

Schutz der natürlichen Ressourcen – Das Beispiel Boden

Hans Sticher, ETH Zürich

Bodenschutz umfasst alle direkten und indirekten Massnahmen, welche dazu beitragen, die Funktionen des Bodens in ihrer Gesamtheit und in ausgewogenem Verhältnis auf lange Frist nachhaltig zu bewahren. Im Sinne der Erhaltung des Bodens als Lebensraum und Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen geht es also darum, ausreichende Flächen für die Primärproduktion freizuhalten, die Fruchtbarkeit dieser Flächen langfristig sicherzustellen, ökologische Ausgleichsflächen auszuscheiden und den Landverbrauch so weit wie möglich zu begrenzen.

Ausgehend von allgemeinen Überlegungen zur Gefährdung der Bodenqualität durch den Menschen wird die Bodenschutzpolitik der Schweiz vorgestellt. Betroffene Massnahmen werden kritisch gewürdigt, und vereinzelt werden notwendige Ergänzungen vorgeschlagen.

Conservation of our Natural Resources – the Soil Case

Soil protection includes all direct and indirect measures which support the conservation of the different soil functions in a balanced proportion. In order to preserve the soil as the basis of life and as an adequate habitat of mankind, animals and plants, it is essential to keep a sufficient area for primary production, to secure fertility and productivity of the soil at long sight, to maintain adequate nature protection reserves and to limit land consumption.

Following general considerations about the endangering of soil quality by human activities, the soil protection policy of Switzerland is presented, present regulations are critically reviewed and some supplementary measures are suggested.

1 Einleitung

Die Kontamination der Umwelt mit toxischen Substanzen macht sich in der Atmosphäre und Hydrosphäre rasch durch eine fühlbare Verschlechterung von Luft- und Wasserqualität bemerkbar. Im Gegensatz dazu reagiert die Pedosphäre als wirksames Filter- und Puffersystem gegenüber Kontaminationen eher langsam. Es erstaunt deshalb nicht, dass der Boden bis in die jüngste Zeit hinein als willkommene Senke galt, in die man praktisch alles, was man zu entsorgen hatte, getrost und scheinbar ohne Folgen vergraben durfte. Dass man sich der Gefahr, welche diesem Gebahren innewohnte, nicht eher bewusst wurde, hat wohl zwei Gründe: Zum einen wird der Boden als «chemisch-biologischer Reaktor» mit vielen eingebrachten Stoffen durch Abbau und Mineralisierung rasch fertig. Zum anderen sind die Erträge in der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten durch Nutzungsintensivierung dermassen in die Höhe geschneit, dass allfällige Schäden weitgehend überdeckt wurden. Die Wende kam Anfang der siebziger Jahre, als erste Meldungen über erhöhte Schwermetallgehalte in Böden von Ballungsgebieten, entlang von stark befahrenen Verkehrsachsen und von klärschlammgedüngten Flächen veröffentlicht wurden. Die Argumentation war zunächst linear: verschmutzter Boden – kontaminierte Nahrung – Gefährdung der Gesundheit. Allmählich setzte sich aber die Einsicht durch, dass der

Boden als solcher, mit der Vielfalt seiner verschiedenen Funktionen im terrestrischen Ökosystem, bedroht sein könnte, zumal neben der zunehmenden Verschmutzung auch in unserem Lande immer deutlicher die Folgen bodenschädigender Prozesse wie Erosion, Strukturdegradation und Verdichtung zutage traten. Die Beanspruchung von grossen Flächen für die immense Bautätigkeit führte ausserdem zu Verdrängungseffekten und Intensivierungsmassnahmen, was den Druck auf den Boden im weitesten Sinne zusätzlich erhöhte. Verbunden damit war die Zerschneidung und Ausmerzung von naturnahen Ausgleichsflächen und in der Folge davon das Aussterben zahlreicher Tier- und Pflanzenarten.

Mit steigender Einsicht in die komplexen Zusammenhänge zwischen technisch-ökonomischem Fortschritt und Bodenqualität erwuchs die Erkenntnis der Notwendigkeit eines umfassenden, integralen Bodenschutzes.

Ausgehend von den mannigfaltigen, miteinander vernetzten Funktionen der Pedosphäre wird in den folgenden Ausführungen aufgezeigt, wo die heutige Gefährdung des Bodens liegt, welche Auswirkungen allenfalls zu befürchten sind und welche Massnahmen zu treffen sind, um den anstehenden Gefahren wirksam zu begegnen. Im Bewusstsein, dass die Probleme auf globaler Basis teilweise anders geartet sind – Erosion, Versalzung und Wüstenbildung stehen weltweit im Vordergrund –, beschränkt sich der vorliegende Aufsatz im Sinne eines Fallbeispiels auf den hochindustrialisierten westeuropäischen Raum und, was die konkreten Massnahmen anbelangt, auf unser eigenes Land.

2 Der Boden und seine Funktionen

2.1 Der Boden als Teil des terrestrischen Ökosystems

Der Boden ist der schmale Grenzbereich der Erdoberfläche, in dem sich Lithosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre überlagern. Der Boden stellt das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen dar, welches in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen. Er bildet damit die Grundlage für das Leben von Mensch und Tier.

Unter dem Einfluss der Umweltfaktoren Muttergestein, Klima, Relief und Lebewesen (Flora, Fauna, Mikroorganismen) laufen an der Erdoberfläche komplexe Vorgänge ab, welche im Laufe von langen Zeiträumen zu einer breiten Palette verschiedenster Bodentypen führen:

- Das Muttergestein wird physikalisch, chemisch und biologisch zerkleinert, abgebaut und umgewandelt; es verwittert.
- Abgestorbene Lebewesen pflanzlicher und tierischer Herkunft werden von Bodentieren und Mikroorganismen zersetzt, umgewandelt und dem Boden einverleibt; sie werden zu Humus.
- Ausgangsstoffe und Produkte der Verwitterung und Humifizierung werden in und auf dem Boden, in Lösung oder als Partikel, verlagert.

– Im Kontakt miteinander werden die Bodenbestandteile durch Kittstoffe, welche teilweise biologischen Ursprungs sind, miteinander verbunden; im Nahbereich bildet sich eine neue Anordnung, ein bodeneigenes Gefüge (Krumel, Bröckel).

Durch das Zusammenwirken dieser Bodenbildungsprozesse entsteht eine charakteristische Abfolge von mehr oder weniger scharf gegeneinander abgegrenzten Schichten, welche man als Bodenhorizonte bezeichnet. Je nach Vorhandensein, Mächtigkeit und Abfolge solcher Horizonte unterscheidet man verschiedene Bodentypen, welche zu Bodenklassen und Bodenverbänden zusammengefasst werden. So findet man im Jura auf Kalkstein die *Rendzina*, einen Bodentyp, bei welchem wenige Dezimeter humoser, neutraler Oberboden direkt auf dem Kalkschutt oder Kalkfels aufliegt. Auf den Moränen und Schottern des Mittellandes herrschen *Braunerden* und *Parabraunerden* vor, bei welchen unter dem schwach sauren, humosen Oberboden eine bis 1 Meter mächtige rostfarbige Verwitterungsschicht folgt. Und schliesslich finden wir im Alpenraum, meist unter Nadelwäldern, das *Podzol* mit einer mehr oder minder mächtigen Auflage von stark saurem Rohhumus. Die grossen Unterschiede der physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie sie aus der vorstehenden Kurzbeschreibung hervorgehen, führen zu einer unterschiedlichen standörtlichen Gefährdungsempfindlichkeit, welche es bei der Evaluation von präventiven Bodenschutzmassnahmen zu berücksichtigen gilt (s. u.).

Die Umweltfaktoren, welche die Entwicklung des Bodens beeinflussen, bestimmen auch die standörtliche Ausbreitung von Flora und Fauna. Boden, Flora und Fauna stehen damit in einer engen Beziehung zueinander; sie bilden ein Ökosystem. Dieses strebt einem Klimaxstadium entgegen, in welchem die Kompartimente des Systems untereinander und das System als Ganzes mit den Umweltfaktoren im Gleichgewicht stehen.

Wo der Mensch in das System eingreift, erfolgt eine Störung des Gleichgewichtszustandes, wobei der Ausdruck Störung hier zunächst nicht in wertendem Sinne zu verstehen ist. Mit seinen Eingriffen (Rodung, Ackerbau, Düngung, Bewässerung, Überbauung usw.) schafft der Mensch neue, anthropogene Ökosysteme (Kulturlandschaften mit Kulturböden), welche mit der Umgebung nicht mehr im Gleichgewicht stehen. Zu deren Erhaltung ist eine dauernde Bearbeitung (Zufuhr von Energie) notwendig.

2.2 Funktionen des Bodens

Der Boden erfüllt im Kreislauf der Natur und im Dienste des Menschen vielfältige Funktionen, welche sich entsprechend ihrem Bezug zum Menschen in drei Gruppen einteilen lassen (Tab. 1).

Die verschiedenen Funktionen des Bodens überlagern sich gegenseitig in unterschiedlichem Masse. So kann ein Standort gleichzeitig alle ökologischen Funktionen wahrnehmen. Wird er jedoch überbaut, so werden diese Funktionen hinfällig, der Boden erfüllt aber weiterhin seine Funktion als Sachwert, wenn

Tabelle 1 Die verschiedenen Funktionen des Bodens

Table 1 The different functions of the soil

Ökologische Funktionen	Sozioökonomische Funktionen	Immaterielle Funktionen
Der Boden ist: Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen Lebensgrundlage für Pflanzen, Tiere und Menschen effizientes Filter-, Puffer- und Speichersystem biologisch-chemischer Reaktor	Der Boden dient dem Menschen als: Produktionsgrundlage für Nahrungs- und Futtermittel Produktionsgrundlage für pflanzliche Rohstoffe Fläche für Siedlung, Arbeit, Erholung und Verkehr Lagerstätte für Bodenschätze und Energiequellen Lagerstätte für Abfälle Sachwertanlage	Der Boden ist: prägendes Landschaftselement und trägt als solches zum Erlebnis- und Erholungswert der Landschaft bei ein Archiv der Natur- und Kulturgeschichte

auch in geänderter Bewertung. Je nach räumlicher Lage und zeitbezogener Werthaltung der Gesellschaft tritt die eine oder andere Funktion in den Vordergrund und wird entsprechend höher geschätzt, es kommt zu einer Funktionsteilung: Es werden Landwirtschaftszonen, Bauzonen, Gewässerschutzzonen usw. ausgeschieden. Wenn sich der Mensch eine Funktion des Bodens dienstbar macht, spricht man von Bodennutzung. Steht genügend Fläche zur Verfügung, lassen sich die verschiedenen Nutzungsansprüche nebeneinander befriedigen. Wo jedoch der Boden knapp wird, kommt es zu Nutzungskonflikten und in der Folge zu partieller Übernutzung. Um den verschiedenen Ansprüchen an den Boden gerecht zu werden, sind deshalb Raumordnungsmassnahmen unabdingbar.

3 Kriterien der Bodenbewertung

3.1 Bodenqualität

Den Ausdruck Störung, der oben im Zusammenhang mit dem Eingriff des Menschen in das natürliche Ökosystem wertneutral verwendet wurde, empfinden wir im Alltag mehrheitlich negativ, also als Gefährdung oder Bedrohung. Es wäre allerdings wenig sinnvoll, einen ertragreichen Ackerboden, der über Jahrhunderte sorgsam gepflegt wurde, wegen dieses Eingriffs schlechter einzustufen als einen unbebauten Steppenboden. Wir stehen damit vor einem Dilemma. Aus der Sicht des naturbelassenen Ökosystems ist derjenige Boden gut, der mit den standörtlichen Gegebenheiten im Einklang steht, mag er nun versauert, vernässt, versalzt oder sonstwie geartet sein. Bodenschutz in diesem Sinne ist

Standortschutz und als solcher eine unabdingbare Komponente des Naturschutzes (z. B. Erhaltung von ökologischen Ausgleichsflächen). Aus der Sicht der Nutzung ist der fruchtbare Boden gut, und Bodenschutz in diesem Sinne bedeutet Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Um dem Begriff Fruchtbarkeit, an dem wir die Bodenqualität zu messen haben, im weitesten Sinne gerecht zu werden, seien hier zunächst einmal die drei Bedeutungsebenen des Ausdrucks Bodenqualität definiert.

Die erste Ebene bezieht sich auf die physische Beschaffenheit, auf messbare Grössen. Bezugseinheiten sind Meter, Kilogramm, Sekunde, Mol, Kelvin usw. Messgrössen für den Boden sind etwa der pH-Wert, die Dichte, die Porosität, der Stoffgehalt. Auf dieser Ebene von Gefährdung zu sprechen, wäre sinnlos. Das zutreffende Wort ist die Veränderung.

Die zweite Bedeutung von Qualität bezieht sich auf die Güte, auf Wertinhalte. Auch diese sind zunächst physikalisch erfassbar und messbar; die Messgrössen werden jedoch anhand einer festgelegten (allerdings nach Ort und Zeit wandelbaren) Skala bewertet. Veränderung bedeutet damit Wertzuwachs oder Wertverlust. Beispiele sind der Nährstoffgehalt, der Schadstoffgehalt und als Ganzes die Fruchtbarkeit.

Die dritte Bedeutung von Qualität spricht das subjektive Empfinden an, ist also eine Frage von Ästhetik und Emotion. Hier versagen physikalische Messgrössen, obwohl das Objekt der Empfindung durchaus gegenständlich erfassbar ist. Die Schönheit einer Landschaft, welche durch die (messbare) Beschaffenheit und Güte ihres Bodenverbandes geprägt ist, gehört hierzu, ebenso die Erhabenheit der Wüste oder die Melancholie des Moores.

3.2 Bodenfruchtbarkeit

Da mit einem umfassenden Bodenschutz nicht nur das Produktionspotential (d. h. die Ertragsfähigkeit) des Bodens auf lange Sicht bewahrt, sondern darüber hinaus auch die Gesundheit von Mensch und Tier sichergestellt werden soll, sind Bewertungskriterien so festzulegen, dass alle Aspekte des Schutzes gewährleistet sind. Als grundsätzliches Beurteilungskriterium kann eine Definition der Bodenfruchtbarkeit herangezogen werden, welche die erwähnten Aspekte vollumfänglich berücksichtigt und neben der langfristigen Aufrechterhaltung des Ertragspotentials auch eine konsumentenfreundliche Qualität der erzeugten Produkte anstrebt.

Gemäss Art. 2 der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) ist ein Boden fruchtbar, wenn er

- a. eine artenreiche und biologisch aktive Tier- und Pflanzenwelt, eine für seinen Standort typische Struktur und eine ungestörte Abbaufähigkeit besitzt;
- b. das ungestörte Wachstum und die Entwicklung natürlicher und vom Menschen beeinflusster Pflanzen und Pflanzengesellschaften ermöglicht und ihre charakteristischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt;

- c. gewährleistet, dass pflanzliche Erzeugnisse eine gute Qualität aufweisen und für Menschen und Tiere gesundheitlich verträglich sind.

4 Bodengefährdung

4.1 Qualitative Schäden

Im Verlaufe ihrer Entwicklung sind Böden den unterschiedlichsten Naturgewalten ausgesetzt. Erosion, Versalzung, Versauerung, Verödung sind in ihrer Art natürliche Ereignisse, welche je nach Klimazone boden- und landschaftsprägend waren. Wenn heute von Bodengefährdung die Rede ist, so sind damit jene Gefahrenpotentiale gemeint, welche infolge der menschlichen Aktivität die ökologischen Funktionen des Bodens beeinträchtigen und seine Fruchtbarkeit und Regenerationskraft verringern. Qualitativen Schaden erleidet der Boden durch den Eintrag und die Anreicherung von toxischen Stoffen (Schwermetalle, Chlorkohlenwasserstoffe usw.) sowie unter der Veränderung chemischer, biologischer und physikalischer Eigenschaften (Verdichtung, Verschlammung, Versauerung, Humusverlust, Strukturdegradation, Abnahme der biologischen Aktivität). Intensivnutzung und Übernutzung führen zur Zerschneidung und Ausmerzungen von Freiräumen und verursachen in der Folge das Aussterben zahlreicher Tier- und Pflanzenarten. Wie in jedem komplexen System kann ein Schaden an einem Teilsystem eine Kaskade von Folgereaktionen nach sich ziehen, welche im Endeffekt den Zustand des Bodens als Ganzes mitsamt seinen Funktionen beeinträchtigen. So kann der Einsatz schwerer Maschinen den Boden verdichten, die Porosität verringern, den Gasaustausch reduzieren, das Redoxpotential senken, das Pflanzenwachstum hemmen, den Ertrag verkleinern und als Konsequenz davon die Fruchtbarkeit und die Produktivität vermindern.

4.2 Quantitativer Bodenverlust

Überbauung und Versiegelung von Flächen führen zu quantitativen Bodenverlusten, die nur mit unverhältnismässigem Aufwand rückgängig gemacht werden können. In der Schweiz beträgt der Bodenverbrauch für Wohnen, Industrie, Gewerbe und Verkehr um 30 km^2 pro Jahr. Weltweit wird der jährliche Verlust an nutzbarem Boden auf $40\,000 \text{ km}^2$ geschätzt, wozu allerdings neben der Überbauung nutzungsbedingte Prozesse wie Erosion, Versalzung und Wüstenbildung in erheblichem Masse beitragen.

5 Bodenschutz

5.1 Definition und Aufgaben des Bodenschutzes

Unter den Begriff Bodenschutz fassen wir alle direkten und indirekten Massnahmen zusammen, welche dazu beitragen, die Funktionen des Bodens in ihrer

Gesamtheit und in ausgewogenem Verhältnis auf lange Frist nachhaltig zu bewahren. Voraussetzung dafür ist die haushälterische Nutzung des Bodens. Im Sinne der Erhaltung des Bodens als Lebensraum und Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen geht es also darum, ausreichende Flächen für die Primärproduktion freizuhalten, die Fruchtbarkeit dieser Flächen langfristig sicherzustellen, ökologische Ausgleichsflächen auszuscheiden und den Landverbrauch so weit wie möglich zu begrenzen.

Der direkte Bodenschutz umfasst Massnahmen am Boden selbst. Darunter fallen bodenschonende Bearbeitung, angepasste Düngung, integrierter Pflanzenbau, geeignete Fruchtfolge, aber auch Erosionsschutz, Wildbachverbauung und Hangstabilisierung. Der direkte Bodenschutz ist somit in erster Linie Sache des Landwirts, Försters und Kulturtechnikers; er liegt aber ebenso im Verantwortungsbereich von Genossenschaften, Korporationen und Gemeinden.

Der indirekte Bodenschutz umfasst alle Massnahmen, welche den Boden vor verschlechternden und zerstörenden Einflüssen von aussen bewahren. Die Verminderung von Schadstoffemissionen aus Industrieanlagen und Verkehrsmitteln gehört ebenso dazu wie (auf immaterieller Ebene) die Aufklärung und Ausbildung der Bevölkerung. Der indirekte Bodenschutz ist Sache der gesamten Gesellschaft.

5.2 Komponenten des Bodenschutzes

Zur Erreichung und Durchsetzung eines umfassenden Bodenschutzes sind Anstrengungen auf allen Ebenen notwendig, so auf der staatlich-gesetzgeberischen Ebene, auf der Ebene der industriellen Produktion und der Landwirtschaft und schliesslich auf der Ebene des einzelnen in der Gesellschaft.

Anstelle theoretischer Überlegungen, welche hier am Platze wären, soll im folgenden Abschnitt konkret aufgezeigt werden, was in unserem Lande zum Schutze des Bodens bislang unternommen wurde und wo allenfalls Ergänzungen bzw. Korrekturen anzubringen sind.

6 Bodenschutz in der Schweiz

6.1 Der Bodenschutz in Verfassung, Gesetzen und Verordnungen

1971 wurde mit Zustimmung des Volkes ein Umweltschutzartikel in der Bundesverfassung verankert, der insbesondere die Bekämpfung von Luftverunreinigungen und Lärm vorsah:

Art. 24^{septies}

¹ Der Bund erlässt Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt gegen schädliche oder lästige Einwirkungen. Er bekämpft insbesondere die Luftverunreinigung und den Lärm.

² Der Vollzug der Vorschriften wird, soweit das Gesetz ihn nicht dem Bunde vorbehält, den Kantonen übertragen.

Erst 14 Jahre später (1. 1. 1985) wurde das auf diesem Artikel fussende Umweltschutzgesetz in Kraft gesetzt. Die den Boden betreffenden Artikel im Gesetzestext lauten:

Art. 14 Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen

Die Immissionsgrenzwerte für Luftverunreinigungen sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte

- a. Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume nicht gefährden;
- b. die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören;
- c. Bauwerke nicht beschädigen;
- d. die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation und die Gewässer nicht beeinträchtigen.

Art. 33 Richtwerte für Bodenbelastungen

Für die Beurteilung der Belastung des Bodens mit schädlichen und nicht oder nur schwer abbaubaren Stoffen kann der Bundesrat Richtwerte festlegen. Sie sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrungen Belastungen unterhalb dieser Werte die Fruchtbarkeit des Bodens auch langfristig nicht beeinträchtigen.

Art. 34 Grundsatz

Der Schutz des Bodens gegen Belastungen durch Luftverunreinigungen, umweltgefährdende Stoffe und Abfälle wird in den Vorschriften nach den Artikeln 12, 14, 29 und 32 berücksichtigt.

Art. 35 Vorschriften der Kantone

Für Gebiete, in denen die Bodenfruchtbarkeit stark gefährdet oder bereits beeinträchtigt ist, legen die Kantone im Einvernehmen mit dem Bundesrat verschärfte Emissionsbegrenzungen fest oder beschränken die Verwendung von Stoffen im erforderlichen Mass.

Das Umweltschutzgesetz gibt dem Bundesrat die Möglichkeit, Verordnungen zum Schutze der Umwelt, also auch des Bodens, zu erlassen. Der Vollzug liegt aber bei den Kantonen.

Die bisher einzige, den Boden direkt betreffende Verordnung wurde auf den 1. 9. 1986 in Kraft gesetzt (VSBo). Obwohl darin als Schadstoffe namentlich Schwermetalle und chlorhaltige organische Verbindungen aufgeführt sind, enthält die Verordnung lediglich Richtwerte für die Schwermetalle und Fluor. Dass von der Festlegung von Richtwerten für chlorierte und andere organische Verbindungen (z. B. PCB, PAK) abgesehen wurde, lässt sich vertretbar begründen. So wird in den Erläuterungen zur VSBo dargelegt:

«Inzwischen hat sich aber die Meinung durchgesetzt, dass solche Stoffe gar nicht anhand von Richtwerten beurteilt werden dürfen, da allein schon ihr Vorhandensein im Boden auf eine mögliche Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit hinweist. Zulässige Gehalte darf es für diese Stoffe nicht geben» (BUS, 1987).

Von der Begründung her sind Richtwerte tiefer angesetzt als Grenzwerte. Während ein Grenzwert die apodiktische Forderung nach dem «Bis hierher und nicht weiter» beinhaltet, weist der Richtwert auf die Notwendigkeit von Massnahmen hin, bevor bereits Schädigungen wirksam sind. Wenn auch von der Idee her nicht ganz deckungsgleich, werden Richtwerte daher oft auch als Interventionswerte interpretiert.

Da der Boden im Kreislauf der Ökosphäre das trügste Kompartiment darstellt, das für viele Umweltgifte eine Senke bildet, kommt dem Schutz der

anderen Kompartimente (Wasser, Luft) im Hinblick auf einen wirksamen Bodenschutz eine mitentscheidende Bedeutung zu. Stoffe, die nicht in die Luft gelangen, belasten letztlich auch den Boden nicht. Aus diesem Grund wird der Bodenschutz indirekt auch durch Verordnungen, welche sich mit dem Wasser, der Luft und der Vegetation befassen, geregelt. Es sind dies:

- Klärschlammverordnung (8. 4. 81)
- Luftreinhalte-Verordnung (16. 12. 85)
- Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (27. 2. 86)
- Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, 9. 6. 86).

6.2 Bodenbeobachtungsnetze

Zur Erfassung der aktuellen und zukünftigen Belastung des Bodens mit Schadstoffen wurde 1984 das Nationale Beobachtungsnetz Boden (NABO) eingerichtet. Im Rahmen des NABO werden die 11 in der VSBo aufgeführten Elemente Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Tl, Zn und F an 100 über das ganze Land verteilten charakteristischen Standorten periodisch erfasst. Weitere Schadstoffe, wie z. B. polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und polychlorierte Biphenyle (PCB), sollen dazukommen, sobald die notwendigen Grundlagen dazu vorhanden sind. Analoge Beobachtungsnetze werden zurzeit, in einem feineren Raster, von den Kantonen aufgebaut (KABO). Erste Resultate aus der gesamtschweizerischen Erhebung (H. Vogel et al., 1989) und aus dem Kanton Zürich (T. Wegelin, 1990) liegen vor (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2 Schwermetallgehalte in ausgewählten Schweizerischen Böden (Totalgehalte* im Oberboden. Angaben in $\text{mg} \times \text{kg}^{-1}$; in Klammern Richtwerte nach VSBo)

Table 2 Heavy metal content of selected Swiss soils (Total content* in the top soil, in $\text{mg} \times \text{kg}^{-1}$. In parenthesis: guide levels according to VSBo, 1986)

Element	Mittelland (Swiss Plateau) Vogel et al. 1989 247 Proben		Kanton Zürich (Canton of Zurich) Wegelin 1990 425 Proben	
	Median	80%-Wertebereich	Median	80%-Wertebereich
Cd (0,8)	0,23	0,11 – 0,45	0,33	0,10 – 0,62
Cu (50)	23,3	9,0 – 61,0	21,7	9,0 – 42,6
Ni (50)	23,5	12,5 – 39,0	30,1	16,5 – 51,0
Pb (50)	23,8	13,5 – 40,5	32,1	19,4 – 54,2
Zn (200)	56,1	33,0 – 94,0	60,4	36,3 – 103,0
Hg (0,8)	n. b.	n. b.	0,14	0,08 – 0,34

* Extraktion mit 2 M HNO_3 bei 100°C (nach VSBo, 1986)

Ein Bodenbeobachtungsnetz vermag bei zweckmässiger Anlage einen flächenhaften Überblick über die aktuelle Schadstoffsituation im Boden einer Re-

gion bzw. eines Landes zu vermitteln. Für die Erfassung der Gesamtbelastung sind aber der gezielte Eintrag in das Kataster und die Überwachung von potentiellen Emittenten ebenso notwendig wie das Aufspüren von vergessenen Altlasten, da solche mit den üblichen Netzen kaum oder nur zufällig entdeckt werden.

Im Hinblick auf die zeitliche Verfolgung der Schadstoffsituation und eine daraus abzuleitende Prognose bringt ein flächenhaftes Beobachtungsnetz wenig. Diese Behauptung kann durch eine einfache Rechnung illustriert werden: Wenn wir annehmen, dass einer Hektar Ackerfläche über atmosphärische Deposition und über landwirtschaftliche Hilfsstoffe jährlich 400 g Kupfer zugeführt werden und dass durch Pflanzenaufnahme und Tiefensickerung 100 g weggehen, so bleibt ein jährlicher Zuwachs von 300 g. Verteilt auf die obersten 20 cm Boden ergibt dies einen Anstieg des Gehaltes um 0,125 ppm pro Jahr. Wegen der räumlichen und auch analytischen Variabilität liegt aber die Differenz des Mittelwertes (oder auch Medians) zweier Probenkollektive auch bei grosser Stichprobenzahl meist weit über diesem Wert. Eine Beprobungssequenz von 5 Jahren, wie sie ursprünglich im Rahmen des NABO vorgesehen war, scheint unter diesem Gesichtspunkt wenig ergiebig.

Ein erfolgversprechender, wenn auch aufwendiger Weg für die Prognose der zukünftigen Schadstoffbelastung zeichnet sich in der Erfassung und Modellierung von betrieblichen und regionalen Stoffflüssen ab, wie sie im Rahmen des NFP 22 von B. Richner und F. Moos ((1989) sowie von Von Steiger und Baccini (1990) mit grosser Sorgfalt durchgeführt worden sind (Bild 1). Die sequentielle Beprobung der Beobachtungsstandorte wird durch solche Prognosen nicht obsolet, doch kann der Aufwand durch die Verringerung der Standorte beträchtlich reduziert werden. Ausserdem zeigen solche Stoffflussmodelle schon heute an, wo der Bodenschutz prioritär ansetzen sollte, um eine möglichst hohe Reduktion der Schadstoffimmissionen zu bewirken.

6.3 Forschung und Ausbildung

Auf Forschungsebene wurde 1986 nach einer mehrjährigen Vorbereitungsphase das Nationale Forschungsprogramm Nutzung des Bodens in der Schweiz (NFP 22) ins Leben gerufen. Ziel dieses praxisorientierten Programms war es, Lösungsvorschläge für eine haushälterische Nutzung des Bodens zu erarbeiten. Im Hinblick auf ein neues Verständnis des Menschen zur Natur (zum Boden) sollten Wege aufgezeigt werden, um

- die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten,
- den Bodenverbrauch zu vermindern,
- die Bodennutzung (im weitesten Sinne) besser zu verteilen.

Die rund 60 in diesem Rahmen durchgeführten Forschungsprojekte wurden bis Ende 1990 abgeschlossen. Die entsprechenden Berichte liegen in gedruckter Form vor (Berichte 1 bis 65 des NFP Boden, Liebefeld-Bern, 1988–1990). Sogenannte Themenberichte, welche 1991 erscheinen, fassen die Resultate und Empfehlungen verwandter Projekte vergleichend und abwägend zusammen

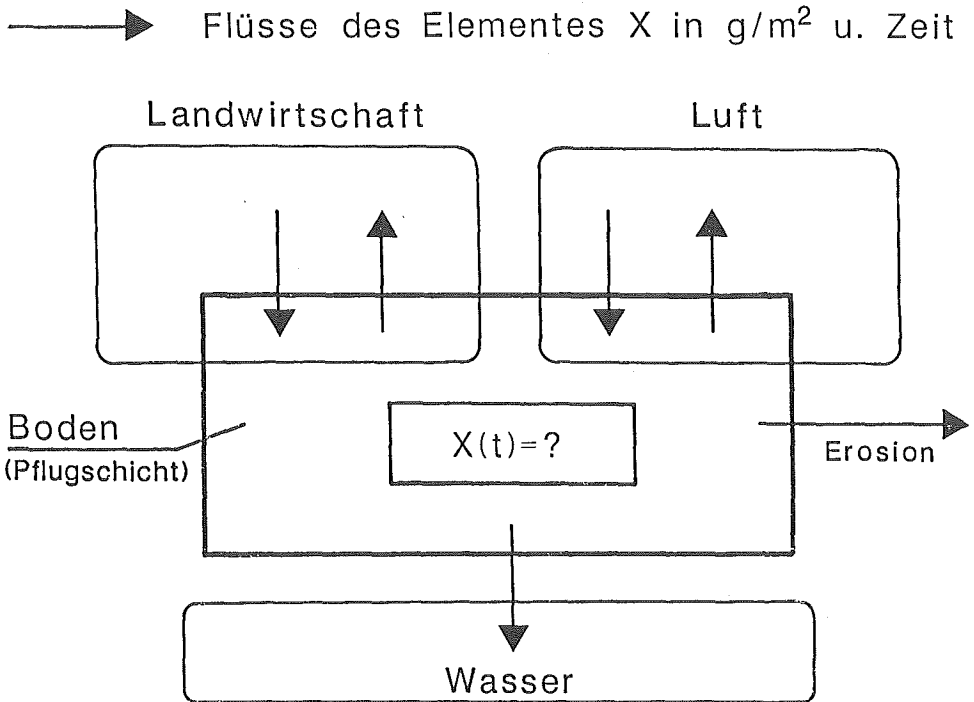


Bild 1: Schematische Darstellung des Elementflusses landwirtschaftlich genutzter Böden. Der Ausdruck $X(t)$ steht für die Konzentration des Elementes X zur Zeit t (aus P. Baccini et al., 1988).

Fig. 1: Schematic representation of the element fluxes in agricultural soils. The term $X(t)$ signifies the concentration of element X at time t (from P. Baccini et al., 1988).

(z. B. Meyer, 1991). Die Synthese des ganzen Programms soll schliesslich in eine nationale Bodenschutz- und Boden-Sparstrategie ausmünden (R. Häberli et al., 1991).

Auf der Ausbildungsebene hat der Bodenschutz durch die Einführung von entsprechenden Diplom- und Nachdiplomstudiengängen an verschiedenen Hochschulen und technischen Lehranstalten sowie durch die Schaffung neuer Lehrstühle für Bodenwissenschaften (Uni BE, ETHZ) an Gewicht gewonnen. Für den Einbezug der Bodenproblematik in den Mittelstufenunterricht fehlten bislang Unterlagen für praktische Arbeiten im Felde. Mit dem Pilotprojekt «Bodenleben begreifen, schätzen und erhalten» (Widmer, 1990, a, b), welches im Auftrag des NFP Boden die Möglichkeit der Umsetzung von Forschungsergebnissen in der Schule abklärte, wurde diese Lücke geschlossen.

7 Schlussfolgerungen

Aufgrund der bisherigen Resultate der verschiedenen Beobachtungsnetze und ergänzender Erhebungen, welche im Rahmen des NFP 22 durchgeführt wurden,

liegt heute für die Schweiz ein guter Überblick über die Belastungssituation mit Bezug auf die in der VSBo aufgeführten Elemente vor (vgl. K. Meyer, 1991). Darnach weist der überwiegende Teil der Landesfläche Schwermetallgehalte auf, welche unterhalb des halben Richtwertes liegen. Vereinzelt finden sich jedoch in der Umgebung starker Emittenten hochbelastete Flächen, bei denen einzelne Elemente den Richtwert bis zu einem Mehrfachen überschreiten. Da die bestehenden Beobachtungsnetze mit ihrer Rasterstruktur solche Flächen (in der Mehrzahl Altlasten) eher zufällig entdecken, wird es Aufgabe der kommenden Jahre sein, gezielt darnach zu suchen und die verursachenden Emittenten zu ermitteln.

Über den zeitlichen Verlauf der Belastung vermögen die Beobachtungsnetze wegen der hohen räumlichen Variabilität kaum gesicherte Aussagen zu machen. Statt häufiger Messungen wird daher vorgeschlagen, in Zukunft die Beobachtungsnetze durch Stoffflusserhebungen zu ergänzen.

Über die Belastung des Bodens mit organischen Schadstoffen sind nur punktuelle Kenntnisse vorhanden. Wegen der Vielfalt der diesbezüglichen Stoffgruppen wird es nicht einfach sein, entsprechende Richtwerte festzulegen. Möglicherweise werden hier nicht chemische Gehaltsbestimmungen, sondern biologische Wirkungstests eingesetzt werden müssen.

Die Bodenfruchtbarkeit als integrale Grösse der Bodenqualität ist indessen nicht allein durch Schadstoffe gefährdet. Übernutzung, Strukturdestabilisierung, Verdichtung und Erosion sind Probleme, welche zurzeit vermutlich wesentlich höhere Schäden verursachen als die Kontamination (P. Weisskopf et al., 1988; T. Mosimann et al., 1990). Es ist daher erforderlich, die geltenden Rechtsgrundlagen im Hinblick auf einen alles umfassenden Bodenschutz im ganzheitlichen Sinne zu überprüfen.

Bodenschutz ist letztlich eine Sache des Umweltbewusstseins der Bevölkerung. Je grösser das Verständnis und die Sensibilisierung für die Notwendigkeit des Schutzes sind, desto höher ist die Akzeptanz für behördlich angeordnete Einschränkungen und Massnahmen. Fehlende Akzeptanz kann durch das Strafrecht nur unwesentlich verbessert werden. Erfolgreicher dürfte die Sozialkontrolle einer aufgeklärten und vom Sinn der Sache überzeugten Bevölkerung sein. Wenn wir den Boden als lebendigen Teil unserer Umwelt betrachten und seine lebenserhaltenden Funktionen achten, werden wir ihn schonungsvoll nutzen, aber niemals ausnutzen. Die zukünftigen Generationen haben das gleiche Recht auf Leben und damit auf Nutzung des Bodens wie die heutige Generation (H. Ruh et al., 1990).

8 Literatur

- AG Bodenfruchtbarkeit (1990), Provisorische Wegleitung zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit, Liebefeld-Bern, 88 Seiten.
- Baccini, P., Von Steiger, B., Piepke, G. (1988), Bodenbelastung durch Stoffflüsse aus der Atmosphäre. In: K. E. Brassel und M. C. Rotach (Hrsg.): Die Nutzung des Bodens in der Schweiz, VDF Zürich, S.55–74.
- BUS (Bundesamt für Umweltschutz), 1987, Erläuterungen zur Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden (VSBO). Bern, 17 Seiten.
- Häberli, R., Lüscher, C., Praplan Chastonney, B., Wyss C. (1991). Boden- Los. Ein Vorschlag zur häuslicher Nutzung des Bodens. Schlussbericht des NFP Boden, ca. 200 Seiten (erscheint Ende 1991).
- Meyer, K. (1991), Die stoffliche Belastung der Böden in der Schweiz. Themenbericht NFP Boden. Liebefeld, ca. 200 Seiten.
- Mosimann, T., Crole-Rees, A., Maillard, A., Neyrond, J.-A., Thöni, M., Musy, A., Rohr, W. (1990), Bodenerosion im Schweizerischen Mittelland – Ausmass und Gegenmassnahmen. Bericht 51 des NFP Boden, Liebefeld-Bern, 262 Seiten.
- NFP 22, (1985), Nationales Forschungsprogramm 22: Nutzung des Bodens in der Schweiz. Ausführungsplan; Schweiz. Nationalfonds, Bern.
- Richner, B., Moos, F. (1989), Auswirkungen hoher Tierdichten auf die Qualität des Bodens. Bericht 41 des NFP Boden. Liebefeld-Bern, 101 Seiten.
- Ruh, H., Brugger, F., Schenk, C. (1990), Ethik und Boden. Bericht 52 des NFP Boden. Liebefeld-Bern, 90 Seiten.
- Vogel, H., Desaulles, A., Häni, H. (1989), Schwermetallgehalte in den Böden der Schweiz. Bericht 40 des NFP Boden. Liebefeld-Bern, 118 Seiten.
- Von Steiger, B., Baccini, P. (1990), Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag. Bericht 38 des NFP Boden, Liebefeld-Bern, 131 Seiten.
- VSBo (1986), Verordnung über die Schadstoffe im Boden. Schweiz. Bundesrat, 9. Juni 1986.
- Wegelin, T. (1990), Schadstoffbelastung des Bodens im Kanton Zürich. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Zürich, 40 Seiten.
- Weisskopf, P., Schwab, P., Jäggi, F., Kramer, E., Peyer K., Studer, R. (1988), Die Verdichtungsgefährdung Schweizerischer Ackerböden. Bericht 20 des NFP Boden. Liebefeld-Bern, 128 Seiten mit 2 Kartenblättern.
- Widmer, H. (1990a), Bodenleben begreifen, schätzen und erhalten. Bericht 47 des NFP Boden. Liebefeld-Bern, 96 Seiten.
- Widmer, H. (1990b), Der Boden lebt – erhalten wir ihn. Eine Unterrichtshilfe der WWF-Umwelterziehung. Zürich, 36 Seiten.