagen in die Praxis umsetzen können. An der ETH Zürich ist der qualitative Bodenschutz seit dem 1. 4. 1990 mit der Errichtung der Professur für Bodenschutz im Institut für terrestrische Ökologie eine offizielle Fachdisziplin.

Die Forschungsschwerpunkte des Fachbereichs Bodenschutz beziehen sich auf die zuvor skizzierten Handlungsbereiche und können mit den Stichworten Bodenmonitoring, Risiko- und Auswirkungsanalyse sowie Schutz- und Sanierungsmassnahmen charakterisiert werden. In der Ausbildung ist der Bodenschutz an der ETH Zürich vor allem in den Studiengängen Kulturingenieur und Umweltingenieur an der Abteilung VIII und daneben auch an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften, der Abteilung XB, vertreten. Schwerpunkt der Ausbildung in Bodenschutz sind an der Abteilung VIII die in Form von Fallstudien durchgeführten «Vertiefungsblöcke» und Diplomkurse, in denen die Studenten ebenso wie die Dozenten und Assistenten mit aktuellen Fällen in der Praxis konfrontiert werden und auf diese Weise nicht nur die Schwierigkeiten des Umsetzens naturwissenschaftlich-technischer Theorie in praktisches Handeln, sondern auch hautnah das gesellschaftlich-ökonomische Spannungsfeld der verschiedenen Nutzungsinteressen am Boden erleben.

Um im Sinne des Vorsorgeprinzips wirksam werden zu können, darf eine entsprechende ökologische Bildung nicht das Privileg von Umweltspezialisten sein, sondern sollte wie auch an der ETH die mathematisch-naturwissenschaftliche Grundausbildung zum Grundstudium aller Naturwissenschaftler, Ingenieure und Architekten gehören.

Mit Lehre und Ausbildung ist auch Bewusstseinsbildung verbunden. In der Beziehung unserer Gesellschaft zum Boden dominiert die Tendenz, den Boden als lebloses Substrat zu betrachten. Lebewesen im und auf dem Boden erscheinen in die-

ser Optik als Zusatz, auf den im Grunde auch verzichtet werden könnte. Wortschöpfungen wie das «Strassenbegleitgrün» sind Ausdruck einer solchen Denkweise. Wir müssen akzeptieren lernen, dass das Wesen des Bodens in seiner Lebendigkeit besteht und wir kein Recht haben, ihn als «Dreck» zu behandeln und zu zerstören (Ruh et al., 1990). Dies ist eine Frage der Haltung. Haltungen werden durch Vorbilder geprägt. Von hier geht an den Hochschullehrer wohl der Anspruch aus, dem er am schwierigsten genügen kann, dem er sich aber auch am wenigsten entziehen kann.

## Literatur:

Blume, H.-P. (Hrsg.) 1990. Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und -belastung; vorbeugende und abwehrende Massnahmen. Ecomed, Landsberg/Lech, 686 S.

Bückmann, W., E. Hepperle, Y. H. Lee und M. Lendi 1991. Rechtsprobleme eines Bodenschutzgesetzes. Umwelt- und Planungsrecht, 1991/9.

Gisi, U., R. Schenker, R. Schulin, F. X. Stadelmann und H. Sticher. 1990. Bodenökologie. Thieme, Stuttgart, 304 S.

Häberli, R., C. Lüscher, B. P. Chastonay und C. Wyss. 1991. Bodenkultur – Vorschläge für eine haushälterische Nutzung des Bodens in der Schweiz. Schlussbericht des Nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22), Verlag der Fachvereine, Zürich, 192 S.

Leimbacher, J. und P. Saladin. Die Natur – und damit der Boden – als Rechtssubjekt. Nationales Forschungsprogramm «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22), Bericht 18. Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 71 S.

Lynch, J. M. 1990. The Rhizosphere. Wiley, Chichester, 458 pp.

Meyer, K. 1991. Bodenverschmutzung in der Schweiz. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22). Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 240 S.

Mosimann, Th., A. Maillard, A. Musy, J.-A. Neyroud, M. Rüttimann und P. Weisskopf.

1991. Erosionsbekämpfung in Ackerbaugeländen. Themenbericht des Nationalen Forschungsprogrammes «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22). Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 187 S.

Püttmann, W., 1990. Kriterien zur Beurteilung von Sanierungsverfahren auf mikrobiologischer Basis. In: Rosenkranz, D., G. Einsele und H.-M. Harress. 1988. Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Erich Schmidt Verlag, Berlin, §6440, 25 S.

Richard, F., P. Lüscher und Th. Strobel. 1978, 1981 und 1983. Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf, Sonderreihe, Band 1, 2 und 3.

Rotach, M. 1988. Szenarien der Bodennutzung. In: Brassel, K. E. und M. C. Rotach (Hrsg.). Die Nutzung des Bodens in der Schweiz. Zürcher Hochschulforum Bd. 11, Verlag der Fachvereine Zürich, S. 5–24.

Ruh, H., F. Brugger und C. Schenk. 1990. Ethik und Boden. Nationales Forschungsprogramm «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22), Bericht 52. Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 90 S.

Schnider, F., W. Attinger und H. Flüeler. 1989. Die räumliche Variabilität des pH im Oberboden und die Nachweisbarkeit von zeitlichen pH-Änderungen. Schweiz. Z. Forstwes. 140: 475–481.

Sextone, A. J., N. P. Revsbech, T. B. Parkin, and J. M. Tiedje. 1985. Direct Measurement of Oxygen Profiles and Denitrification Rates in Soil Aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 645–651.

Sims, R. C. 1990. Soil remediation techniques at uncontrolled hazardous waste sites – a critical review. J. Air Waste Manage. Assoc. 40: 704–732.

Stevenson, F. J. 1982. Humus Chemistry. Wiley, New York, 443 pp.

Sticher, H. 1991. Schutz der natürlichen Ressourcen – Das Beispiel Boden. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich 136/3: 137–149.

Stigliani, W. M., P. Doelman, W. Salomons, R. Schulin, G. R. B. Smidt, and S. E. A. T. M. van

der Zee. 1991. Chemical Time Bombs – Predicting the Unpredictable. Environment 33 (4): 4–9 and 26–30.

Tate, R. L. 1987. Soil Organic Matter. Wiley, New York, 291 pp.

Ulrich, B. 1983. Belastung und Belastbarkeit von Waldökosystemen mit Luftverunreinigungen. Allg. Forst.- u. Jagd-Ztg. 154: 76–82.

von Steiger, B. und P. Baccini. 1989. Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Ausstrag. Nationales Forschungsprogramm «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22), Bericht 38. Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 78 S. + Anh.

Webster, R. 1985. Quantitative Spatial Analysis of Soil in the Field. Adv. Soil Sci. 3: 1–70.

Weisskopf, P., P. Schwab, F. Jäggli, E. Kramer, K. Peyer und R. Studer. 1988. Die Verdichtungsgefährdung schweizerischer Ackerböden. Nationales Forschungsprogramm «Nutzung des Bodens in der Schweiz» (NFP 22), Bericht 20. Schwarzenburgstr. 179, CH-3097 Liebefeld-Bern, 128 S.

Wilderer, P. A. und H.-P. Kabbalo (Hrsg.). 1991. Behandlung kontaminierter Böden. 15. Mülltechnisches Seminar, Ber. aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft, TU München, Heft Nr. 108, hb-Druck, München, 230 S.

Winistörfer, D. 1989. Belastungsfall Pratteln – «Metastasenbildung» sowie Sinn und Zweck eines Belastungskatasters. Dokumentation zur Tagung «Belastete Böden», 14. Nov. 1989, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, S. 23–24.

Zäch, C. 1989. Belastete Böden: Massnahmen nach der Umweltschutzgesetzgebung des Bundes. Vortrag an der BUWAL-Tagung «Belastete Böden», Bern, 14. November 1989.

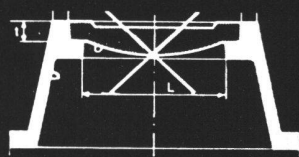
## Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. Rainer Schulin  
Institut für terrestrische Ökologie der ETH  
Zürich  
Fachbereich Bodenschutz  
Grabenstrasse 3/11a  
CH-8952 Schlieren

Mehr Sicherheit im Strassenverkehr mit

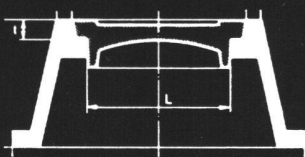
## Chrétien-Polygonkappen

**Bisher:**



Deckel nur eingelegt

**Verbesserte Ausführung:**



Deckel geführt



seit 1883

**Chrétien & Co.**  
Eisen- und Metallguss  
4410 Liestal

**Tel. 061 / 921 56 56**