

# Bodenschutz

## Gutachtliche Stellungnahme und Ergebnisse eines Kolloquiums des Deutschen Rates für Landespflege

Das Projekt und die Veröffentlichung  
wurden mit Mitteln der Lennart-Bernadotte-Stiftung,  
der Umweltstiftung WWF-Deutschland  
und des Bundesministers  
für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten  
gefördert.

Heft 51 — 1986

DER SCHRIFTENREIHE DES DEUTSCHEN RATES FÜR LANDESPFLEGE

ISSN 0930 — 5165

Für den Inhalt verantwortlich: Professor Dr. Gerhard Olschowy  
im Auftrage des Deutschen Rates für Landespflege

Redaktion: Dipl.-Ing. Angelika Wurzel

Druck und Auslieferung: city-druck *Leopold* bonn Verlagsdruckereigesellschaft mbH,  
Friedrichstraße 38, Postfach 1947, 5300 Bonn 1

## Inhaltsverzeichnis

Deutscher Rat für Landespflege: Bodenschutz — Gutachtliche Stellungnahme	
1	Einführung ..... 7
2	Bedeutung der Böden aus der Sicht der Ökologie ..... 8
3	Bodenschutzprobleme und -maßnahmen ..... 10
3.1	Bodenerstörung und -degradierung ..... 10
3.2	Belastung der Böden durch Stoffeintrag ..... 12
3.3	Mechanische Bodenbelastung und neue Bearbeitungsverfahren ..... 17
3.4	Bodenerosion durch Wasser und Wind ..... 17
4	Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung und rechtliche Grundlagen ..... 19
4.1	Inhalt der Bodenschutzkonzeption als ressortübergreifender Ansatz zum Schutz der Böden ... 19
4.2	Rechtliche Grundlagen ..... 20
5	Forderungen und Empfehlungen ..... 21
	Anhang: Bodenschutz als internationales Problem ..... 24
	Ernst Schlichting: Funktion und Gefährdung von Böden in verschiedenen Ökosystemen ..... 26
	Hartmut Bick: Bodenschutz aus der Sicht der Ökologie ..... 35
	Rolf Sartorius: Stoffliche Belastung des Bodens über die Atmosphäre ..... 39
	Wilhelm König: Belastungen des Bodens und der Pflanzen mit Schwermetallen — Untersuchungsergebnisse aus Nordrhein-Westfalen ..... 43
	Dieter Sauerbeck: Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft Mineraldünger, Gülle, Klärschlamm) ..... 50
	Fritz Führ: Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft (Pflanzenschutz) ..... 54
	Friedrich Tebrügge: Neuere Bearbeitungsverfahren in ihrer Wechselwirkung auf Bodendstruktur und Bodenertrag ..... 56
	Udo Schwertmann: Ausmaß und Ursachen der Bodenerosion ..... 65
	Gerhard Olschowy: Maßnahmen gegen Bodenerosion ..... 67
	Fritz Dietrich: Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung ..... 70
	Wilfried Erbguth: Rechtliche Grundlagen des Bodenschutzes und Vorschläge für gesetzliche Maßnahmen ..... 73
	Hans-Georg Schön: Bodenschutz — eine notwendige Voraussetzung für die Ernährung der Menschheit ..... 78
	Kurt Egger: Beispiele für Bodenprobleme und Lösungswege in Afrika ..... 82
	Wolfram Pflug: Naturschutz und Bodenschutz ..... 86
	Volkmar Leutenegger: Belastung der Böden durch Stoffeintrag im Waldbau ..... 95
	Anschriften der Autoren ..... 99
	Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte ..... 100
	Verzeichnis der Ratsmitglieder ..... 103



Eine typische Baumheckenlandschaft in der Grafschaft Dorset in Südengland als Beispiel einer geordneten Kulturlandschaft

Foto: G. Olschowy

## Bodenschutz — Gutachtliche Stellungnahme

### 1 Einführung

In den vergangenen Jahren ist sowohl im internationalen als auch im nationalen Bereich die Erkenntnis gewachsen, welche hohe Bedeutung den Böden als wesentlicher Grundlage des Lebens von Mensch, Tier und Pflanze zukommt. Zunehmende Bodenzerstörung und -degradierung haben die Notwendigkeit erkennen lassen, dem Bodenschutz erhöhte Beachtung zuteil werden zu lassen. Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung ist eine erste deutliche Reaktion auf diese Entwicklung. Sie ist ein Anfang, eine Grundlage, auf der weiter aufgebaut werden muß, wenn die Belastungen der Böden verringert und ihre Substanz erhalten und entwickelt werden sollen. Es darf erwartet werden, daß das neu eingerichtete Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sich der vordringlichen Aufgabe des Bodenschutzes deshalb verstärkt annimmt, weil nunmehr viele Zuständigkeiten in einer Hand liegen.

Das Kolloquium des Deutschen Rates für Landespflege und seine gutachtliche Stellungnahme zum Thema „Bodenschutz“ sind als ein Beitrag gedacht,

- die Bedeutung der Böden darzustellen,
- die Ursachen ihrer Schädigung und Zerstörung aufzuzeigen und
- die dringend erforderlichen Maßnahmen zum Schutz der Böden vorzuschlagen.

Darüber hinaus soll darauf hingewiesen werden, daß das Problem nicht nur ein nationales, sondern ein internationales bzw. globales ist. Das macht erforderlich, daß auch eine deutsche Entwicklungshilfe in Ländern der Dritten Welt den Schutz der Böden vorrangig beachtet und Hilfe zur Selbsthilfe geben muß. Auf den Bodenschutz als internationales bzw. globales Problem wird im Anhang eingegangen.

Die Belastung der Böden hat vielfältige Ursachen. Wenn in der folgenden gutachtlichen Stellungnahme der Bodenschutz im Landbau, also im Zusammenhang mit Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwirtschaft, vorrangig behandelt wird, so deshalb, weil diese Bodennutzungen heute rd. 85 % der Fläche des Bundesgebietes einnehmen. Zum anderen sind die auftretenden Belastungen häufig die Folge einer zu intensiven Bodennutzung, so daß Gegenmaßnahmen durchaus einen Erfolg versprechen. Die Belastung der Böden durch andere Ursachen, wie etwa durch Siedlungs- und Verkehrswegebau, Aufschüttungen und Abgrabungen, Freizeit und Erholung, sowie durch den zunehmenden Stoffeintrag von Quellen außerhalb des Landbaues, müssen ebenfalls berücksichtigt und in das Gesamtkonzept einbezogen werden.

Um einen Einblick in den derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen zu erhalten, führte der Deutsche Rat für Landespflege am 27. und 28. Januar 1986 in Berlin ein internes Kolloquium durch, auf dem folgende Sachverständige referiert oder nachträglich Berichte vorgelegt haben:

Prof. Dr. SCHLICHTING, Institut für Bodenkunde und Standortlehre der Universität Hohenheim:

Funktion und Gefährdung von Böden in verschiedenen Ökosystemen

Prof. Dr. BICK, Institut für Landwirtschaftliche Zoologie und Bienenkunde der Universität Bonn:

Bodenschutz aus der Sicht der Ökologie

Dr. SARTORIUS, Umweltbundesamt Berlin:

Stoffliche Belastung von außen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Schwermetalle)

Dipl.-Ing. KÖNIG, Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung NW, Recklinghausen:

Belastungen des Bodens und der Pflanzen mit Schwermetallen — Untersuchungsergebnisse aus Nordrhein-Westfalen

Prof. Dr. SAUERBECK, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode:

Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft (Dünger, Gülle, Klärschlamm)

Prof. Dr. FÜHR, Institut für Radioagronomie der Kernforschungsanlage Jülich:

Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft (Pflanzenschutz)

Prof. Dr. MEYER\*), Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen:

Mechanische Bodenbelastung (Bodenverdichtung, Bodenversiegelung, großflächige Bewirtschaftung)

Dr. TEBRÜGGE, Institut für Landtechnik der Justus-Liebig-Universität Gießen:

Neuere Bodenbearbeitungsverfahren in ihrer Wechselwirkung auf Bodenstruktur und Pflanzenertrag

Prof. Dr. SCHWERTMANN, Institut für Bodenkunde, Pflanzenernährung und Phytopathologie der TU München in Weihenstephan:

Ausmaß und Ursachen von Bodenerosionen

Prof. Dr. OLSCHOWY, Deutscher Rat für Landespflege, Bonn:

Maßnahmen gegen Bodenerosionen

OFR LEUTENEGGER, Staatl. Forstamt, Konstanz:

Belastung der Böden durch Stoffeintrag im Waldbau

Prof. PFLUG, Lehrstuhl für Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen:

Naturschutz und Bodenschutz

RegDir. Dr. DIETERICH, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn:

Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung

\*) Da uns kein Manuskript überlassen wurde, kann der Text des Vortrages leider nicht wiedergegeben werden.

Prof. Dr. ERBGUTH, Zentralinstitut für Raumplanung an der Universität Münster:

Rechtliche Grundlagen des Bodenschutzes und Vorschläge für gesetzliche Maßnahmen

Dr. SCHÖN, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH, Eschborn:

Bodenschutz — eine notwendige Voraussetzung für die Ernährung der Menschheit

Prof. Dr. EGGER, Botanisches Institut der Universität Heidelberg:

Beispiele für Bodenprobleme in Afrika

Im Anschluß an das Kolloquium wurde ein Arbeitsausschuß des Rates eingesetzt, dem die Ratsmitglieder

Prof. Dr. Wolfgang HABER, stellv. Vorsitzender des Arbeitsausschusses

Prof. Dr. Wilhelm HENRICHSMAYER, zeitweilig vertreten durch Dipl.-Ing. agr. ZÖLLER

Dr. Hans-Werner KÖNIG

OFR Volkmar LEUTENEGGER

Prof. Dr. Gerhard OLSCHOWY, Vorsitzender des Arbeitsausschusses

Dr. Siegbert PANTELEIT

Prof. Wolfram PFLUG

Prof. Dr. Heinhard STEIGER

sowie die Mitarbeiterin des Rates

Dipl.-Ing. Angelika WURZEL

angehörten. Von diesem Arbeitsausschuß sowie den zusätzlichen Sachverständigen

Prof. Dr. ERBGUTH, Zentralinstitut für Raumplanung

Prof. Dr. FÜHR, Institut für Radioagronomie

wurde ein Entwurf erarbeitet, der am 1. September 1986 auf der Ratsversammlung diskutiert und als gutachtliche Stellungnahme beschlossen wurde, die nachstehend wiedergegeben wird.

## 2 Bedeutung der Böden aus der Sicht der Ökologie

Der Schutz der Böden kann nur erfolgreich betrieben werden, wenn über den Inhalt des Begriffes Klarheit herrscht. In der Umgangssprache bezeichnet man als „Boden“ die äußerste, lockere Schicht der Erdoberfläche einschließlich der darin befindlichen Rohstoffe („Bodenschätze“) und des häufig darin vorkommenden Grundwassers. Mit dieser Inhaltsbeschreibung werden in der Regel Nutzungsgesichtspunkte verbunden, denen „Boden“ zu dienen hat, vor allem die Nutzung für die land- und forstwirtschaftliche Produktion, die Nutzung der Bodenschätze und des Grundwassers, die Nutzung als Baugrund oder als Abgrabungs- oder Ablagerungsplatz.

Diese ganz unterschiedlichen Aspekte bieten einem umweltpolitisch begründeten Bodenschutz keine eindeutigen, eher sogar widersprüchliche Ansatzpunkte. Schutz setzt einerseits Gefährdung und besondere Empfindlichkeit von Gütern (Schutzbedürftigkeit) voraus, die andererseits wegen ihrer großen Bedeutsamkeit für die Umwelt diesen Schutz erfordern (Schutzwürdigkeit). Die Anwendung dieser Grundsätze auf den Boden in der vorher genannten Definition führt, wie im einzelnen noch gezeigt wird, zu Schwierigkeiten und bedingt daher eine auf Schutzziele gerichtete Aufgliederung des Bodens, die seinen besonderen Eigenarten

als „Umweltmedium“ besser Rechnung trägt. Zu diesen gehört vor allem seine physikalische, chemische und biologische Uneinheitlichkeit, die ihn deutlich von den beiden anderen, viel homogeneren Umweltmedien Luft und Wasser abhebt.

Physikalisch gesehen besteht Boden einerseits aus fester Materie in einer Mischung von unterschiedlichen Korngrößen, andererseits aus luft- und wasserführenden Hohlräumen, die bis zur Hälfte seines Volumens ausmachen können. Chemisch ist der Boden ein so verschiedenartiges und obendrein noch veränderliches Stoffgemisch, daß eine allgemeingültige stoffliche Definition nicht möglich ist. Zu trennen sind hier die — meist oberflächennahen — Bereiche mit einem höheren Anteil organischer Substanzen, der an der dunklen, braunen bis schwarzen Färbung zu erkennen ist, von den fast ausschließlich von mineralischen Bestandteilen beherrschten Substraten. Die Trennung dieser beiden Bereiche entspricht auch ihren biologischen Unterschieden: der erstgenannte Bereich erweist sich als weitaus stärker belebt und biologisch aktiver als der mineralische Untergrund. Nach diesen Prinzipien können die Bereiche noch weiter unterteilt werden. Die sich daraus ergebenden Abgrenzungen verlaufen mehr oder weniger parallel zur Erdoberfläche und lassen eine Art von Schichten erkennen, die in der Bodenkunde „Horizonte“ genannt und mit Buchstaben bezeichnet werden. Nach der Kombination und Abfolge der Horizonte werden „Bodentypen“ unterschieden, wie z. B. Braun- oder Schwarzerde, Podsol oder Rendzina. Aus ihnen wird eine Systematik der Böden aufgebaut. Sie sind nicht zu verwechseln mit den Bodenarten, die rein physikalisch auf den Korngrößen und ihren Anteilen an der Mischung beruhen, wie z. B. Sand-, Schluff-, Tonböden, und auch nur die mineralischen Bestandteile kennzeichnen.

Angesichts dieser zahlreichen Unterschiede kann „der Boden“ im Bodenschutz weder theoretisch noch erst recht praktisch als einheitliches Schutzgut betrachtet werden. Bodenschutz muß sich statt dessen mit „Böden“ — oder sogar einzelnen Bestandteilen davon — von jeweils unterschiedlicher Bedeutung und Schutzwürdigkeit befassen und danach Prioritäten setzen.

Wegen ihrer großen Bedeutung für den Naturhaushalt — die weiter unten näher erläutert wird — sind die belebten, biologisch aktiveren und an organischen Bestandteilen reicheren oberen Bereiche oder Horizonte der Böden ökologisch wichtiger und zugleich auch empfindlicher als andere Bestandteile oder Bereiche; sie sind daher als die eigentlichen Gegenstände des Bodenschutzes anzusehen. Dagegen ist z. B. eine in 10 m Tiefe vorkommende, trockene Kiesschicht zwar ein „Bodenschatz“, hat aber keine aktuelle ökologische Bedeutung oder Empfindlichkeit und wird von Bodenkundlern oder Biologen gewöhnlich nicht einmal als Bodenbestandteil angesehen.

Böden (im ökologischen Sinn) werden in ihrer Vielfalt besser verständlich, wenn man ihre Bildung, Entwicklung und ständige Veränderung betrachtet. Jede Bodenbildung beginnt mit der Ansiedlung von Pflanzen auf irgendeinem für sie geeigneten Substrat und beruht wesentlich auf den abgestorbenen Pflanzenrückständen, die sich auf der Oberfläche als Streu ansammeln oder im Substrat als Wurzelreste zurückbleiben. Sie dienen als Nahrungsquelle für eine Vielzahl von Kleintieren und Mikroorganismen, die sich als „Edaphon“ nach und nach ansiedeln. Es zerkleinert, verzehrt, vermischt und verändert die toten Reste der Pflanzen und seiner selbst. Dabei werden sie teils zu anorganischen Stoffen wie Kohlendioxid oder Nitrat abgebaut, die wieder als Nährstoffe für Pflanzen und Edaphon dienen, teils in Humus umgeformt.

Erst mit dem Erscheinen von Humus, einer ganz neuen Stoffgruppe, kann von Böden (im ökologischen Sinne) gesprochen werden. Weitere neue Stoffgruppen, u. a. die sekundären Tonminerale, entstehen im Zuge der Verwitterung des mineralischen Ausgangssubstrates. Humus- und Tonpartikeln fügen sich unter bestimmten Bedingungen zu Ton-Humus-Komplexen zusammen. Diesen Teilchen oder ihren Komplexen verdanken die Böden ihre Färbung, Festigkeit, Porosität und ihr inneres Gefüge, vor allem aber ihre Fähigkeiten zur Speicherung von Wasser, Nährstoffen und anderen chemischen Substanzen bzw. zu deren Bindung und Sorption.

Die Bodenbildung setzt daher stets von der Erdoberfläche, genauer gesagt von deren Pflanzendecke her, ein und wird wesentlich von der Aktivität der Bodenlebewesen bestimmt, denen die Böden zugleich Lebensraum bieten. Verwitterung allein führt nicht zur Bodenbildung. Wegen dieser Abhängigkeit von Lebewesen und biologischen Prozessen sind Böden unselbständige Gebilde.

Böden und Vegetation entwickeln sich unter natürlichen Verhältnissen miteinander und entsprechen sich daher gegenseitig. Im gemäßigten Klima Mitteleuropas ist die Bodenbildung ein sehr langsamer, meistens Jahrtausende dauernder Prozeß. Er führt je nach mineralischem Ausgangssubstrat und dadurch bedingten Korngrößen, nach dessen Chemismus, nach Topographie und Pflanzenwuchs zu den verschiedenen Bodentypen, die einem charakteristischen Reifungs- und Alterungsprozeß unterliegen.

Es entstehen dabei jedoch keine scharf abgrenzbaren Naturkörper, wie wir sie bei Pflanzen, Tieren und selbst bei bestimmten Mineralen gewohnt sind — Böden bilden keine „Individuen“, sondern sind nur gedanklich abgrenzbar. Dies erschwert den Bodenschutz außerordentlich; genau genommen sind Böden als solche aus ökologischer Sicht wegen ihrer Unselbständigkeit und fehlenden Individualisierung gar nicht schützenswert, sondern nur im Zusammenhang mit den sie bedingenden Strukturen und Vorgängen.

Im Lichte dieser Schwierigkeiten ist es zweckmäßig und auch notwendig, die *Bodenfunktionen* in den Bodenschutz einzubeziehen. Hierbei genießen wiederum solche Funktionen Vorrang, die einerseits eine hohe Umweltrelevanz besitzen und andererseits an die Erhaltung von Böden im ökologischen Sinne gebunden sind. In diesem Sinne sind drei Hauptfunktionen von Böden zu unterscheiden:

- Regelung der Stoff- und Energieflüsse im Naturhaushalt (Regelungsfunktion)
- Produktion von Biomasse, insbesondere von pflanzlichen Stoffen, einschließlich Wurzelraum und Verankerung der Pflanzen (Produktionsfunktion)
- Gewährung von Lebensraum für die Bodenorganismen.

Die *Regelungsfunktion* umfaßt mehrere Teilfunktionen, zu denen u. a. das Ausgleichs-, Filter- und Puffervermögen der Böden gehört. Die Regelung wirkt sich über das Geschehen in den Böden hinaus auf den gesamten Naturhaushalt aus und erfaßt folgende Bereiche:

- Regelung der Bodentemperatur und des Wärmehaushaltes in der untersten Luft- und der obersten Bodenschicht durch Wärmeabsorption, -leitung und -rückstrahlung;
- Regelung von Abfluß und Einsickerung des Niederschlags- und Zuflußwassers in Abhängigkeit von Hohlraumvolumen und Porengröße des Bodens;
- Regelung des Wasserhaushaltes durch Aufnahme (Einsickerung) des Niederschlagswassers und dessen Ver-

teilung als Sicker-, Haft- und Filmwasser einschließlich Rückverdunstung und Abfluß in Abhängigkeit von Porengehalt und -größe;

- Regelung des Transportes aller beweglichen Stoffe im Boden, der überwiegend senkrecht, z. T. auch seitwärts erfolgt;
- mechanische Zurückhaltung (Filterung) von im Wasser enthaltenen festen oder kolloidalen Teilchen in Abhängigkeit von Porengröße und -verteilung im Boden;
- Regelung der Bodendurchlüftung;
- Auffangen von mechanischen Belastungsfolgen;
- Sorption von Stoffen an Bodenteilchen im Austausch mit der Bodenlösung;
- Einbau von Stoffen in Humus- oder Tonteilchen oder in daraus gebildete Aggregate;
- chemische Bindung oder Fällung (Löslichkeitsänderung) von Stoffen;
- teilweiser oder vollständiger Abbau bzw. Umbau von Stoffen.

Die von dieser Funktion erfaßten Stoffe können bodeneigene oder dem Boden zugeführte Substanzen sein, zu denen auch die mineralischen oder organischen Dünger sowie Pflanzenschutzmittel und sonstige, dem Boden zugesetzte Stoffe gehören.

Die Regelungsfunktion der Böden leistet einen wichtigen Beitrag zur Entlastung des Naturhaushaltes von schädlichen Stoffen und unterstreicht die Rolle der Böden im Kampf gegen die zunehmende Umweltverschmutzung. Diese Rolle können die Böden allerdings nur innerhalb enger Belastungsgrenzen und in Abhängigkeit von bestimmten physikalischen, chemischen und biologischen Zuständen (z. B. Ton- und Humusgehalt, pH-Wert) spielen.

Die *Produktionsfunktion* der Böden wird aus landwirtschaftlicher Sicht meist mit dem Begriff „Bodenfruchtbarkeit“ umschrieben, aber praktisch überwiegend auf Ackerböden angewendet. Dort werden wegen der starken Bewirtschaftungseingriffe in die Böden (Pflügen, Zerkleinern, Befahren usw.) auch die größten Aufwendungen zur Erhaltung der Produktionsfunktion vorgenommen. Ackerböden sind aber auch weit mehr als andere Böden an diese Funktion angepaßt worden, z. B. durch Homogenisierung des Oberbodens („Ackerkrume“) und bodenchemische Veränderungen.

Wegen seiner biologischen und wirtschaftlichen Abhängigkeit vor allem von der landwirtschaftlichen Bodenproduktion neigt der Mensch dazu, die Produktionsfunktion zu überschätzen und sie auch bei von Natur aus weniger produktiven, nährstoffarmen Böden mit allen Mitteln zu steigern. Die Existenz solcher Böden wird sogar in Frage gestellt, wie sich an den vielen vergeblichen Bemühungen um die Erhaltung oligotropher Standorte bzw. Biotope zeigt.

Die *Lebensraumfunktion* der Böden kann kaum unterschätzt werden. Sie sind Lebensraum einerseits für die Pflanzenwurzeln, die der Wasserversorgung, Ernährung und Verankerung der Pflanzen dienen, andererseits für eine sehr große Zahl vielfältiger, meist sehr kleiner Tiere und Mikroorganismen, deren Gesamtheit das bereits erwähnte „Edaphon“ darstellt. In Ergänzung zu den Organismen, die als grüne Pflanzen oder als Tiere lebende organische Substanzen aufbauen, zerlegt das Edaphon diese nach ihrem Absterben wieder in einfache chemische Verbindungen bzw. in Humus. Ohne diese Zerlegung — wegen der die Bodenorganismen auch als „Destruenten“ bezeichnet werden — gäbe

es eine riesige Anhäufung toter organischer Substanzen und eine Blockierung der darin enthaltenen Nährstoffe.

Die Masse des Edaphons lebt in den obersten 20—30 Zentimetern der Böden, doch auch in 1 m Tiefe und mehr sind noch Bodenorganismen anzutreffen. Gewichtsmäßig entfallen 80—90 % des Edaphons auf Mikroorganismen (Bakterien und Pilze), der Rest auf Bodentiere. 1 Gramm Boden hat je nach Größe der Bodenteilchen eine innere Oberfläche von bis zu 500 m<sup>2</sup>, auf der sich mehrere Milliarden Bodenbakterien ansiedeln, die 0,5—2 µm groß sind. Die Bodentiere sind mit 11 verschiedenen Tiergruppen von winzigen Rädertierchen und Fadenwürmern bis zu dezimeterlangen Regenwürmern weitaus vielfältiger, aber geringer an Zahl; je m<sup>2</sup> Bodenoberfläche kommen aber dennoch 1 Million und mehr Individuen vor.

Alle Bodenorganismen stehen in vielfältigen Wechselbeziehungen zueinander; teilweise ernähren sie sich auch voneinander. Ihre Existenz und Aktivität beruhen aber stets auf Zufuhr ausreichender Mengen an organischen Substanzen, d. h. im wesentlichen auf dem Vorhandensein einer Pflanzendecke. Die innere Ungleichartigkeit der Böden veranlaßt jedoch eine sehr ungleichmäßige räumliche Verteilung der Bodenorganismen. An bestimmten Stellen konzentrieren sie sich sehr stark, insbesondere in unmittelbarer Nachbarschaft der Wurzeln, sowie dort, wo rasch abbaubare organische Stoffe angereichert sind, die z. B. durch das Einbringen von Ernterückständen, Stallmist und Gründüngern in die Böden gelangen. Hier können sich vor allem die Mikroorganismen bereits innerhalb weniger Stunden rasch vermehren. Daher ist die Besiedlung der Böden mit Organismen auch in zeitlicher Hinsicht großen Schwankungen unterworfen.

Mit der Erfüllung der genannten drei Hauptfunktionen der Böden aus der Sicht des Naturhaushaltes, nämlich der Regelung, der Produktion und des Lebensraumes der Bodenlebewesen, gehören die Böden zur unverzichtbaren Grundlage aller Lebensvorgänge. Allein hierauf kann sich der Bodenschutz gründen. Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung nennt daneben noch weitere Bodenfunktionen, nämlich Träger von Bodenschätzen sowie Siedlungs- und Wirtschaftsfläche. Vor allem die letztgenannte Funktion steht der Erfüllung der drei naturhaushaltlichen Funktionen in der Regel entgegen, weil Böden oder Teile von ihnen durch Inanspruchnahme für Siedlung, Wirtschaft und Verkehr oft nachteilig verändert oder sogar zerstört oder beseitigt werden.

**Tabelle 1: Flächennutzung im Bundesgebiet 1981 und 1985<sup>1</sup>** (aus: Baulandbericht 1986, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, H. 03.116)

Nutzungsart	Flächennutzung					
	1981		1985		Entwicklung 1981 bis 1985	
	1 000 ha	in %	1 000 ha	in %	1 000 ha	in %
Siedlungsfläche insgesamt	2 937	11,8	3 115	12,5	+178	+ 6,1
davon – Gebäudefläche und Freifläche	1 360	5,5	1 488	6,0	+128	+ 9,4
– Betriebsfläche (ohne Abbauland)	79	0,3	52	0,2	– 27	–34,2
– Erholungsfläche	128	0,5	146	0,6	+ 18	+14,1
– Verkehrsfläche	1 169	4,7	1 211	4,9	+ 42	+ 3,6
– Fläche anderer Nutzung (ohne Unland)	201	0,8	218	0,9	+ 17	+ 8,4
Landwirtschaftsfläche (ohne Moor und Heide)	13 761	55,3	13 548	54,5	–213	– 1,5
Waldfläche	7 328	29,5	7 360	29,6	+ 32	+ 0,4
Wasserfläche	430	1,7	444	1,8	+ 14	+ 3,3
Moor, Heide, Unland, Abbauland	414	1,7	403	1,6	– 11	– 2,9
Katasterfläche	24 869	100	24 869	100	–	–

<sup>1</sup> Ein Vergleich der beiden Flächenerhebungen 1981 und 1985 ist aufgrund räumlich unterschiedlicher Aktualisierung der erhobenen Flächendaten nur eingeschränkt möglich  
Quelle: Statistisches Bundesamt, Flächenerhebung

### 3 Bodenschutzprobleme und -maßnahmen

#### 3.1 Bodenzerstörung und -degradierung

Bestimmte Flächennutzungen führen unmittelbar zur Zerstörung oder Versiegelung von Böden. Im Mittelpunkt stehen dabei bodenbeanspruchende Nutzungen wie Wohnen, Arbeiten, Verkehr, Rohstoffgewinnung und die End- oder Zwischenlagerung von Abfällen.

Seit den 50er Jahren hat die Inanspruchnahme der Landschaft für Siedlungsfläche\*) ständig zugenommen: von 1950 bis 1960 um etwa 66 ha pro Tag, zwischen 1960 und 1970 um etwa 114 ha pro Tag und seit 1980 sogar um mehr als 120 ha pro Tag (vgl. hierzu auch Tab. 1). Diese Flächengröße ist jedoch nicht gleichzusetzen mit der Fläche zerstörter oder belasteter Böden. Dennoch belegen diese Zahlen den Trend zu einem ständig steigenden Verbrauch von Böden. Der erste Schritt zu einem vorsorgenden Schutz der Böden ist daher der häushälterische Umgang mit dem Naturgut Boden bei der Planung bodengefährdender oder zerstörender Maßnahmen.

#### Wohnungsbau

Über 3,4 % der Fläche des Bundesgebietes werden von Wohngebäuden beansprucht. Die Wohnfläche pro Person hat sich von 1950 mit einem Mittelwert von 14,3 qm auf einen Mittelwert heute von etwa 34 qm erhöht. Beim Wohnungsbau wird vor allem das eigene, freistehende und damit flächenaufwendige Ein- und Zweifamilienhaus bevorzugt. Im Mietwohnungsbau liegen die Baudichten zwar höher, aber mit zunehmender Gebäudehöhe und Geschobzahl steigt der Aufwand für Abstands- und Hofflächen, was ebenfalls Fläche in Anspruch nimmt. In den letzten Jahren sind insbesondere in Regionen mit hohen Bodenpreisen höhere Bebauungsdichten festzustellen, das heißt, Bauland wird intensiver genutzt. Obwohl insgesamt die Bevölkerungsentwicklung rückläufig ist, muß langfristig mit einer weiteren Nachfrage nach Wohnbauflächen gerechnet werden. Der Grund liegt in der noch nicht abgeschlossenen Phase eigener Haushaltsgründungen durch die geburtenstarken 50er und 60er Jahrgänge und in dem Trend zu kleineren Haushaltsgrößen.

Die auch weiterhin zu erwartende Bodenbeanspruchung durch Wohngebäude muß alle vorhandenen planungs- und baurechtlichen Regelungen ausschöpfen, um möglichst flächensparende Bauformen zu realisieren. Dies erfordert einen erhöhten Planungs- und Koordinierungsaufwand, der über zusätzliche finanzielle Anreize für die Bauträger beim flächensparenden Bauen gefördert werden könnte (siehe hierzu auch H. 47 der Schriftenreihe des Rates).

Bevor gewachsene Böden für Wohnbebauung in Anspruch genommen werden, ist zu prüfen, ob nicht durch Modernisierung oder Umbau bereits vorhandener Bausubstanz der Wohnraumbedarf befriedigt werden kann. Weiterhin sollten Baulücken geschlossen werden, soweit sie nicht aus gestalterischen (Wohnumfeld) oder ökologischen Gründen, so auch stadtklimatischen und lufthygienischen Gründen, freizuhalten sind.

Zuletzt ist auch der Abriß von Bausubstanz — wenn möglich mit entsprechender Wiedernutzung der Flächen (Recycling) — in die Überlegungen einzubeziehen, wenn diese den derzeitigen Wohnansprüchen nicht mehr gerecht wird und baugesichtliche Gründe nicht dagegen sprechen. Hier ist insbesondere an die vielen bewohnerunfreundlichen Billigbauten der 50er Jahre zu denken.

\*) Hierunter fallen: Gebäudefläche, Verkehrsfläche, Erholungsfläche, Sonstige Siedlungsfläche.

## *Verkehrswegebau*

Insgesamt sind ca. 5 % der Fläche des Bundesgebietes durch Verkehrswege und -anlagen versiegelt, das sind etwa 1 211 000 ha (zum Vergleich: die Fläche des Landes Schleswig-Holstein beträgt 1 572 600 ha). Täglich werden etwa 29 ha Boden für Verkehrsflächen verbraucht. Zu den 1985 vorhandenen 317 000 km Gemeinde- und 173 000 km überörtlichen Verkehrsstraßen kommen noch einmal ca. 250 000 km (ca. 35 000 ha) land- und forstwirtschaftliche Wege unterschiedlichsten Ausbaustandards hinzu.

Der große Anteil an Verkehrswegeflächen liegt im wesentlichen im hohen Motorisierungsgrad der Bevölkerung begründet. Ca. 75 % der Verkehrsflächen werden allein vom Individualverkehr (Straßen, Wege, Stellplätze) in Anspruch genommen. Bei insgesamt anhaltender Steigerung des Fahrzeugbestandes ist mit einer weiteren Verkehrsflächennachfrage zu rechnen.

Bei dem vorhandenen dichten Verkehrswegenetz muß daher in Zukunft anstelle des Neubaus der Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Qualität Priorität eingeräumt werden.

Weiterer Schwerpunkt der Investitionen sollte die Attraktivitätssteigerung des öffentlichen Nahverkehrs und des Eisenbahnverkehrs sein. Grundsätzlich sollten die Ausbaustandards bei allen Verkehrswegen hinsichtlich möglicher Flächeneinsparung überprüft werden.

## *Industrie- und Gewerbeentwicklung*

Die Flächeninanspruchnahme durch Industrie und Gewerbe wird auf etwa 2,8% der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland geschätzt. Sie konzentriert sich nach wie vor auf die Verdichtungsräume.

Bei den Produktionstechnologien herrscht z. Z. der Trend zu großflächigen, ebenerdigen Betriebsanlagen mit hohem Bodenverbrauch vor. Weiterhin haben die verschärften Bestimmungen um den Immissionsschutz dazu geführt, daß Neuan siedlungen von Industrie und Gewerbe in den Siedlungsrandbereichen auf intakten und leistungsfähigen Böden vorgenommen werden. Auch hier ist mit weiteren Flächenansprüchen zu rechnen. In Zukunft sollte der Flächeninanspruchnahme von neuen Industrie- und Gewerbeanlagen eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorausgehen.

Grundsätzlich ist der Abbau von nicht mehr benötigten bzw. stillgelegten Produktionsanlagen bereits im Planfeststellungsverfahren zu regeln. Der Nutzer sollte hier, wie bereits beim nordrhein-westfälischen Abtragungsgesetz üblich, Sicherheiten hinterlegen, damit eine Räumung der Grundstücke nach Ablauf der Produktionstätigkeit ermöglicht wird.

## *Freizeitanlagen und Sportstättenbau*

Freizeit und Erholung sind in der Regel flächenbeanspruchende Nutzungen, die andere Nutzungen wie Land- und Forstwirtschaft teilweise überlagern. In diesen Fällen ist mehr die Beeinträchtigung von Böden angesprochen als der direkte Bodenverlust. Die eigentliche Zerstörung bzw. Versiegelung der Böden geht von Freizeiteinrichtungen und Sportstätten aus, die mit Gebäuden, Bodenbelägen, Erschließungswegen, Stellplätzen usw. ausgestattet sind. Diese Einrichtungen nehmen z. Z. ca. 146 000 ha an Fläche ein. In dieser Zeit sind allerdings Park- und Grünanlagen mit erfaßt.

Zur Vermeidung weiterer Bodenverluste durch Freizeitbauwerke sowie deren Erschließung sollten weitere Ausbau-

maßnahmen auf qualitative Verbesserungen des Sport-, Freizeit- und Erholungsangebotes im Wohnumfeld hinzielen. Anlagen für intensive Freizeitnutzung sind auf Flächen mit geringerer Schutzwürdigkeit zu konzentrieren. Größere räumliche Einheiten müssen auch aus Gründen des Bodenschutzes in der Art von Kernzonen von intensiv genutzten Freizeiteinrichtungen freibleiben. Der Ausbau naturnaher Landschaften für die Intensiverholung, wie z. B. in Wintersportgebieten, sollte erst nach Prüfung ihrer Umweltverträglichkeit zugelassen werden.

Grundsätzlich sind den landschaftlichen Gegebenheiten angepaßte Ausbau- und Erschließungsformen zu wählen und unnötige Wegebefestigungen zu vermeiden.

## *Haus- und Sondermülldeponien*

Die Flächeninanspruchnahme der in der Bundesrepublik Deutschland betriebenen Halden, Deponien und Lagerplätzen, von denen im allgemeinen der gewachsene Boden überschüttet oder zerstört wird, ist statistisch nicht erfaßt. Jährlich muß ein Abfallaufkommen aus Hausmüll mit 32 Mio. t und aus Industrieabfällen mit 50 Mio. t (einschl. Sondermüll mit 3—4 Mio. t) entsorgt werden.

Die verschärfte Umweltschutzgesetzgebung wird den Bedarf an Deponiefläche für Filterstäube, Klärschlämme, Entschwefelungsgips usw. zunehmen lassen. Um diesem nachteiligen Trend entgegenzuwirken, der die Böden, insbesondere ihren Wasser- und Lufthaushalt, erheblich beeinträchtigt, sollten zukünftig nur noch Produktionsverfahren angewandt werden, die die Menge lagerungsbedürftiger Abfälle weitestgehend herabsetzen. Bei der Herstellung von Produktionsgütern sollten die Möglichkeiten des Recyclings weiter intensiviert werden. In diesem Zusammenhang ist die Aufnahme eines Gebotes zur Verwertung von Abfällen in das Abfallbeseitigungsgesetz (s. Novelle ASfG) zu begrüßen. Unvermeidbare Zwischen- und Endlagerungen müssen für die Umwelt schadlos, sicher und kontrolliert vorgenommen werden. Ein Beispiel dazu wäre der Ausgleich des Massendefizits im niederrheinischen Braunkohletagebau mit den Massenüberschüssen (Bergematerial) des Untertagebaus aus dem Ruhrgebiet.

## *Abgrabungen*

Auf etwa 75 000 ha der Bundesrepublik sind die gewachsenen Böden durch den Lagerstättenabbau beseitigt oder zerstört worden. Ein drastisches Beispiel für die großräumige weitgehende Veränderung ganzer Landschaften sind die Tagebaue im rheinischen Braunkohlerevier. Aber auch die vielen kleinen Abgrabungen zur Gewinnung von Baustoffen, insbesondere im Umfeld der großen Verdichtungsräume, können u. U. zu Verlust an Böden oder zu ihrer Veränderung, z. B. durch Absenkung des Wasserspiegels im Umfeld, führen. Großräumiges Beispiel für indirekte Bodenveränderungen durch den Lagerstättenabbau sind die durch den Steinkohlebergbau verursachten Bodensenkungen im Ruhrgebiet.

Der jährliche Flächenbedarf der im Tagebau genutzten Lagerstätten für den Industriezweig Steine und Erden beträgt in der Bundesrepublik ca. 8 000 ha (die Hälfte der Fläche der Stadt Aachen).

Bei geplanten Eingriffen in den Naturhaushalt durch Lagerstättenabbau ist die strikte Anwendung der Eingriffsregelung mit entsprechenden Renaturierungs-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen notwendig. Im Genehmigungsverfahren sind entsprechende Sicherheitsleistungen für diese schadensbegrenzenden Maßnahmen festzulegen.

Im Vorfeld einer Abgrabungsgenehmigung ist grundsätzlich eine Umweltverträglichkeitsprüfung sowie eine detaillierte Rekultivierungsplanung erforderlich. Die Länder der Bundesrepublik Deutschland sollen flächendeckend Rohstoffsicherungspläne aufstellen, damit die Absichten des Industriezweiges rechtzeitig erkenn- und überprüfbar sind.

### *Überschüttungen*

Überschüttungen von Böden mit Substraten, die aus ihrem natürlichen Gefüge herausgelöst wurden, sind eine Form der Bodenveränderung, die in keiner Statistik festgehalten ist. Ähnliches gilt für Böden, die im Zuge von Bodenmodellierungen und Verfüllungen in ihrem natürlichen Profilaufbau verändert werden.

Es ist zu fordern, daß bei allen Bau- — und insbesondere bei Erdbaumaßnahmen — sorgsam mit den belebten Böden umgegangen wird. Sehr bedauerlich ist, daß der § 202 „Schutz des Mutterbodens“ im neuen Baugesetzbuch der Bundesregierung die Verordnungsermächtigung zum Umgang mit Mutterboden nicht mehr enthält. Unnötiges Befahren, Umlagern und Überschütten von Böden sind zu verhindern und in den jeweiligen Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen. Oft sind die Bodenzerstörungen durch Maßnahmen im Umfeld von Baustellen (Baustraßen, Lagerplätze usw.) gravierender als die eigentliche Baumaßnahme. Für alle in Anspruch zu nehmenden Flächen ist der Mutterboden sicherzustellen, zu pflegen und sachgemäß wiederzuverwenden. Geländeneivellierungen im Rahmen der landwirtschaftlichen Bodennutzungen, wie sie z. B. im Zuge von Flurbereinigungsmaßnahmen vorgenommen werden, sollten grundsätzlich nach der Eingriffsregelung des Naturschutzrechts einem Genehmigungsverfahren unterliegen.

### *Rekultivierung — Renaturierung*

Durch Abgrabungen oder Versiegelungen belastete Flächen sind grundsätzlich zu rekultivieren (Rückführung in einen wirtschaftlich nutzbaren Zustand) oder zu renaturieren (Überführung der in Frage kommenden Flächen in einen naturnahen Zustand), sobald ihre Nutzung eingestellt wird. Dies gilt auch für nicht mehr genutzte Wohn-, Industrie- und Verkehrsflächen. Soweit erforderlich, muß an anderer Stelle freiwerdender Boden hierfür bereitgestellt werden. Je nach Belastungszustand ist zu prüfen, wieweit ein Sichselbstüberlassen solcher Flächen von Bedeutung für wichtige Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege (u. a. des Biotop- und Artenschutzes) ist.

Soweit z. B. mit Schwermetallen belastete Böden ausgetauscht werden sollen, bedarf dies einer vorherigen Prüfung der Umweltverträglichkeit. Dies gilt sowohl für die Ablagerung des belasteten Bodens als auch für die Herkunft des benötigten intakten Bodens für die betroffenen Flächen.

### *3.2 Belastung der Böden durch Stoffeintrag*

#### *Belastung der Böden durch Stoffeintrag des Landbaus*

An den durch Stoffeintrag ausgelösten Veränderungen der Böden haben produktionsvorbereitende und produktionsbegleitende Maßnahmen der Land- und Forstwirtschaft und des Gartenbaus maßgeblichen Anteil.

Die in den letzten Jahrzehnten zu beobachtende Steigerung der gesamten landwirtschaftlichen Produktion beruht — neben der Verwendung importierter Futtermittel — im wesentlichen auf einer außerordentlich starken Zunahme des Verbrauchs an zugekauften Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln.

Der Aufwand für Pflanzenschutzmittel hat sich seit 1965 nahezu vervierfacht. Allein in der Bundesrepublik Deutschland werden mehr als 30 000 t/Jahr vorwiegend in ackerbaulich genutzte Böden eingebracht. Die Liste der in der Bundesrepublik Deutschland zugelassenen Pflanzenschutzmittel umfaßt gegenwärtig ca. 1 800 verschiedene Präparate, die sich hinsichtlich der chemischen Eigenschaften, der biologischen Verfügbarkeit und Wirksamkeit sowie der eingesetzten Mengen erheblich unterscheiden.

Nahezu zwei Drittel der in der Bundesrepublik Deutschland angewendeten Wirkstoffe sind Herbizide, deren Einsatzschwerpunkte im Getreide-, Mais- und Rübenanbau liegen. Sie wirken mehr oder weniger selektiv auf die in Konkurrenz zu den Nutzpflanzen stehende Ackerbegleitflora. Eine weitere bedeutende Wirkstoffgruppe stellen die Fungizide dar, deren Absatz in der Bundesrepublik Deutschland ca. 7 500 t erreichte. Davon sind etwa ein Drittel anorganische, insbesondere metallhaltige Präparate, die durch hohe Persistenz gekennzeichnet sind. Fungizide werden vor allem im Bereich des Wein-, Hopfen- und Obstbaus eingesetzt; im Ackerbau konzentriert sich ihre Anwendung auf den Weizen- und Kartoffelanbau. Von Insektiziden und Akariziden werden gegenwärtig ca. 2 200 t jährlich in der Bundesrepublik Deutschland verbraucht. Auch sie werden vorwiegend im Sonderkulturbereich, zunehmend aber auch im Hackfrucht- und Getreidebau ausgebracht und richten sich gegen Schadinsekten und -milben. Daneben werden verstärkt auch Mittel eingesetzt, die das Wachstum der Kulturpflanzen unmittelbar beeinflussen und vor allem im Getreidebau die durch hohe Stickstoffgaben gefährdete Standfestigkeit der Nutzpflanzen sichern sollen. Stark zunehmend ist auch der Einsatz von Bodenentseuchungsmitteln, die mit hoher ökologischer Wirkungsbreite Fehler im Produktionsmanagement und in der Fruchtfolgewardahl ausgleichen müssen.

Neben den eingesetzten Wirkstoffmengen sind auch Zeitpunkt und Häufigkeit der Anwendungen von Pflanzenschutzmitteln von entscheidendem Einfluß auf die Böden. Davon hängt ab, in welchem Umfang und wann sie zu CO<sub>2</sub> abgebaut oder in Humusmoleküle eingebaut werden; dies wird auch von der bei der Ausbringung herrschenden Witterung und von dem Vorhandensein reaktiver Gruppen und Katalysatoren im Boden beeinflußt (s. a. Beitrag von F. FÜHR). Probleme können sich ergeben, wenn die Sorptionskapazität der Böden zeitweilig überfordert oder mikrobielle Abbauprozesse so stark beeinträchtigt werden, daß die biologische Wirksamkeit der eingebrachten Substanzen über die notwendige Dauer hinaus ausgedehnt wird und sich damit die Gefahr einer Aufnahme der Wirkstoffe in die Kulturpflanzen oder einer Anreicherung in der Nahrungskette der Bodenlebewesen und einer Ausbreitung in angrenzende Ökosysteme erhöht.

Aber auch bereits unterhalb dieser Schwelle unbeabsichtigter Nebenwirkungen sind mit dem eigentlichen Anwendungszweck bereits ökologische Folgewirkungen verbunden, die den Einsatz synthetischer Wirkstoffe problematisch erscheinen lassen. Die gezielte Vernichtung pflanzlicher und tierischer Organismen und der damit verbundene langandauernde und ständig gesteigerte Toxizitätsdruck beeinträchtigen die Lebens- und Überlebensmöglichkeiten zahlreicher Arten, die dadurch unmittelbar oder durch allmählichen Entzug der Nahrungsgrundlage vom Aussterben bedroht sind. Das gilt im besonderen Maße für den Einsatz von solchen organischen Verbindungen, die aufgrund ihrer chemischen Struktur eine hohe Persistenz aufweisen, und für anorganische Verbindungen, soweit sie unmittelbar oder infolge von Akkumulation im Boden toxisch wirken. Für diese Wirkstoffgruppen sind darüber hinaus negative Auswirkungen auf das zur Trinkwassergewinnung genutzte Grund- und Oberflächenwasser nicht auszuschließen.

Parallel zu der Steigerung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes vollzieht sich in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Zunahme des Verbrauchs zugekaufter Mineraldünger und der Ausbringung von organischen Wirtschaftsdüngern. Seit 1950 stieg der Verbrauch an Stickstoff, Phosphat und Kali aus Handelsdüngern in der Bundesrepublik Deutschland um mehr als 100 % auf insgesamt ca. 3,2 Mio. t Reinnährstoff/Jahr. Besonders stark war die Zunahme bei Stickstoff, dessen Einsatz nahezu vervierfacht wurde und gegenwärtig ein Niveau von 1,4 Mio. t Reinnährstoff/Jahr erreicht hat. Daneben werden in jüngster Zeit wieder verstärkt Kalkdünger angewendet, die insbesondere der Bodenverbesserung dienen und sich darüber hinaus positiv auf die Verfügbarkeit der übrigen Nährstoffe auswirken.

Bedeutsam für die Nährstoffzufuhr in die Böden sind weiterhin die als Fest- oder Flüssigmist (insbesondere Gülle) anfallenden Wirtschaftsdünger, deren Ausbringung sich allerdings zunehmend weniger an ihrem Nährstoffpotential und dem Wachstum der Nutzpflanzen als vielmehr an den vorhandenen Lagerkapazitäten und an arbeitswirtschaftlichen Kriterien orientiert.

Insgesamt ergeben sich durch die Ausbringung von Handels- und Wirtschaftsdüngern gegenwärtig Nährstoffzufuhren in die landwirtschaftlich genutzten Böden der Bundesrepublik Deutschland von durchschnittlich 190 kg Stickstoff (N), 100 kg Phosphor ( $P_2O_5$ ), 180 kg Kali ( $K_2O$ ) und 110 kg Calcium ( $CaO$ ) je Hektar und Jahr. Trotz dieses hohen Versorgungsniveaus sind deutliche Beeinträchtigungen der Bodenfruchtbarkeit — soweit ersichtlich — bislang nicht eingetreten. Über die tatsächliche Belastungssituation an den durch unterschiedliche Boden- und Klimaverhältnisse gekennzeichneten Produktionsstandorten sagen diese Durchschnittswerte allerdings wenig aus. Insbesondere in den Gebieten mit stark konzentrierter Tierhaltung, in denen die Ausbringung von Gülle vielfach den Charakter von Abfallbeseitigung angenommen hat, entwickelt sich die weit über dem Pflanzenbedarf liegende Stickstoffzufuhr (mit Werten von z. T. über 400 kg N/ha/Jahr) zu einem Problem für die Trinkwasserqualität des Grundwassers. Hier besteht — wie auf anderen stark auswaschungsgefährdeten Böden mit hohem Sickerwasseranfall — die Gefahr, daß sich die Filterkapazität der Böden erschöpft und die Nitratbelastung des Grundwassers unkalkulierbar ansteigt. In einigen Regionen der Bundesrepublik Deutschland sind Nitratschäden bereits feststellbar.

Besondere Aufmerksamkeit erfordert der mit Düngung verbundene Eintrag von Schwermetallen. Mineralische Phosphate sind oft mit Cadmium verunreinigt, dessen Menge allerdings kaum den Cadmium-Eintrag aus der Luft erreicht. Auch Wirtschaftsdünger können Schwermetalle aus Futterzusätzen enthalten, so ist z. B. Schweinegülle kupferhaltig. Durch Müllkomposte und Klärschlämme, die zur Düngung insbesondere im Umland der Verdichtungsgebiete benutzt werden, gelangen ebenfalls Schwermetalle in die Böden. Allerdings werden z. Z. höchstens 4 % der landwirtschaftlich genutzten Böden mit Klärschlämmen gedüngt.

Auch Gartenböden (Kleingärten) können stark mit Schwermetallen und anderen Schadstoffen belastet sein;\* es wurden sogar Überschreitungen der zulässigen Grenzwerte (z. B. Cadmium in Baden-Württemberg) festgestellt. Als Belastungsquelle kommen dabei die verwendeten Düngemittel, Pflanzenbehandlungsmittel, Gartenkomposte und Abfallstoffe (Komposte aus den Siedlungsabfällen) in Betracht. Dazu tritt noch die allgemeine Belastung durch Immissionen von außen. Falsche und übermäßige Dosierung von Düngemitteln aller Art sowie Vernachlässigung der in Bodenverbesserungsmitteln wie Mist, Kompost usw. enthaltenen Stoffe (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Queck-

silber, Zink) verstärken die Belastung. Besonders letztere werden häufig in großen Mengen eingearbeitet.

Größere ökologische Bedeutung hat die durch fortgesetzte Nährstoffzufuhr ausgelöste Angleichung der Trophiegrade verschiedener Standorte. Sie beschleunigt die Verdrängung vieler hochspezialisierter Arten, indem sie oligotrophe Brut- und Nahrungsbiotope irreversibel verändert.

Insgesamt bedingt der starke Anstieg der Verwendung ertragssteigernder und ertragssichernder Mittel Auswirkungen auf die stoffliche Situation vor allem in Acker- und Gartenböden, die eine Trendumkehr dringend geboten erscheinen lassen.

Erste — auch unter ökonomischen Gesichtspunkten sinnvolle — Ansätze dazu bieten der integrierte Pflanzenschutz und eine eng am tatsächlichen Nährstoffbedarf orientierte Düngung. Dabei handelt es sich zunächst lediglich um eine bei den gegenwärtig verfügbaren technischen Möglichkeiten eigentlich selbstverständliche Feinsteuerung der Produktion, deren Weiterentwicklung und Verbreitung sich gegen die Interessen der chemischen Industrie allerdings nur zögernd durchsetzt. Dazu gehören u. a. der verstärkte Einsatz biologischer Schädlingsbekämpfung und die strikte Orientierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes am Schadschwellenprinzip, die Rückbesinnung auf erprobte Fruchtfolge- und Anbausysteme, eine standortgemäße Sortenwahl und eine verbesserte Ausnutzung und bedarfsgerechte Ausbringung der anfallenden Wirtschaftsdünger. Dazu bedarf es verstärkter Forschungsanstrengungen und einer verbesserten Umsetzung der Ergebnisse durch eine Neuorientierung der Beratung.

Alle diese Maßnahmen werden aber nur dann langfristig zu einer Verminderung des Stoffeintrags führen, wenn auch die ökonomischen Rahmenbedingungen, die für das gegenwärtige Belastungsniveau ursächlich sind, verändert werden. Wo akute Gefährdungen der Funktionsfähigkeit der Böden vorliegen und geänderte Verhaltensweisen durch Änderung der Rahmenbedingungen sich nur zögernd durchsetzen lassen, werden produktionsbeschränkende Bewirtschaftungsauflagen in Zukunft unumgänglich sein.

#### *Belastung der Böden durch Stoffeintrag im Waldbau*

Der Stoffeintrag im Waldbau unterscheidet sich in mehrfacher Hinsicht von den Verhältnissen in der Landwirtschaft: Langlebige Mischbestände bilden zumeist stabile Ökosysteme, die keiner chemischen Behandlungsmittel bedürfen. Zugleich erfolgt eventuell in Verjüngungen notwendige Unkrautbekämpfung überwiegend mechanisch. Die Nährstoffauswaschung ist im Wald äußerst gering. Bei den langen Wachstumszeiträumen werden entzogene Nährstoffe durch Prozesse der Bodenbildung normalerweise nachgeliefert.

Der Einsatz von Pflanzenbehandlungs- und Düngemitteln ist dann unumgänglich, wenn außergewöhnliche Umstände Böden und Bestände stark schädigen und schwächen. Es kommen zum Einsatz:

- Insektizide, vor allem gegen Borkenkäfer und Rüsselkäfer: Die Tendenz der eingesetzten Mengen ist allgemein

\*) Untersuchungen von KLOKE, A.: z. B. Die Belastung der gärtnerischen und landwirtschaftlichen Produktion und Erntegüter durch Immissionen, in: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Immissionsbelastung ländlicher Räume, Laufener Seminarbeiträge 2/82. SCHMID, P.: Bodenbelastung in Kleingärten — mögliche Ursachen und Gefahren, in: Bodenschutz; Tagung über Umweltforschung an der Universität Hohenheim, S. 97 ff., Ulmer Verlag, Stuttgart 1986.

rückläufig, da zunehmend mit den unbedenklicheren Lockstoffallen gearbeitet werden kann. Lindanhaltige Präparate sind inzwischen weitgehend durch Mittel mit dem Wirkstoff Cypermethrin ersetzt.

- Herbizide: starker Rückgang der eingesetzten Mittel, da aufgrund neuer Erkenntnisse in einigen Bereichen ganz auf Unkrautbekämpfung verzichtet, in anderen mit mechanischen Verfahren rationell gearbeitet werden kann.
- Verbißschutzmittel stellen den mengenmäßig größten Anteil der Pflanzenbehandlungsmittel: Der Bedarf konnte jedoch auch hier ganz erheblich gesenkt werden durch Regulierung der Wildbestände, die Verwendung von Großpflanzen und den Einsatz mechanischer Mittel.
- Rodentizide und Fungizide spielen eine untergeordnete Rolle.

Das Ausbringen von Düngemitteln in Form von Meliorationsdüngungen hat im Wald schon immer eine gewisse Rolle gespielt und wird neuerdings im Zusammenhang mit der Walderkrankung zunehmend diskutiert. Es kann sich jedoch nur um die gezielte Zufuhr nicht ausreichend vorhandener Nährstoffe handeln (also vor allem Ca, K, Mg), und nicht um eine Aufdüngung auf den Neutralpunkt wie in der Landwirtschaft. Dann tritt keine nachweisbare Schädigung des Bodenlebens, Veränderung der Bodenvegetation, Schädigung des Mykorrhiza-Besatzes oder nennenswerte Nitrat-ausschwemmung ins Grundwasser ein.

Der Vollständigkeit halber sei unter den eingetragenen Stoffen noch das Sägekettenöl erwähnt, das fein verteilt und in geringen Mengen auf die Waldböden gelangt und wie jedes Mineralöl zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers führen kann. In der Zwischenzeit sind biologisch abbaubare Kettenschmieröle entwickelt und getestet worden, die bei zufriedenstellender Wirkung auch immer mehr zum Einsatz kommen.

#### *Belastung der Böden durch Stoffeintrag sonstiger Verursacher*

Die industrielle und gewerbliche Tätigkeit, der noch andauernde Ausbau von Gewerbegebieten und der Verkehr haben in einem enormen Umfang Bodenflächen in Anspruch genommen, dem natürlichen Kreislauf entzogen und Böden auf großen Flächen zerstört oder belastet.

So werden erhebliche Mengen an Gasen und Stäuben in die Atmosphäre ausgestoßen und gelangen auf unterschiedlichen Wegen in die Böden und Gewässer. Organische und anorganische Stoffe werden als industrieller Abfall, mit gemeindlichem Müll, als Klärschlamm wie auch durch Ableitung von Abwasser und indirekt über die Atmosphärrillen auf dem Boden abgelagert.

Immission und Deposition dieser Substanzen wirken sich in landwirtschaftlich genutzten Böden und Waldböden z. T. unterschiedlich aus. Gute landwirtschaftliche Bodenpflege gemäß den in Abschn. 3.2 genannten Grundsätzen vermag wesentlich dazu beizutragen, schädliche Stoffeinträge entweder durch Bindung in den Böden zu neutralisieren oder durch Abbau zu beseitigen; allerdings ist dies nur in begrenztem Umfang möglich und darf nicht zur Vernachlässigung emissionsbegrenzender Maßnahmen führen. In Waldböden unterliegt der Stoffeintrag aus der Luft gegenüber landwirtschaftlich genutzten Böden mehreren Besonderheiten:

- Der absolute Stoffeintrag ist im Wald größer als im freien Feld, da die Bäume wesentlich mehr Partikel auskämmen.

- Die Anreicherung im Oberboden ist größer, da in der Regel keine Bodenbearbeitung mit Durchmischung erfolgt.
- Die Stoffeinträge wirken sich verhängnisvoller aus, beispielsweise führt ständige Stickstoff-Überdüngung aus der Luft zu einer krankhaften Veränderung des Sproß/Wurzel-Verhältnisses und einer Schädigung der für das Baumwachstum wichtigen Mykorrhiza.

Die Forstwirtschaft hat nur begrenzte Möglichkeiten, diesen Belastungen entgegenzuwirken, vor allem durch als „Kompensationskalkung“ bezeichnete Düngergaben, die auch Kalium und Magnesium enthalten können, doch auf pH-Wert, Basensättigung und andere Bodeneigenschaften genau abgestimmt werden müssen. Bei sorgfältiger Dosierung sind keine schädlichen Nebenwirkungen zu erwarten. Weiterführende Untersuchungen hierüber bleiben aber noch abzuwarten. Außerdem kann versucht werden, in Altbeständen eine zu starke Aufflichtung des Kronendaches zu vermeiden.

#### Säurebildner

In den letzten Jahrzehnten wird dem Gehalt von Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) sowie den Oxidantien in der Atmosphäre und ihren Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Böden besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Die wesentlichen Emittenten für SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> sind die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerke, Industrieanlagen, Hausfeuerungen und der Kraftfahrzeugverkehr.

**Tabelle 2:**  
**Übersicht über die Emissionen von Säurebildnern im Bundesgebiet (1982)**

Gesamtemission	SO <sub>2</sub> t/a 3 000 000	NO <sub>x</sub> t/a 3 100 000
	Anteile der Emittentengruppen in v.H.:	
Kraftwerke/Fernheizwerke	62,1	27,7
Industrie	25,2	14,0
Haushalte/Kleinverbraucher	9,3	3,7
Verkehr	3,4	54,6

aus: 3. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung (BT- Drucksache 10/1354)

SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> werden im Luftraum überwiegend zu Schwefel- und Salpetersäure oxidiert. Nur ein Teil der Säuren erreicht mit dem Niederschlag die Erdoberfläche und wird vornehmlich an den Blattoberflächen, Zweigen der Vegetation und auf Gebäuden zunächst abgelagert und alsdann durch Regen abgespült. So gelangen die Säuren in die Böden, in Fließgewässer und stehende Gewässer.

Die Auswirkungen dieser Säuren sind sehr mannigfaltig. Bei langzeitlicher Einwirkung der Säuren auf die Böden finden chemische Umsetzungen statt — Freisetzung und Auslösung von Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium. So ergeben sich Verluste an basischen Bestandteilen, eine Versäuerung der Böden — verbunden mit einer Freisetzung von Metallionen mit toxischer Wirkung auf die Pflanzen — sowie Schädigungen der Mikroorganismen unter Veränderungen der Bodenstruktur mit Beeinträchtigungen der Vegetation.

Nach den bisher bekannt gewordenen Messungen darf als mittlerer Säureeintrag aus der Luft 2 kg H<sup>+</sup>/ha/a angesetzt

werden. Rund 100 kg CaCO<sub>3</sub>/ha/a werden zur Neutralisation der Säure benötigt. Diese Menge dürfte in der Praxis genügen, zumal bei einem großen Prozentsatz der Ackerböden ein Carbonat-Pufferungsvermögen vorhanden ist. Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei den jetzigen Waldböden, die kein Pufferungsvermögen besitzen, wie die pH-Werte erkennen lassen, die bei Waldböden häufig 1–3 Einheiten niedriger als bei landwirtschaftlich genutzten Böden liegen.

Die Verursacher für die Säurebildung sind bekannt. Gesetze und Verordnungen zwingen inzwischen Besitzer von Großfeuerungsanlagen zum Einbau von Rauchgaswaschanlagen; hierbei wird der Ausstoß von SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> bezogen auf den m<sup>3</sup> Rauchgas fortschreitend mehr und mehr begrenzt. Nach dem gegenwärtigen Stand der Technik ist es den Betreibern von Großkraftwerken mit dem Einsatz neuer Verfahren möglich, die Vorschriften der TA-Luft mit dem derzeitigen Richtwert von 400 mg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> zu erfüllen, zum Teil sogar zu unterschreiten.

Eine Studie der Steag AG, Essen, zeigt, daß bei dem derzeitig beschleunigten Ausbau von Rauchgasreinigungsanlagen der Jahresausstoß von 138 000 t Schwefeldioxid im Jahre 1984 bis 1994 auf 23 000 t, mithin um 83 % gesenkt werden kann. Der dadurch bedingte Anfall von Gips erzeugt einen Bedarf an Deponieflächen, der aus Bodenschutzgründen problematisch werden kann.

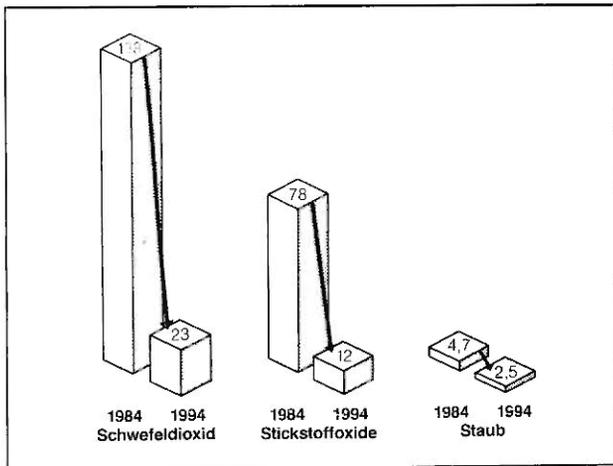


Abbildung 1: Rasche Senkung der Emissionen bei den STEAG-Steinkohlekraftwerken (Werte in 1000 t/a)

Besonderer Anstrengungen bedarf es, die bei den Kohlekraftwerken und bei dem Kraftfahrzeugverkehr anfallende riesige Menge an Stickstoffoxiden zu reduzieren. Auch hier gilt es, die Stickstoffoxide am Entstehungsort zu erfassen und sie durch Auswaschung aus den Rauchgasen und durch chemische Umwandlung auszuschleiden.

Die bei den Kohlekraftwerken eingeleiteten Maßnahmen und Versuche für eine sehr weitgehende Entstickung der Abgase lassen erwarten, daß der Gehalt an Stickstoffoxiden auf den Richtwert der TA-Luft von 200 mg/m<sup>3</sup> Rauchgas weithin um 85 % gesenkt wird.

Nach der Tabelle 2 auf Seite 14 ist der Kraftfahrzeugverkehr bei dem Gesamtjahresanfall von 3 100 000 t Stickstoffoxiden in der Bundesrepublik mit über 54 % beteiligt. Die Automobilindustrie hat bedeutende Erfolge in der Senkung des Kraftstoffverbrauches durch die Entwicklung neuer Moto-

ren aufzuweisen und erreicht durch den Einbau von Katalysatoren in die Fahrzeuge eine wesentliche Verminderung im Ausstoß von Stickstoffoxiden.

So begrüßenswert und hoffnungsvoll diese Entwicklungen sind, so wird doch noch lange Zeit vergehen, ehe in unserer Umwelt wesentliche Entlastungen gemessen werden; bei der viele Millionen umfassenden Zahl von alten Kraftfahrzeugen kommt der Austausch gegen neue Fahrzeuge und der Einbau von Katalysatoren nur langsam voran.

Die Abgase aus dem Kraftfahrzeugverkehr breiten sich unmittelbar über die Erdoberfläche aus, belasten unsere Atemluft bis zur Unerträglichkeit und schlagen sich unter Mitwirkung der Atmosphärrillen zu einem wesentlichen Anteil auf die Böden und die Vegetation nieder.

Mit dem Eintrag von Stickstoffverbindungen sind Veränderungen der chemisch-biologischen Kennwerte im Boden, Einwirkung auf den Nährstoffgehalt und Veränderungen in der Vegetation zu erwarten. Umfassende Erkenntnisse über die Einwirkung von Stickstoffoxiden und ihre Umwandlung liegen noch nicht vor. So bedarf es noch intensiver Forschungen, um insbesondere die Auswirkungen der Stickstoffoxide in Zusammenhang mit der Ozonbildung auf die Böden und speziell auf den Wald zu erfassen.

#### Schwermetalle

Unter den Schadstoffen für die Böden sind die Schwermetalle wie Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg) bis zum Nickel (Ni), Blei (Pb), Zink (Zn) als gefährliche Stoffe recht spät erkannt worden. Als Naturelemente kommen sie überall vor. Stärker vertreten sind sie in Gebieten, in denen von Natur aus Erze abgelagert sind.

Der Eintrag von Schwermetallen durch Stäube über die Luft ist gering. Erhebliche Ausstöße von Schwermetallen in die Luft und ihre Verteilung treten im Umkreis von Erz aufschließenden Hütten und metallverarbeitenden Betrieben auf.

Die Gefahr eines Schwermetall-Eintrages in die Böden durch Düngung wurde bereits erwähnt. Auch durch Ablagerung von ausgebagerten Fluß- und Hafensedimenten werden häufig Schwermetallzufuhren in Böden verursacht. Durch Überschwemmungen der Flüsse können Schwermetalle mit den Ablagerungen auf die angrenzenden Auenböden gelangen.

Schwermetalle sind bereits in geringer Konzentration giftig; sie können aus den Böden nicht unmittelbar entfernt werden. Durch die Schwermetallzufuhr kann folgendes bewirkt werden:

- Wachstumsbeeinträchtigung der Pflanzen
- Pflanzenschäden
- größere Anfälligkeit der Pflanzen gegenüber Schädlingen
- Verminderung der Pflanzenqualität
- erhöhte Schadstoffgehalte in der Pflanze.

Die Wirkung der Schwermetalle hängt allerdings auch von den unterschiedlichen Bodeneigenschaften des jeweiligen Standortes ab. Gesundheitliche Folgen durch den Genuß von selbst erzeugten schwermetallhaltigen Produkten sind bei Cadmium nachgewiesen. Blei und Quecksilber werden von den Pflanzen nur in geringem Maße aufgenommen; Chrom, Nickel, Zink und Kupfer sollen im menschlichen Körper kaum toxisch wirken.

Cadmium gilt als das ökologisch gefährlichste Schwermetall. Vor allem durch die Gewerbetätigkeit wird es weit verbreitet. So sind die Grenzwerte für den Gehalt von Cadmium im Klärschlamm mit 20 mg/kg Trockensubstanz (TS), auf Ackerböden mit 2 mg/kg TS und im Abwasser mit 500 µg/l festgelegt (Klärschlammverordnung). Diese Grenzwerte sind wegen der Gefährlichkeit des Cadmiums sehr niedrig angesetzt; ihre Einhaltung bereitet gerade bei Klärschlamm in dicht besiedelten Gebieten mit vielen Gewerbebetrieben Schwierigkeiten und schließt oft genug die Aufbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftliche Flächen aus. Das Eindringen von Cadmium in einer gefährlich werdenden Konzentration in die Nahrungskette soll dadurch verhindert werden.

Die Grenzwerte für Schwermetalle in der Bundesrepublik differieren zum Teil erheblich gegenüber denen anderer Mitgliedstaaten der EG und dürften zunächst als Interimswerte anzusehen sein; wiederum ist das Ziel anzustreben, den Eintrag von Schwermetallen in die Böden auszuschließen. Dies verlangt auch hier, daß Schwermetalle, die im Verlauf von Produktionsprozessen als Abfall anfallen, sogleich am Entstehungsort erfaßt werden, um jegliche Vermischungen mit festem und flüssigem Abfall zu verhindern.

#### Feste Abfälle

Als gefährliche Bodenbelastungen sind im letzten Jahrzehnt die unkontrolliert vorgenommenen Ablagerungen von industriellem und gemeindlichem Abfall erkannt worden. Sie sind in großer Anzahl vorhanden und werden häufig unter dem Namen „Altlasten“ geführt.

Diese alten Ablagerungen, die inzwischen abgedeckt und einplaniert, gelegentlich sogar bebaut worden sind, bereiten mit ihrem hohen Gehalt an organischen und anorganischen Stoffen wie auch durch den zuweilen hohen Gehalt an chlorierten Kohlenwasserstoffen durch fortschreitende Zersetzung mit dem Auftreten von schädlichen Gasen und Sickerwässern erhebliche Schwierigkeiten bei der Eindämmung der Schäden durch Sanierungsmaßnahmen. Ein Bodenaustausch, der gelegentlich vorgenommen wurde, führte meistens nur zu einer Verlagerung der Probleme.

Die künftige Entwicklung der Sanierungsmaßnahmen für diese Altlasten im vorgenannten Sinne liegt in einem Verzicht auf Bodenaustausch und in der Anwendung von Injektionen mit Chemikalien und in Sonderfällen mit Mikroben.

#### Radioaktivität

Seit den Atombombentestversuchen und vor allem seit der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl in der Sowjetunion sind radioaktive Niederschläge in ihrer Wirkung auf den Boden von besonderem Interesse. In regional unterschiedlichen Mengen wurden sie im Mai 1986 auf Pflanzen und Boden abgelagert. Aufgrund der anfangs ermittelten relativen Zusammensetzung des Radionuklidpektrums waren zunächst die kurzlebigen Nuklide\*) mit einem Anteil von ca. 85 % radiologisch von Bedeutung wie bz. B. Jod 131. Trotz ihres verhältnismäßig geringen Anteils sind aber auch die Radionuklide Caesium 137 und Strontium 90 aufgrund ihrer Halbwertszeit von 30,1 bzw. 28,5 Jahren besonders zu beachten, da sie über Jahre im Boden verbleiben, von Pflanzenwurzeln aufgenommen, in Nahrungsketten angereichert werden und somit zu einer — wenn auch sehr geringen — Strahlenbelastung des Menschen über die Nahrungsaufnahme beitragen können. Dieses Strahlenrisiko gilt es abzuschätzen. Es ist abhängig von

— der Radioaktivitätskonzentration im Boden,

- der Aufnahme der radioaktiven Nuklide in die Pflanze, über die Wurzel und ihre Anreicherung in den einzelnen Pflanzenorganen (quantitativ) sowie
- der Zusammensetzung und Menge der radioaktiv belasteten Nahrung.

Zur Abschätzung des Risikos wurden am Institut für Radioagronomie in Jülich bereits nach den Atombombentestversuchen Lysimetermessungen durchgeführt. Aufgrund dieser Untersuchungen lassen sich Rückschlüsse auf das Verhalten des nach dem Tschernobyl-Unfall abgelagerten Caesium 137 und Strontium 90 ziehen. Caesium 137 und Strontium 90 werden zunächst in die oberen 1—3 cm des Bodens eingewaschen. Beide Radionuklide unterliegen dort den bodentypischen spezifischen Sorptions- und Bindungsprozessen. Sie werden an Ton und Humus sorbiert und — in Abhängigkeit von ihrer Löslichkeit und dem Kationenstatus des Bodens — nur langsam an die Bodenlösung im Austausch gegen andere Kationen im Boden (z. B. K<sup>+</sup>) wieder abgegeben. Sie sind dann für eine Wurzelaufnahme verfügbar. Die Höhe der Aufnahme über die Pflanzenwurzel hängt u. a. auch von der Summe der in der Bodenlösung vorliegenden und verfügbaren übrigen Kationen wie Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup> und Mg<sup>++</sup> ab. Bei guter Versorgung des Bodens mit diesen Pflanzennährstoffen wird die Aufnahme an Caesium 137 und Strontium 90 weiter reduziert. Voraussetzung für die Aufnahme ist ferner, daß die Radionuklide Caesium 137 und Strontium 90 in den Bereich der aufnehmenden Wurzeln gelangen (3—25 cm Bodentiefe = Maximum der aufnehmenden Pflanzenwurzeln bei Ackernutzung). Für Caesium 137 ist durch umfangreiche Untersuchungen belegt, daß aufgrund des sehr niedrigen Caesiumgehalts im Boden und aufgrund des Sorptionsverhaltens dieses Kation sehr stark an Tonminerale fixiert wird, so daß auch die Verfügbarkeit für die Pflanzenwurzel stark abnimmt.

Die Aufnahme an Strontium durch die Pflanzenwurzel ist zwar proportional der Strontiumkonzentration in der Bodenlösung, sie wird jedoch auch beeinflusst durch das Vorhandensein von Calcium im Boden. Je höher die Konzentration an verfügbarem Calcium in der Bodenlösung ist, desto niedriger ist die Aufnahme an Strontium durch die Pflanzen. Eine gute Versorgung des Bodens mit Calcium, aber auch mit anderen Nährstoffen wie Kalium und Magnesium, trägt somit zur Reduzierung der Strontium 90-Aufnahme bei. Eine Kalkdüngung hat jedoch nur einen Effekt, solange die Calciumsättigung im Boden noch nicht erreicht und die Austauschkapazität für Calcium noch nicht erschöpft ist.

Nach den Versuchsergebnissen des Instituts für Radioagronomie werden die Radionuklide den Wurzelbereich ohne Bodenbearbeitung und damit einhergehender Einmischung bzw. Verteilung in größere Bodentiefe auf normalem Wege, d. h. durch Verlagerung bzw. Einwaschung mit dem Regenwasser aufgrund der Sorption an Ton und Humus, in diesem Jahr gerade erreichen. Caesium wird ohne Bodenbearbeitung auch weiterhin in der 0—5 cm Bodenschicht verbleiben, während das Strontium mit einer Wanderungsgeschwindigkeit von 5—10 cm/Jahr verlagert wird, wobei die oberen Bodenschichten jedoch nie ganz entleert werden.

Durch die Bodenbearbeitung erfolgt neben der Verlagerung auch eine Verdünnung der Caesium 137- und Strontium 90-Konzentrationen im Boden:

- Aufgrund der derzeitigen Erkenntnisse der im Boden gemessenen, relativ niedrigen Radioaktivitätswerte, der

\*) Nuklid = Bezeichnung für einen Atomkern mit einer definierten Zahl von Kernteilchen (Protonen und Neutronen). Ein Radionuklid ist ein instabiler Atomkern.

durch die Bearbeitung erfolgenden Verteilung und Konzentrationsverdünnung im Boden, der sorptiven Bindung an Ton und Humus und der damit verbundenen geringen Verfügbarkeit ist nur mit einer niedrigen Aufnahme der Radionuklide Caesium 137 und Strontium 90 über die Wurzel in pflanzliche Nahrungsmittel zu rechnen. Infolgedessen ist durch die nach der Tschernobyl-Katastrophe in der Bundesrepublik Deutschland auf die Böden abgelagerten Radionuklide Caesium 137 und Strontium 90 nur eine niedrige Erhöhung der Strahlenbelastung des Menschen durch den Verzehr pflanzlicher Nahrung zu erwarten.

- Bei Böden mit guter Nährstoffversorgung (Calcium, Kalium, Magnesium) und hoher Basensättigung (hoher pH-Wert) ist nur eine geringe Aufnahme an Caesium 137 und Strontium 90 durch die Pflanze zu erwarten. Durch zusätzliche Düngung mit Calcium und Kalium kann bei schwach versorgten Böden ein Reduktionseffekt der Aufnahme an Caesium 137 und Strontium 90 erreicht werden. Eine Überdüngung sollte aber auf jeden Fall vermieden werden, da ein unausgewogenes Nährstoffverhältnis im Boden eine Minderung des Pflanzenertrages, eine drastische Veränderung der pH-Werte in manchen Böden und eine Festlegung anderer, für die Pflanze wichtiger Nährstoffe verursachen könnte.
- Im Boden wird Caesium 137 ähnlich dem Kalium nur langsam, Strontium ähnlich dem Calcium etwas schneller verlagert. Eine Abgabe von Caesium 137 und Strontium 90 bis ins Grundwasser hängt von folgenden Faktoren ab: Löslichkeit der Nuklidmenge, der Sickerspende, der Zeit und der sehr unterschiedlichen Sorptionsfähigkeit der einzelnen Böden. Untersuchungen hierüber sind noch nicht abgeschlossen; man erwartet allerdings einen sehr hohen Verdünnungsgrad.

### 3.3 Mechanische Bodenbelastung und neue Bearbeitungsverfahren

Das Befahren der Böden mit den modernen schweren landwirtschaftlichen Geräten zerstört die Bodenstruktur und führt zu einem Verlust von Grobporen. Die Folgen sind geringe Luftdurchlässigkeit, geringe Wasseraufnahmefähigkeit, Erosion und Verschlammung. Unsachgemäße Bearbeitungsmethoden beeinträchtigen insgesamt die physikalischen und biologischen Prozesse der Bodenstrukturbildung und schränken damit die natürliche Leistungsfähigkeit der Böden ein, die kurzfristig nicht regenerierbar ist.

#### *Bodenbearbeitung und Bodenbearbeitungsgeräte*

Landwirtschaftliche Bodenbearbeitungsverfahren lassen sich nach Eingriffsintensität, Eingriffstiefe und Art des Einsatzes voneinander unterscheiden. Insbesondere die traditionellen Verfahren mit Pflug und Schwergrubber führen zu einer tiefgreifenden und intensiven Störung des Bodengefüges. Einen geringeren Einfluß haben dagegen Direktsaatverfahren, bei denen allerdings durch den Verzicht auf die Umlagerung der Bodenoberfläche die Konkurrenz zwischen Kultur- und Wildpflanzen zu einem Problem werden kann.

Der Trend in der Landwirtschaft geht z. Z. in Richtung reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren. Mit dem Verbleiben organischer Restsubstanz kann die biologische Aktivität gesteigert und der Erosionsschutz verbessert werden. Insgesamt werden die natürliche Bodenfruchtbarkeit und die Gefügestabilität erhöht. Reduzierte Bearbeitungsverfahren sollten daher, nicht zuletzt auch wegen des geringen Leistungs- und Energiebedarfs, in der Landwirtschaft bevorzugt angewendet werden.

#### *Belastung durch Transportvorgänge*

Zu erwähnen ist an dieser Stelle das Befahren der Ackerflächen mit schweren Gülletanks zur Entsorgung von Massentierhaltungen, was besonders in der feuchten Jahreszeit zu schweren Gefügeschäden im Boden führen kann.

Die Rationalisierungswelle hat bis vor kurzem zu immer größeren und schwereren Fahrzeugen geführt. Die Folgen sind Bodenverdichtungen, die zu einer Verringerung des Porenvolumens, Reduzierung der Wasseraufnahmefähigkeit, Zerstörung des Aggregatzustandes sowie zu Verschlammung und Erosion führen können. In ihrem Gefolge kann es zur Beeinträchtigung des Bodenlebens und der Fähigkeit, Schadstoffe abzubauen, kommen, da nicht mehr genügend Sauerstoff in die Böden gelangt, um aerobe Abbauprozesse zu gewährleisten.

Alle Transportvorgänge sollten auf das notwendige Maß beschränkt werden. Die Lasten von Fahrzeugen und Maschinen sind gering zu halten. Die Empfindlichkeit der verschiedenen Böden gegenüber Bearbeitungsfehlern sowie die Gunst oder Ungunst des Bearbeitungszeitpunktes in Abhängigkeit von der Witterung müssen berücksichtigt werden.

Auch in der Forstwirtschaft bemühte sich die Technik zunächst um leistungsfähige und geländegängige Rückegeräte, wobei das unbedenkliche Befahren aller Waldböden unterstellt wurde. Heute weiß man um die schweren ökologischen Nachteile des auf den Boden wirkenden Drucks: Verschlechterung der Sauerstoffversorgung und der Wasserleitfähigkeit und damit Schädigung der Bodenorganismen, deren Tätigkeit für ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der natürlichen Sackungstendenz der Böden und der biologischen Aufhöhung sorgt.

Der Effekt des Befahrens ist also ein doppelter: Physikalische Verdichtung und in der Folge Verminderung der Regenerationsfähigkeit durch Störung der Bodenorganismen. Zehn Jahre nach einer Befahrung ist im allgemeinen noch keine Regeneration der Bodenstruktur eingetreten. Dies hat Folgen für das Pflanzenwachstum: erhebliche Erschwerung der Naturverjüngung, Hemmung des Wurzelwachstums durch schlechtere Bodenbelüftung, Versorgungsschwierigkeiten mit weniger beweglichen Nährstoffen (z. B. Phosphor).

Bodenverdichtung erhöht aber auch im Wald die Gefahr der Erosion und vermindert die Wasserrückhaltekapazität.

Die wichtigste Gegenmaßnahme ist ein Verzicht auf das Befahren der ganzen Waldfläche und eine sorgfältige Beachtung des Bodenzustandes. Daneben ist eine konstruktive Verbesserung der Rückemaschinen von Bedeutung: Breitreifen mit niederem Druck und geringer Profiltiefe; Tandemachsen, die vor allem beim Überfahren von Hindernissen zu einer gleichmäßigen Druckverteilung führen; verbesserte Antriebssysteme, die ein Gleiten der Räder minimieren. Zugleich muß Holzbringungsarten, die ein Befahren der Waldböden weitgehend unnötig machen (z. B. Seilkranbringung), erhöhte Bedeutung beigemessen werden.

Die mechanische Auflockerung verdichteter Böden durch Bodenbearbeitungsgeräte kann das einmal zerstörte Netz von Grobporen nicht wieder herstellen und führt nur zu einer scheinbaren Verbesserung der Bodenstruktur.

### 3.4 Bodenerosion durch Oberflächenwasser und Wind

Auch in der Bundesrepublik Deutschland stellt die Bodenerosion eine Schädigung der Böden dar; sie hat in den letzten Jahren infolge der angestiegenen Bodennutzungsinten-

sität deutlich zugenommen. Ohne Zweifel wurde in den letzten Jahrzehnten, allein wegen der ansteigenden Ertragsüberschüsse, das Problem des Bodenabtrags unterbewertet und in seinen nachteiligen Auswirkungen nicht voll erkannt, zumal die Abtragungsvorgänge nicht immer offensichtlich sind.

Art und Ausmaß der Bodenerosion stehen in ursächlichem Zusammenhang mit den anstehenden geologischen Schichten, den Bodenarten, dem Relief, der Struktur der Vegetationsdecke sowie den Klimaverhältnissen eines Raumes. Von den Klimafaktoren ist besonders der Niederschlag von Bedeutung, daneben auch Temperatur und Wind.

Über das Ausmaß des Bodenabtrags durch Wasser liegen nur wenige langfristige Messungen vor. An ihre Stelle sind Messungen der Stoffverteilung an Hängen getreten, aus denen man auf die Bodenverlagerung rückschließen kann. Sie haben in einem Gebiet der Hallertau in Bayern mit einer Hopfennutzung bis zu 45 Jahren an 6 Hängen Abträge bis zu 60 t pro Jahr und ha ergeben. Auf steilen Hangflächen, vor allem im Weinbau, kann der Abtrag häufig und im verstärkten Maße auftreten. Die jährlichen Bodenverluste in den meisten Lößgebieten sind deutlich größer als die Neubildungsrate, die je nach Bodenbildungsbedingungen zwischen 0,01 und 0,2 mm/a angesetzt werden kann. Demgegenüber entspricht der Verlust von 13—15 t/ha Boden bereits einem Millimeter Boden.

Die Bodenerosion durch Wind erreicht in trockenen Jahren beachtliche Ausmaße und kann auf den betroffenen Flächen zu Ertragsminderungen von 10—20 % und mehr führen, wie dies z. B. auf Geestflächen in Schleswig-Holstein festgestellt wurde.

Die nachteilige ertragsmindernde Wirkung der Bodenerosion tritt besonders auf Böden geringer Mächtigkeit rasch ein. Hierbei sind Hangbereiche mit größeren Wassereinzugsbereichen wegen der erhöhten Angriffskraft des Wassers besonders betroffen. Aufgrund des Abtrages der oberen belebten Bodenschicht nimmt das Bodenprofil ab; es tritt Nährstoff- und Humusverlust ein, die Speicherkapazität für Wasser und Nährstoffe wird verringert. Es können schließlich Schichten freigelegt werden, die für eine Bodenentwicklung extrem ungünstig sind (Kiese, Sande, unverwitterte Gesteine).

Darüber hinaus können durch den Abtrag Kulturpflanzen geschädigt und Nährstoffe in die Vorfluter eingetragen werden, wie auch Verkehrswege, Gräben und Gewässer durch abgetragenen Boden blockiert werden können.

Die *Ursachen der Bodenerosion* sind vielfältig. Der Erosionsprozeß wird zunächst durch die kinetische Energie der Regentropfen auf die vegetationsfreie Bodenoberfläche ausgelöst, wodurch Bodenmaterial losgeschlagen wird. Das lockere Material wird dann von dem oberflächlich abfließenden Wasser hangabwärts transportiert. Hierbei wird von dem Fließwasser weiteres Material losgerissen. Dieser Abtragungsvorgang setzt Regentropfenenergie, unbedeckte Oberfläche, transportierfähiges Bodenmaterial und Oberflächengefälle voraus. Im Zuge der intensivierten Landwirtschaft, häufig auch im Rahmen der Flurbereinigung, wurden Terrassen mit ihren gehölzbewachsenen Böschungen, Feldhecken und Knicks, Restwälder und Vogelschutzgehölze wie auch Feldraine beseitigt und damit große, hindernisfreie Feldfluren geschaffen. Soweit Terrassen beseitigt wurden, hat auch das Hanggefälle zugenommen. Hinzu tritt für den Bodenabtrag durch Oberflächenwasser die falsche Bearbeitung der ackerbaulich genutzten Flächen senkrecht zu den Höhenlinien. Große Wassereinzugsgebiete mit erhöhter Fließgeschwindigkeit des Wassers und häufige Starkregen sowie ein Gefälle ab 5 % — bei empfindlichen

Böden auch bereits ab 3 % und bei Löß sogar bereits bei 1,5—2 % — führen zu erhöhtem Bodenabtrag.

Die Wassererosion ist von der Art des Bodens abhängig (Bodenart, Menge und Zeitpunkt des Niederschlags, Hangneigung, Größe des Einzugsgebietes, Schlageinteilung sowie Bodennutzung und Bodenbedeckung). Lößlehme, Flottsande und andere mittelschwere Bodenarten sind besonders anfällig. Während Futterpflanzen, Getreide und Raps im allgemeinen in der Starkregenzeit (Mai bis August) die Bodenoberfläche gut schützen, bedecken Zuckerrüben und Mais diese zu Beginn der Regenperiode noch ungenügend. Mais bietet innerhalb der vorherrschenden Fruchtfolgen den geringsten Erosionsschutz. Die Tatsache, daß die Anbaufläche von Mais in der Bundesrepublik Deutschland von 1968 bis 1985 von 200 000 ha auf etwa 1,1 Mio. ha zugenommen hat, läßt die Erosionsgefahr in unserem Lande um etwa 30 % ansteigen.

In diesem Zusammenhang muß auch auf die wachsende Gefahr der Bodenerosion und Bodenrutschung auf Hängen und Böschungen als Folge der Erkrankung von Waldbeständen, insbesondere im Gebirge, aufmerksam gemacht werden. Die Einwirkung von Schadstoffen auf Waldökosysteme führt nicht nur zu Schäden in der Baumkrone, sondern auch zu Schäden an den Wurzeln. Sie äußern sich u. a. in einer Störung des Symbioseverhältnisses zwischen Baum und Wurzelpilzen (Mykorrhiza), krankhaften Veränderungen des Feinwurzelsystems und einer unaufhaltsamen Schwächung des Stützwurzelsystems. Das Ergebnis ist ein erheblicher Vitalitätsverlust der Bäume und Waldbestände, der sich nachteilig auf die Standsicherheit von Böschungen und Hängen auswirkt. So führt die verringerte Flüssigkeitsaufnahme der Bäume zu früher nicht beobachteten höheren Wasseransammlungen im Bodenkörper, einer geringeren Haftfähigkeit der Bodenteilchen und der Erhaltung einer größeren Plastizität bindiger Böden. Im Gefolge der Waldschäden ist daher mit einem Anwachsen von Erdbeben und Bodenerosionen mit steigender Gefährdung für die im Talgrund und an den Unterhängen befindlichen Siedlungen, Verkehrswege und landwirtschaftlich genutzten Flächen zu rechnen. Hinzu kommt eine Schädigung der über lange Zeiträume gewachsenen, natürlichen bzw. noch naturnahen Bodenstruktur in unseren Waldökosystemen. Der Rat machte auf diese Probleme in seiner Stellungnahme zur Gefährdung des Bergwaldes in den bayerischen Alpen aufmerksam (vgl. Heft 49/1986 der Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege).

Die Winderosion ist im wesentlichen abhängig von Zeitpunkt und Stärke des Windes, der Bodenart (leichte Bodenarten ohne bindige Tonanteile mit einer mittleren Korngrößenfraktion von 0,1—0,5 mm sind besonders gefährdet), dem Relief und der Größe des Einzugsgebietes sowie der Bodennutzung und Bodenbedeckung. Das Einzugsgebiet des Windes wird bestimmt durch das Relief (auf Höhen und in Tälern kann es zu einer Verdichtung der Strömungslinien kommen) und den in der Landschaft verteilten Hindernissen, wie Wälder, Feldhecken und andere Feldgehölze, Siedlungen und dgl. mehr. In einer von Baum und Strauch geräumten Landschaft findet der Wind freie Anlaufflächen und kann sich erodierend auswirken.

Die *Maßnahmen zum Schutz gegen Bodenerosion* ergeben sich zwangsläufig aus den Ursachen, die verhindert oder beseitigt werden müssen. Um die Bodenerosion durch Wasser zu verhindern bzw. zu mildern, müssen große hängige Wassereinzugsgebiete durch Terrassen gegliedert werden. Ihre Böschungen sind mit standortgemäßen Gehölzen zu befestigen. Durch Bodenschutzpflanzungen, Wasserfanggräben und Konturfurchen kann die Fließgeschwindigkeit des Wassers herabgesetzt und das Wasser zum Versickern oder zum

gefahrlosen Abfluß gebracht werden. Die dringend erforderliche Bearbeitung des Bodens in Richtung der Höhenlinien setzt voraus, daß die Ackerschläge entsprechend eingeteilt werden; hierzu kann die Flurbereinigung ihren Beitrag leisten.

Weitere vorbeugende Maßnahmen des Landwirts sind

- Strukturverbesserung des Bodens durch gefügeschonende Bodenbearbeitung und Humuszufuhr durch organische Dünger,
- Mulchen des Bodens, besonders auf Hangflächen mit Weinbau,
- verstärkter Zwischenfruchtanbau,
- Streifenanbau im Wechsel mit mehrjährigen Futterpflanzen,
- morphologische Gliederung der Hangflächen (Terrassen, höhenparallele Wegeführung),
- Schutzpflanzungen.

Als Schutz gegen den Abtrag des Bodens durch Wind steht im Vordergrund eine ausreichende Untergliederung der gefährdeten Flächen. Das wirksamste Mittel, das Einzugsgebiet des Windes zu untergliedern, ist im Aufbau eines Systems von Schutzpflanzungen zu sehen, das auf der Grundlage eines Landschaftsplanes angelegt werden soll. Schutzpflanzungen vermindern die Windgeschwindigkeit, nehmen dem Wind die Angriffskraft auf den Boden und wirken sich vorteilhaft auf den Wasserhaushalt des Bodens aus. Die Hauptschutzpflanzungen sollen quer zur vorherrschenden Windrichtung verlaufen, während Nebenschutzpflanzungen dem Gelände so angepaßt werden müssen, daß auch ein seitlicher Schutz des Bodens sichergestellt wird.

#### **4 Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung und rechtliche Grundlagen**

##### *4.1 Inhalt der Bodenschutzkonzeption als ressortübergreifender Ansatz zum Schutz der Böden*

Der Boden wurde bereits im Umweltprogramm der Bundesregierung 1971 im Abschnitt „Umweltplanung“ als zu schützendes Objekt genannt. Im Jahr 1973 erarbeitete der Europarat eine Europäische Bodencharta, die die besondere Bedeutung des Bodens herausstellte und seinen Schutz forderte. Im Umweltbericht 1976 der Bundesregierung wurden im Abschnitt „Natur und Landschaft“ die Belastungen des Naturfaktors Boden durch Industrie, Siedlung, durch Schadstoffemissionen und durch die Intensität der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung näher dargestellt.

Der Bodenschutz ist also keine neue Aufgabe, er ist allerdings in den politischen Entscheidungen der letzten Jahre im Verhältnis zu anderen Aufgaben, wie beispielsweise Luft- und Gewässerreinigung und Abfallbeseitigung, vernachlässigt worden. 1982 beschloß die Bundesregierung, ein umfassendes und fachübergreifendes Konzept zum Schutz des Bodens erarbeiten zu lassen, das 1985 als Bodenschutzkonzeption\*) von der Bundesregierung verabschiedet wurde. Ihr Inhalt ist dem Beitrag von F. DIETERICH in diesem Heft zu entnehmen.

Auf der Grundlage der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung und des Abschlußberichtes der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Bodenschutzprogramm“ (eingesetzt aufgrund eines Beschlusses der 19. Umweltministerkonferenz im November 1982) sollen durch eine weitere Bund/Länder-Arbeitsgruppe die Erfordernisse des Bodenschutzes konkreti-

siert und notwendige Maßnahmen nach Inhalten, Prioritäten, Zeit- und Kostenrahmen festgelegt werden. Erwartet werden Maßnahmenvorschläge in den Bereichen Forschung, Informationsgrundlagen, Landwirtschaftliche Beratung, Verwaltungshandeln und Rechtswesen.

Der Deutsche Rat für Landespflege begrüßt die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung als einen wichtigen Schritt zur Sicherung und bewußteren Pflege einer wichtigen natürlichen Ressource und eines wesentlichen Bestandteiles der natürlichen Umwelt. Der Rat empfiehlt für die Umsetzung der Bodenschutzkonzeption, den Begriff „Boden“ auf die vorrangig schutzwürdigen und schutzbedürftigen Inhalte einzuengen, d. h. auf die bodenkundlichen, biologischen und biochemischen Inhalte, wie sie in den Bodentypen zum Ausdruck kommen. Dies ermöglicht zugleich eine enge Verknüpfung mit der Pflanzendecke auf der einen, sowie der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung auf der anderen Seite; beide Gesichtspunkte sind im Bodenschutz ausführlich zu berücksichtigen, da Böden als unselbständige Naturkörper nicht isoliert von Vegetation und den genannten Nutzungen behandelt werden können. Als schutzwürdige und -bedürftige Bodenfunktionen sind die Regelungsfunktion, die Lebensraumfunktion und die Produktionsfunktion vorrangig herauszuarbeiten und gegeneinander abzuwägen (vgl. Abschn. 2). Erst nach dieser Abwägung können andere Ansprüche, die Böden betreffen, einbezogen werden, so die Inanspruchnahme als Bau- oder Verkehrsfläche, für Deponien und Abgrabungen. An solche Inanspruchnahmen sollten, da sie gewachsene Böden stets beeinträchtigen oder zerstören, strenge Maßstäbe angelegt werden.

Wegen der großen lokalen und regionalen Vielfalt der gewachsenen Böden und wegen der Vielzahl ihrer Besitzer und Nutzer können Bodenschutzmaßnahmen nur regional konkretisiert und durchgeführt werden. Nach Auffassung des Rates kann die Landschaftsplanung (siehe Heft 45 der Schriftenreihe des Rates) neben ihren anderen Aufgaben auch in den Dienst des Bodenschutzes gestellt werden. Der Grundlagenteil eines jeden Landschaftsplanes umfaßt auch eine Erhebung der Böden. Wenn diese neuen Erkenntnisse des Bodenschutzes volle Berücksichtigung finden, kann aus einem Landschaftsplan ohne große Schwierigkeiten ein Bodenschutzplan mit entsprechenden Maßnahmen abgeleitet werden. Auch Forderungen des Biotopschutzes sollten bewußter als bisher mit dem Bodenschutz verknüpft werden.

Geschützte Biotope, insbesondere wenn sie in einem Biotopverbundsystem zusammengefaßt werden, bedeuten Bodenruhe und Bodenschutz auf den entsprechenden Flächen, sofern dafür Sorge getragen wird, daß nachteilige Einwirkungen aus der Nachbarschaft, z. B. aufgrund von Abgrabungen oder Grundwasserspiegelveränderungen, vermieden werden. Auch dies kann im Landschaftsplan festgelegt werden.

Der Rat bedauert jedoch, daß sich das politische Handeln seit der Verabschiedung der Bodenschutzkonzeption vor nunmehr 1 1/2 Jahren kaum verändert hat: So ist z. B. 1985 der Bundesverkehrswegeplan verabschiedet worden, der das konzipierte Ziel „Trendwende im Landverbrauch“ durch Vermeidung unnötigen Verkehrswegeneubaus und vorzugsweisen Ausbau vorhandener Verkehrswege nicht erreicht. Auch das Baugesetzbuch, das den heutigen Anforderungen an ein modernes Baurecht in vielen Punkten nicht gerecht wird, wurde im Dezember 1986 verabschiedet; hier wurde die Möglichkeit verschenkt, die Umweltverträglichkeitsprüfung für Baumaßnahmen zu verankern, wie auch durch zahlreiche Erleichterungen des Bauens dem Landschaftsverbrauch nicht entgegengetreten wird.

\*) Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung, BT 10/2977.

Vom Rat der Europäischen Gemeinschaften wurde im Juni 1985 die Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung für bestimmte öffentliche und private Projekte vorgelegt, die innerhalb von drei Jahren in nationales Recht umgesetzt werden muß. Auch hier sind seitens der Bundesregierung noch keine Aktivitäten zu erkennen, in welcher Weise Umweltverträglichkeitsprüfungen in unser Rechtssystem eingeführt werden sollen.

#### 4.2 Rechtliche Grundlagen

Ein besonderes eigenes Schutzrecht für den Boden, wie es für Luft und Wasser besteht, gibt es gegenwärtig nicht. Nur in der Klärschlammverordnung ist der Schutz des Bodens ein solcher primärer Zweck. Im übrigen ist er nur in wenigen Rechtsvorschriften überhaupt genannt, und dann nur als ein Zweck unter anderen. Er geht auf in dem großen Topf der Umweltziele oder in dem noch größeren der öffentlichen Belange oder Interessen. Das bestehende relevante Recht ist äußerst lückenhaft, unabgestimmt und auch funktionsinadäquat. Ein „System“ läßt sich daraus nicht entwickeln. Es fehlt an einem zielgerichteten, einheitlichen Ansatz. Infolgedessen gibt es auch keinen leitenden Rechtsbegriff des „Bodenschutzes“.

Bodenschutz spielt zum ersten auf den verschiedenen Ebenen des allgemeinen Planungsrechts sowie im Fachplanungsrecht eine Rolle. Allerdings erscheint er immer nur als ein — zudem nur in einigen Fällen ausdrücklich genannter — Teilaspekt der Umweltorientierung der Planung; er fehlt sogar dort ganz, wo nicht einmal diese im Planungsgesetz ausdrücklich genannt ist.

Zur ersten Kategorie gehören die Regelungen der allgemeinen Raumplanung von der Raumordnung über die Landesplanung und Regionalplanung bis zur Kommunalbauleitplanung, aber auch die Regelungen der Landschaftsplanung. „Bodenschutz“ ist hier Schutz vor bestimmten Nutzungen, einschließlich des Verbrauchs, also Schutz der Bodenfläche und der Struktur, ihrer Erhaltung, aber auch Entwicklung, ggf. Wiederherstellung. Allerdings enthalten die Planungen, wie es zum Planungsrecht gehört, keine direkten Eingriffe oder Anordnungen. Die Schutzdichte nimmt mit der Dichte der Planungsstufe jeweils zu bis hin zu verbindlichen Nutzungsverbieten, -geboten und -gestaltungen. Der alte § 1 Abs. 6, 13. Spiegelstrich, Bundesbaugesetz nannte als einziges allgemeines Planungsgesetz die „Erhaltung des Bodens“ ausdrücklich als ein Abwägungselement unter vielen anderen der Bauleitplanung — in § 1 Abs. 5, Satz 6, Baugesetzbuch wird von „Belangen des Bodens“ gesprochen —, während sich das Raumordnungsgesetz (ROG), aber auch die Landesplanungsgesetze (LPIGe), mit allgemeinen Verweisen auf den Schutz von Natur und Umwelt begnügen, die auch den Bodenschutz mit umfassen.

Von den spezielleren Planungsgesetzen nehmen das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und das Flurbereinigungsgesetz ausdrücklich Bezug auf den Boden. Gemäß § 2 Abs. 4 BNatSchG gehört es zu den Grundsätzen des Naturschutzes und der Landschaftspflege, Boden zu erhalten und den Verlust seiner natürlichen Fruchtbarkeit zu vermeiden. Dies wird auch für die Landschaftsplanung bedeutsam. Gemäß § 37 Abs. 1 Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) sind bei der Neugestaltung des Flurbereinigungsgebietes u. a. bodenschützende und -verbessernde Maßnahmen vorzusehen, also in die entsprechenden Planungen aufzunehmen. Auch hier erklärt sich diese besondere Inbezugnahme aus der Nähe der Regelungsgegenstände dieser beiden Gesetze selbst zum Bodenschutz als Teil des Naturschutzes einerseits und der Flurbereinigung andererseits. Das gilt ebenfalls für § 1 Nr. 1 Bundeswaldgesetz (BWaldG), der u. a. als

Zweck der Sicherung des Waldes die Bodenfruchtbarkeit nennt, was für die forstlichen Rahmenpläne nach § 7, aber auch bei anderen walddrelevanten Planungen nach § 8 „zu berücksichtigen“ ist.

Andere fachplanerische Gesetze, die auf andere Zwecke und Ziele ausgerichtet sind, nennen den Bodenschutz hingegen nicht. Soweit sie den Natur- und Umweltschutz zumindest generell erwähnen, kann darin ein grober Sachbezug zum Bodenschutz gesehen werden. Wo aber, wie z. B. in § 17 Bundesfernstraßengesetz (BFStrG), nur generell die „öffentlichen Interessen“ als Bezugspunkt genannt werden, fehlt jeder konkrete Sachbezug zum Bodenschutz. Zwar kann theoretisch derselbe auch noch darunter gebracht werden; aber praktisch dürfte er entweder völlig unbeachtet bleiben oder doch nur am Rande auftauchen. Allerdings bestehen Verflechtungen mit dem Naturschutzrecht über § 8 BNatSchG und § 8 Bundeswaldgesetz (BWaldG). Die Praxisrelevanz dieser beiden Vorschriften z. B. für die Straßenplanung etc. ist jedoch schwer abschätzbar. Solange es keinen „allgemeinen Teil“ des Umweltrechts gibt und die einzelnen Umweltgesetze, vor allem aber auch sonstige Gesetze mit Umweltbezug auch einen je verschiedenen Standard haben, erscheint es sachgemäßer und wirksamer, den Bodenschutz in die Einzelgesetze und deren Bestimmungen über die planungserheblichen Belange aufzunehmen.

Bodenschutz wird mittelbar auch in den generellen Schutzmaßnahmen nach dem Naturschutzrecht erreicht, insbesondere wenn Gebiete unter Schutz gestellt werden. Da dieser Schutz aber verschiedene Grade der Intensität aufweist, ist der Schutz des Bodens in diesen Gebieten ebenfalls abgestuft. Unklar ist vor allem, wieweit Bodenschutzinteressen und -notwendigkeiten hinreichen, um ein Gebiet als ein Schutzgebiet in einer der Schutzformen auszuweisen. § 13 BNatSchG nennt den Schutz des Bodens als Zweck der Ausweisung eines Naturschutzgebietes nicht; in bezug auf die Landschaftsschutzgebiete könnte er hingegen unter „Erhaltung oder Wiederherstellung des Naturhaushaltes oder der Nutzungsfähigkeit der Naturgüter“ gemäß § 15 Abs. 1 BNatSchG gefaßt werden.

Die Planung hat zwar die Funktion, vorbeugend, zukunftsgerichtet Erhaltung, Verbesserung, Wiederherstellung von Bodenfläche und Bodenstruktur zu sichern; aber konkrete Eingriffe in oder Einwirkungen auf den Boden finden doch nach wie vor statt, sei es, weil die Planung den Bodenschutz gegenüber anderen Zielen und Zwecken zurückgestellt hat, sei es, weil gar keine planerische Vorprägung vorliegt. Derartige Eingriffe fallen generell wohl unter § 8 BNatSchG; aber ihre vorgreifende Kontrolle ist nur dort möglich, wo der Eingriff einer Genehmigung unterliegt. Das ist nicht immer der Fall; vor allem gibt es nur in wenigen Ländern eine naturschutzrechtliche Genehmigung. In der Regel wird die Genehmigung von anderen Vorschriften geregelt, was eine praktische Schlechterstellung des Bodenschutzes zur Folge hat. Diese teilt er allerdings mit der Stellung des Naturschutzes in solchen anderweitigen Genehmigungsverfahren generell.

Eingriffe können Abtrag von Boden, Aufschüttungen oder Auftrag bzw. Eintrag von Schadstoffen auf oder in ihn sein. Abtrag und Aufschüttungen finden z. B. im Bauwesen, im Bergbau, bei sonstigen Abgrabungen, im Straßenbau etc. statt. Für das Bauwesen sind die Bauordnungen der Länder relevant. Sie enthalten nicht notwendig bodenschützende Bestimmungen, wohl aber solche für Pflanzen, z. B. § 13 Abs. 6 Hessische Landesbauordnung (LBO). Allerdings unterliegen Abgrabungen und Aufschüttungen in der Regel den Regelungen der Bauordnungen, und dabei auch bei bestimmtem Umfang der Anzeige, wenn nicht gar der Genehmigung. Die Länderregelungen im einzelnen wurden nicht

überprüft. Am Beispiel Hessens zeigte sich aber eine ziemliche Dürrftigkeit. So genügt für Abgrabungen und Aufschüttungen lediglich die Anzeige. Dasselbe gilt für das Bergrecht. Das Bundesberggesetz (BBergG) enthält keinerlei relevante Regelung, abgesehen von der Voraussetzung für die Zulassung des Betriebsplanes, daß die Oberfläche wieder nutzbar gemacht werden muß (§ 57 Abs. 1 Nr. 7 und Abs. 2 Nr. 2). Rekultivierung kann aber zu ganz anderen Bodenverhältnissen führen. Das BBergG ist generell erheblich defizitär. Das Bergrecht der Länder wurde im einzelnen nicht überprüft. Gewisse bodenschützende Maßnahmen sind in ihm enthalten, z. B. §§ 176, 177 Hess. Bergverordnung, die u. a. gesonderte Gewinnung „kulturfähiger Erdschichten“ vorsehen. Im Straßen- und Wegebau ist die Bilanz ebenfalls negativ. Das Bundesfernstraßengesetz enthält keine bodenschützenden Regelungen. Das jeweilige Landesrecht ist ebenfalls enthaltsam.

Einbringungen oder Einträge von Schadstoffen in den Boden können ungezielt/mittelbar oder gezielt/unmittelbar erfolgen. Das erste sind vor allem Ablagerungen aus der Luft oder dem Wasser, aber auch Einträge durch Unfälle, insbesondere beim Transport von Stoffen durch Pipelines, Lastkraftwagen, Eisenbahnzüge etc. . . Zur zweiten Kategorie gehören die Einbringung verschiedener Stoffe durch gewollte Ablagerung, insbesondere von Abfall, aber auch die Aufbringung von Substanzen in der Land-, Forst-, Gartenbauwirtschaft und sonstige. Der Schutz des Bodens vor diesen verschiedenartigen Einträgen ist entsprechend differenziert, auch defizient, wenn er nicht sogar ganz fehlt. In jedem Fall wird er nur mittelbar über andere primäre Schutzziele erreicht.

Insbesondere bewirken der Schutz vor Immissionen gemäß dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) und seinen Verordnungen und die Reinhaltung der Gewässer gem. dem Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und den Ländergesetzen sowie den sonstigen Bestimmungen einen mittelbaren Schutz des Bodens vor Immissionen aus der Luft und vor Ablagerungen aus dem Wasser, wenn auch in beiden Gesetzen der Bodenschutz nicht ausdrücklich genannt ist. Allerdings ist der Bodenschutz vor Schadstoffeintrag eher noch ein Schutz der Gewässer, insbesondere des Grundwassers, vor diesen Schadstoffen als umgekehrt ein Schutz des Wassers einen Schutz des Bodens darstellt.

Hingegen wird der Bodenschutz vor derartigem Schadstoffeintrag gem. § 2 Abs. 1 Nr. 3 zur Zielsetzung des Abfallbeseitigungsrechts sowohl für die Aufstellung der Abfallbeseitigungspläne als auch für die Zulassung von Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstiger Maßnahmen. Mit der auf § 15 Abs. 2 Abfallbeseitigungsgesetz (AbfG) beruhenden Klärschlammverordnung ist die bisher einzige speziell bodenschützende rechtliche Regelung ergangen. Sie regelt die Aufbringung von Klärschlämmen, um deren Giftigkeit vom Boden fernzuhalten. Der Schutz vor Altöl durch das Altölgesetz ist eher mittelbarer Art, weshalb der Bodenschutz auch nicht genannt wird.

Die Gruppe der allgemeinen Gesetze zur Verwendung von Chemikalien, insbesondere in der Landwirtschaft, dem Gartenbau, der Forstwirtschaft — Chemikaliengesetz, Pflanzenschutzgesetz, Düngemittelgesetz, DDT-Gesetz u. a. —, hat auch die Wirkung, den Boden vor Einwirkungen der Chemikalien zu schützen. Das geht einerseits über Regelungen zur Zulassung von Stoffen, die auch Bodenverträglichkeit ausdrücklich oder in allgemeinere Begriffe verpackt voraussetzen, z. B. § 9 Chemikaliengesetz (ChemG), es werden andererseits aber auch Verwendungsregelungen zum Schutz des Bodens vorgesehen, z. B. § 5 Abs. 2 Düngemittelgesetz, §§ 6, 7 Pflanzenschutzgesetz.

Die Frage nach der Fortentwicklung des Bodenschutzrechtes ist schwer zu beantworten. Das geltende Umweltschutzrecht hat verschiedene Ansätze, u. a. auch den des spezifischen Medienschutzes bei Luft und Wasser. Eine Übertragung auf den Boden empfiehlt sich jedoch nicht, weil der Boden auf wesentlich vielfältigere Weise in Anspruch genommen wird und deswegen auch entsprechend vielfältig geschützt werden muß. Der Bodenschutz sollte daher in den verschiedenen Umweltgesetzen entsprechend seiner Relevanz für die jeweilige Umweltregelung mit verankert werden. Soweit das bereits hinreichend klar geschehen ist, bedarf es keiner Ergänzung, soweit es daran fehlt, ist eine Erwähnung jeweils genau zu prüfen. Bei Gesetzen, die andere primäre Zielsetzungen haben, z. B. das Berggesetz oder das Straßenverkehrsgesetz, aber doch auch Umweltrelevanz haben, ist der Bodenschutz mit einzubringen, wie überhaupt der Umwelt- und Naturschutz als Querschnittsaufgabe dort zu verankern ist. Der Verweis auf § 8 BNatSchG, § 8 BWaldG oder ähnliche Spezialvorschriften erscheint nicht hinreichend, weil die Rechtsbeziehungen zwischen den Gesetzen nicht geklärt sind und die These vertreten wird, daß § 8 BNatSchG nicht übergreifend wirkt. Damit wird wohl für die Verankerung des Bodenschutzes ein Artikelgesetz notwendig, das den Bodenschutz jeweils spezifisch in diese Einzelgesetze einfügt. Dabei ist allerdings sorgfältig darauf zu achten, daß einerseits eine einheitliche Bodenschutzkonzeption durchgehalten wird, andererseits der Bodenschutz sorgfältig in das jeweilige Gesetz eingepaßt wird, so daß es nicht zu Überschneidungen, Diskrepanzen, Verwerfungen im Bodenschutzrecht im Verhältnis zur sonstigen Regelung im Umweltrecht kommt.

## 5 Forderungen und Empfehlungen

### *Politik / Forschung*

- Die Verabschiedung der Bodenschutzkonzeption durch die Bundesregierung war ein erster Schritt in die richtige Richtung. Der sich daran anknüpfende Maßnahmenkatalog, der durch eine Bund/Länder-Arbeitsgruppe aufgestellt werden soll, ist vorrangig zu erarbeiten. Die baldige Umsetzung der Konzeption in politisches Handeln ist dringend notwendig.
- Der Rat empfiehlt für die Umsetzung der Bodenschutzkonzeption, den Begriff „Boden“ auf die vorrangig schutzwürdigen und schutzbedürftigen Inhalte einzuzengen, d. h. auf die bodenkundlichen, biologischen und biochemischen Inhalte, wie sie in den Bodentypen zum Ausdruck kommen. Dies ermöglicht zugleich eine enge Verknüpfung mit der Pflanzendecke auf der einen sowie der land- und forstwirtschaftlichen Nutzung auf der anderen Seite; beide Gesichtspunkte sind im Bodenschutz ausführlich zu berücksichtigen, da Böden als unselbständige Naturkörper nicht isoliert von Vegetation und den genannten Nutzungen behandelt werden können.
- In Politik und Verwaltung muß sich die Erkenntnis durchsetzen, daß die Böden ein unvermehrbares und nicht beliebig nutzbares Gut sind; dies muß bei allen Maßnahmen der Planung und der Verwaltung berücksichtigt werden. Es muß grundsätzlich ins öffentliche Bewußtsein, insbesondere in die Aus- und Fortbildung, gebracht werden, daß Böden, denen bisher zu wenig Aufmerksamkeit zuteil wurde, ein lebendiges, nicht beliebig belastbares Gefüge darstellen, von deren Erhaltung letztlich alles terrestrische Leben abhängt.
- Alle Forschungsanstrengungen im Hinblick auf den Umgang mit Böden müssen verstärkt werden. Die Forschungen sollten in Zusammenarbeit von Bodenkundlern,

Landschaftsökologen, Landesplanern, Land- und Forstwirten, Chemikern, Biologen und Angehörigen anderer Fachdisziplinen durchgeführt werden.

- In der Erforschung von Bodenbelastungen müssen verstärkt die Ursachen-Wirkungszusammenhänge im Sinne von Systemanalysen berücksichtigt werden (Stoff- und Wirkungskreisläufe), z. B. Luft — Boden — Wasser — Pflanze — Tier.
- Die laufende Bodenkartierung, die für alle Maßnahmen zum Schutz der Böden unverzichtbar ist, muß erheblich beschleunigt werden. Dies gilt insbesondere für die flächendeckende Bodenkarte im Maßstab 1 : 50 000 und die Bodenkarte auf der Grundlage der Bodenschätzung im Maßstab 1 : 5 000.
- Durch Eingriffe unterschiedlichster Art in die Böden verändert sich mittelfristig das Artenspektrum der Bodenorganismen. Es ist daher notwendig, hierüber systematische Forschungen anzustellen.
- Die internationale und zwischenstaatliche Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Schutzes der Böden muß verstärkt werden.

#### *Landwirtschaft / Forstwirtschaft / Gartenbau*

- Grundsätzlich muß die Inanspruchnahme gewachsener Böden in Zukunft vermieden werden. Ertragreiche Böden sind landwirtschaftlichen Nutzungen vorzubehalten. Nicht mehr benutzte versiegelte Flächen sollen renaturiert werden. Dies gilt auch für stillgelegte Industrieanlagen.
- Eine größtmögliche Minimierung aller problematischen Stoffeinträge ist für den Schutz der Böden oberstes Gebot, wozu auch der Landbau selbst durch sparsamen und gezielten Betriebsmitteleinsatz bewußt und verstärkt beitragen muß. Insbesondere muß der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenbehandlungsmitteln auf das vertretbare Maß zurückgenommen und auf die jeweiligen Standorteigenschaften abgestimmt werden.
- Verfahren der sogenannten „reduzierten Bodenbearbeitung“ sollten mit Hilfe staatlicher Förderung entwickelt und über intensivere Beratung stärker in die landwirtschaftliche Praxis eingeführt werden. Neben der Schonung der Bodenorganismen im Rahmen der „Integrierten Pflanzenproduktion“ steht der Vorteil der Energieeinsparung; dies bedeutet einen ökonomischen Anreiz für die reduzierte Bodenbearbeitung.
- Zur Verbesserung der Nährstoffversorgung und zur Erhaltung des Humusgehaltes sind eine standortgerechte Fruchtfolge und die verstärkte Einarbeitung von organischer Substanz (Übernahme von bewährten Verfahren des alternativen Landbaus) notwendig.
- Eine besondere Gefahr der Bodenbelastung geht von den zunehmenden Güllemengen aus, die in den Böden nur noch begrenzt umgesetzt werden können. Der Gülleanfall sollte daher verringert werden, wozu u. a. die Tierbestände in Abhängigkeit von der Betriebsfläche begrenzt werden müssen. Daneben ist die zweckentsprechende Aufbereitung und schadlose Anwendung der Gülle, die ein wertvoller natürlicher Dünger sein kann, vordringlich zu regeln.
- Der Einsatz schwerer landwirtschaftlicher Arbeitsgeräte sollte auf ein Mindestmaß begrenzt werden. In der Forstwirtschaft ist das unnötige Befahren von Waldbeständen zu vermeiden.

- Es ist notwendig, daß in der Landwirtschaft und insbesondere bei der Flurneuordnung (Flurbereinigung) die möglichen Gefahren der Bodenerosion stärker berücksichtigt und durch entsprechende bodenschützende Maßnahmen vermindert werden. Hierzu gehören u. a. folgende Maßnahmen:
  - Anbauverbot von bestimmten Kulturpflanzen (z. B. Mais) auf bestimmten gefährdeten Standorten
  - Vorschriften für bodendeckende Untersaaten
  - Anpflanzung von Flurgehölzen unter Beachtung der Windrichtungen und Hanglagen
  - Terrassierung der Hangflächen
  - Schlageinteilung parallel zu den Hanghöhenlinien
  - Strukturverbesserung der Böden
  - Auswahl geeigneter Fruchtfolgen
  - Zwischenfruchtanbau
  - Bevorzugung mehrjähriger Futterpflanzen

- Um Erosionsschäden im Gebirge zu vermeiden, ist es notwendig, die bodenschützende Pflanzendecke zu erhalten und alle Baumaßnahmen (z. B. Wintersporteinrichtungen, Verkehrseinrichtungen) strengen Umweltverträglichkeitsprüfungen zu unterziehen. Darüber hinaus ist die Schädigung des Waldes durch überhöhte Wildbestände und Überweidung zu verhindern. Es sind ausreichende Mittel zur Verfügung zu stellen, um die forsttechnischen Maßnahmen gegen Erosion zu ermöglichen.

#### *Behandlung von Stoffeinträgen*

- Es ist grundsätzlich erwünscht, Klärschlämme in den natürlichen Stoffkreislauf zurückzuführen und sie daher für die Land-, Forst- und gärtnerische Nutzung zu verwenden. Das aber setzt voraus, daß sie weitgehend frei von schädlichen Stoffen sind. Daher wird gefordert, die hierfür erforderlichen Voraussetzungen zu schaffen.
- Fluß- und Hafenschlämme sind infolge der Einleitung von Industrieabwässern mit Schadstoffen verunreinigt (Schwermetalle, organische und anorganische Verbindungen); ihre Verwendung für den Landbau ist daher bedenklich; ihr Verbleib erfordert weitergehende Untersuchungen.
- Weitere Schwermetalluntersuchungen sind vor allem in Überschwemmungsgebieten, in Klein- und Hausgärten innerstädtischer Gebiete zur Ermittlung der Schwermetallaufnahme über die Nahrungskette dringend erforderlich. Hochkontaminierte Flächen sind der landwirtschaftlichen und der gartenbaulichen Nutzung zu entziehen.
- Die Schwermetallzufuhren auf die Böden sind auf ein solches Niveau zu verringern, das schädliche Anreicherungen ausschließt. Hierzu sind verstärkte Auflagen für die Verwendung, Verarbeitung und Beseitigung schwermetallhaltiger Produkte erforderlich, vor allem in bezug auf die Zurücknahme der Schwermetalleinträge im Produktionsprozeß. Es sind geeignete Wege zur Schwermetallabscheidung und -lagerung zu suchen.
- Die Untersuchungen über den Verbleib und die Auswirkungen von radioaktiven Stoffen in Böden, Wasser und Pflanzen müssen fortgeführt und intensiviert werden.

### Planungen und Maßnahmen mit räumlichen Wirkungen

- Bevor weiteres Bauland am Rande von Siedlungen neu ausgewiesen wird, ist zu prüfen, inwieweit Freiflächen innerhalb der Siedlungen bebaut werden können und ob ggf. abbruchreife Bauflächen neu bebaut werden können (Recycling). Allerdings muß vorher die Bedeutung als Wohnumfeld und für die Stadtökologie untersucht werden.
- Die Ausweisung von Baugebieten sowie Gewerbegebieten durch ländliche Gemeinden sollte sorgfältig im Hinblick auf ihren Bedarf und die möglichen Belastungen der Böden geprüft werden.
- Die Verbesserung der Qualität innerstädtischer oder stadtnaher Freiräume für die kurzzeitige Erholungsnutzung könnte die übermäßige Beanspruchung von Böden in der freien Landschaft eindämmen.
- Alle sich auf den Raum auswirkenden Planungen und Vorhaben müssen auch in ihren Wirkungen auf die Böden durch Umweltverträglichkeitsprüfungen beurteilt werden. Bei den Planern muß sich die Erkenntnis durchsetzen, daß Planung auch das Setzen von Grenzen bedeuten kann. Planung darf nicht mehr länger Anpassungsplanung sein, sondern muß auch künftigen Belastungen entgegensteuern.
- Aufgrund der in den §§ 1 und 2 BNatSchG genannten Ziele und Grundsätze kommt der Landschaftsplanung eine Leitfunktion für den Schutz und die Nutzung der Böden zu, die künftig stärker ausgefüllt werden muß. So müssen stärker als bisher die Eigenschaften der Böden, ihre Belastbarkeit und ihre Belastung berücksichtigt werden.
- Alle Erschließungsmaßnahmen sollen nach dem Prinzip der weitestgehenden Schonung gewachsener Böden durchgeführt werden.
- Um einen geordneten und sparsamen Abbau der Rohstoffe zu gewährleisten, ist die flächendeckende Aufstellung von Abbaukonzeptionen erforderlich. Anhand solcher Konzepte kann am ehesten die Vereinbarkeit mit Bodenschutzmaßnahmen und anderen Ansprüchen überprüft werden.
- In Naturschutzgebieten sollten im Zusammenhang mit den jeweiligen natürlichen bzw. naturnahen Vegetationsgesellschaften auch die Bodentypen eines Naturraumes herausgestellt werden.
- Die Landschafts-, Flurbereinigungs- und Bauleitplanung sollten zur Errichtung eines Biotopverbundsystems in der landwirtschaftlich genutzten Flur und in Baugebieten stärker eingesetzt werden. Ein solches System dient im Bereich der geschützten Biotope gleichzeitig dem Schutz der Böden.

### Gesetze / Verordnungen

- Die bestehenden Gesetze mit bodenschützerischem Inhalt sollten besser ausgeschöpft und nachdrücklicher angewandt werden. Dies gilt insbesondere für die den Naturschutz und die Landschaftspflege betreffenden Gesetze des Bundes und der Länder.
- Der Deutsche Rat für Landespflege schlägt die Verabschiedung eines sog. Artikelgesetzes zum Bodenschutz vor, das auf der Grundlage von Art. 74 GG oder Art. 75 GG erlassen werden könnte. Dieses Bodenschutzgesetz müßte die Einrichtung eines flächendeckenden Bodenkatasters festlegen, in dem auch die Altlasten zu erfassen sind. In Zusammenhang mit der Einrichtung dieses

Bodenkatasters sollen in regelmäßigem Turnus Bodenqualitätsberichte vorgelegt werden.

- Die Immissionswirkungen auf Böden müssen mit Vorrang wissenschaftlich untersucht werden und die Ergebnisse stärker in die Immissionsregelungen Eingang finden.
- Sämtliche in den Gesetzen und Verordnungen festgelegten Grenz- und Richtwerte sollten im Hinblick auf den Schutz der Böden überprüft und, wenn nötig, verschärft werden. Dies gilt z. B. für die Schwermetallgrenzwerte der Klärschlammverordnung sowie die Schwermetallgrenzwerte in Futtermitteln. Für den Schwermetallgehalt in Düngemitteln müssen noch Grenzwerte aufgestellt werden.
- Das Abfallrecht sollte so weiterentwickelt werden, daß es von der Abfallbeseitigung hin zu einer Abfallwirtschaft mit weitgehender Wiederverwertung von Wertstoffen kommt, um weitere Belastungen der Böden zu verhindern. Außerdem sollten im Abfallrecht Regelungen über das Aufbringen von Gülle aufgenommen werden, um eine Überdüngung von Wirtschaftsflächen und Schäden am Boden und im Grundwasser zu vermeiden.
- Sparsamster Umgang mit dem Boden muß zur Prämisse für alle sich auf den Raum auswirkenden Planungen werden; evtl. sollte diese Forderung auch in die entsprechenden Gesetze aufgenommen werden (z. B. Raumordnungsrecht, Verkehrsrecht, Bergrecht etc.).
- Der § 39 des Bundesbaugesetzes enthielt die Ermächtigung, zum Schutz des Mutterbodens eine Verordnung zu erlassen. Bedauerlicherweise ist diese Ermächtigung im neuen Baugesetzbuch (§ 202) entfallen. Der Rat empfiehlt, das Baugesetzbuch um diese Ermächtigung wieder zu erweitern und eine Mutterbodenschutzverordnung dringend zu erlassen.
- Die finanziellen Fördersysteme (Zonenrandförderungsgesetz, Investitionsförderungsgesetz, Gemeinschaftsaufgaben, Zuschüsse zu flächenbelastenden Planungen) müssen zugunsten der Lösung von Bodenschutzproblemen geändert werden.

Diese Stellungnahme des Deutschen Rates für Landespflege, die sich mit dem Problembereich Schutz der Böden befaßt, wird dem Herrn Bundespräsidenten als Schirmherrn des Rates, dem Herrn Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, dem Herrn Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Herrn Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, dem Herrn Bundesminister für Verkehr und den für den Schutz der Böden zuständigen Ministern der Länder mit der Bitte zugestellt, von ihrem Inhalt Kenntnis zu nehmen und die Hinweise und Empfehlungen für künftige Entscheidungen zu berücksichtigen.

Bonn-Bad Godesberg, den 20. Dezember 1986

Der Sprecher



(Prof. Dr. h. c. Kurt Lotz)

## Bodenschutz als internationales Problem

Der Schutz der Böden unserer Erde als Grundlage landbaulicher Nutzung steht in engem Zusammenhang mit dem Problem der *Ernährung der menschlichen Bevölkerung*. Die Gefährdung des Bodens, vor allem durch Maßnahmen des Menschen, ist keineswegs nur an empfindliche Bodenarten und extreme klimatische Bedingungen geknüpft, sondern in allen Ländern gegeben. Die nachteiligen Auswirkungen durch Bodenverbrauch und vielfältige Bodenbelastungen sind jedoch in vielen Ländern der Dritten Welt deshalb besonders gravierend, weil dort die Wachstumsraten der Agrarproduktion bereits seit geraumer Zeit unter der Bevölkerungszunahme liegen. Die Weltbevölkerung wird von gegenwärtig 5 Mrd. auf möglicherweise 7 Mrd. im Jahre 2000 anwachsen; etwa neun Zehntel dieses Zuwachses werden auf die Entwicklungsländer entfallen. Diese Länder werden bereits 1990 ein Nahrungsmitteldefizit an Getreide von 120—145 Mio. t gegenüber 37 Mio. t im Jahre 1975 aufweisen. Etwa vier Fünftel der Grundnahrungsmittel in den Entwicklungsländern bestehen aus Getreide oder Getreideverarbeitungsprodukten. Die Ernährung der Menschen in vielen dieser Länder ist damit gefährdet, ein Ausgleich mit Nahrungsmitteln aus Ländern mit Ertragsüberschüssen aber nur begrenzt möglich. Das heißt, die Bevölkerung dieser Länder muß durch Hilfen in den Stand gesetzt werden, sich selbst zu ernähren. Der Schutz der Böden ist eine unabdingliche Voraussetzung hierfür wie für die Sicherheit der Ernährung der Menschheit überhaupt.

Die *Gefährdung und Belastung der Böden* hat viele Ursachen. Allein durch Versiegelung des Bodens durch städtebauliche Maßnahmen werden nach Schätzungen der UN bis zum Jahre 2000 etwa 54 Mio. ha Fläche — das entspricht etwa der Größe Frankreichs — in Anspruch genommen. Hinzu kommen Bodenverluste durch Industrie und Straßenbau, Abgrabungen und Aufschüttungen. Ferner können Maßnahmen der Landwirtschaft, also der Bodenbearbeitung und -behandlung, zur Bodendegradierung und zum Bodenverlust führen. Im einzelnen sind folgende Schäden zu erwarten:

- Abbau der organischen Substanz im Boden und Nährstoffverarmung
- Eintrag organischer und anorganischer Schadstoffe in den Boden
- Versalzen des Bodens durch Überdüngung und falsche Bewässerungstechniken
- Alkalisieren des Bodens durch Überkalken
- Schädigung des Bodens durch Pflanzenbehandlungsmittel
- Aluminisieren des Bodens durch Versauern
- Verdichten des Bodens durch Überwässern und Maschineneinsatz
- Vernichtung von Wäldern und Buschwerk und unregelmäßige Brennholznutzung
- Überbeweidung von Grasland durch zu hohen Besatz mit Weidevieh

- Abtrag des Bodens durch Oberflächenwasser und Wind (Bodenerosion).

Der durch diese Belastungen und die damit ausgelösten Prozesse bedingte Verlust an landwirtschaftlich genutzter Fläche wird weltweit auf 600—900 ha/Stunde oder 5—8 Mio. ha/Jahr (etwa die Größe Österreichs) geschätzt. Die Versalzungsschäden als Folge von problematischen Bewässerungsmaßnahmen auf Böden mit hohem Grundwasserhorizont oder schlechter Dränung geben vor allem in Indien, Pakistan, im Irak, in Teilen Afrikas, insbesondere Ägypten, und in Australien, aber auch in den USA und in Kanada Grund zur Sorge. Das gleiche gilt für die Desertifikation oder Wüstenbildung in ariden und semiariden Klimaregionen als Folge zunehmender Bevölkerungsdichte und steigenden Viehbestandes.

Die Bodenerosion hat in allen Ländern als Folge des intensivierten Landbaues in den vergangenen Jahren erheblich zugenommen. Das gilt sowohl für die Vereinigten Staaten von Nordamerika (Arizona, Nevada), Mittel- und Südamerika, Sowjetunion (Ukraine), die Länder um das Mittelmeer, so Italien (Apennin) und Spanien (Sierra Nevada, Murcia) als auch für viele Länder in Afrika und Asien. Auf etwa einem Fünftel bis vielleicht sogar einem Drittel der weltweit genutzten Fläche hat der Abtrag des Oberbodens durch Wind- und Wassererosion solche Ausmaße angenommen, daß die langfristige Produktivität ernsthaft gefährdet erscheint. In vielen Entwicklungsländern ist die Bodenerosion und ihre Verhinderung das vordringlichste Problem geworden, zu dessen Lösung auch die Industrieländer, unter ihnen die Bundesrepublik Deutschland, ihren Beitrag leisten müssen.

Die Vernichtung der tropischen Regenwälder mit dem Ziel, neue landwirtschaftliche Nutzflächen zu schaffen, führt nicht nur zu wesentlichen Veränderungen des Großklimas, sondern in der Regel auch zu Bodenverlusten, weil die Böden nur kurzfristig ackerbaufähig und damit nutzbar sind.

Die *Maßnahmen zum Bodenschutz* sind im Grundsatz zwar in allen Ländern ähnlich, jedoch erfordern die extremen klimatischen Bedingungen und die spezifischen Böden und Bodenprofile in vielen Entwicklungsländern die Beachtung besonderer Schwerpunkte. Insbesondere sind die von unseren mitteleuropäischen Verhältnissen vielfach stark abweichenden bodenökologischen und bodenphysikalischen Bedingungen zu beachten.

So muß das weitere Vordringen der Wüste, die Desertifikation der Landschaft, unbedingt verhindert werden. Das erfordert einen auf die standörtlichen Gegebenheiten begrenzten Weidebetrieb, der eine Überbeweidung ausschließt, die Anlage und Pflege eines Systems von Schutzpflanzungen und Waldstreifen, eine Stabilisierung von Sanddünen und einen auf die Agrarwirtschaft ausgerichteten Waldbau. Gegen eine weitere Salzakkumulation muß durch ausreichende Dränung und sachgemäße Bewässerung vorgebeugt werden. Die Bodenerosion wiederum muß durch konservierende Bodenbearbeitung, Verbesserung des Humusgehaltes, standortgerechte Fruchtfolge, durch Deck- und Mischkulturen, Mulchen der offenen Bodenflächen,

Streifenanbau, Anlage von Terrassen mit Befestigung der Terrassenabsätze und Aufbau von Schutzpflanzungen, die in ihrer Führung auf das Relief abgestimmt sind, unterbunden werden. Im einzelnen müssen die Bodenschutzmaßnahmen auf die landschaftsspezifischen Probleme der Länder abgestimmt und projektbezogen bearbeitet werden.

Auf dem Kolloquium wurden anhand von zwei Beispielen aus Afrika (Botanisches Institut der Universität Heidelberg) die Probleme der Gefährdung des Bodens, die Ursachen der Bodenbelastung sowie die möglichen Maßnahmen zum Bodenschutz erläutert. Das erste Beispiel liegt in der Zentralregion von Togo im Bereich der Feuchtsavanne des Sudangürtels. Infolge der Beseitigung der Gehölzvegetation und der Buschbrachen in der Landschaft sowie flächendeckender Brände zur Vernichtung der Grasmassen wurde der Wasserabfluß gesteigert und damit die Bodenerosion stark gefördert. Parallel zur Abnahme des Bodens in quantitativer und qualitativer Hinsicht wächst die Bevölkerung durch hohe Geburtenraten und Zuwanderung aus den Problemgebieten des Nordens stark an. Das führt zwangsläufig zu einer Übernutzung der landwirtschaftlichen Flächen. Die vorgesehenen Maßnahmen zur Neugestaltung dieser Bereiche gehen bewußt von den bewährten bodenerhaltenden Nutzungsformen mit lokaler und regionaler Tradition aus und bauen die erforderlichen Schritte zur Intensivierung darauf auf. Als Maßnahmen zum Erosionsschutz kommen im einzelnen in Betracht: Wiederanpflanzung von Bäumen in der Feldflur, Anlage von Schutzstreifen aus Gehölzen oder ganzen Waldstreifen, Erweiterung der Mischkulturen, Rotation mit feuerresistenten Brachepflanzen, Intensiv-Kurzbrache statt Weidebrache, Feuerverhütung, verbesserte Düngung und Mechanisierung durch Tieranspannung. Auch die Einsatz geeigneter Gründüngungspflanzen in die heranwachsende Kultur ist eine bodenschützende Maßnahme, weil die Felder nach Abernten der Kulturen bedeckt bleiben.

Als zweites Beispiel wurde das Zentralplateau von Ruanda (Rwanda) vorgestellt. Das Gebiet ist ein Bergland, etwa 1400 bis 2000 m über NN gelegen, das eine sehr hohe Bevölkerungsdichte von 250 Menschen/qkm aufweist; das Bevölkerungswachstum übersteigt z. Z. noch 3 % pro Jahr. Das Ge-

biet ist mit steilen Hängen ausgestattet, die bis zu einer Neigung von 35 % genutzt werden. Obwohl bereits von der Neigung her mit Bodenabtrag durch Oberflächenwasser gerechnet werden kann, so wird die Gefahr noch gesteigert durch den Fortfall alter regenerierender Brache, das Fehlen einer flächendeckenden Düngung, die Nutzung der Flächen überwiegend in Form von Reinkulturen und zunehmende Intensivierung überhaupt. Die Zunahme der Erosion und die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit sind so offensichtlich, daß die Regierung Programme zum Bodenschutz, zur Stallhaltung von Tieren und zu verstärkter Aufforstung marginaler Flächen mit Nachdruck verfolgt. Die Entwicklung eines standortgerechten Landbaues in Ruanda baut auf traditionellen leistungsfähigen Vorbildern auf, die z. B. in anderen afrikanischen Ländern wie Kenia, Tansania, Nigeria und Äthiopien zu finden sind. In diesen Ländern sind Wald- und Savannenlandschaften anzutreffen, in denen der Feldbau unter Bäumen, Bananen und Kaffee vorgenommen wird. Unkrauttoleranz und kurze Intensivbrachen zur Gründüngung können den Humusaufbau ergänzen. Auch hier kann man von „agrarforstlichen“ Systemen sprechen, die sich bewährt haben. Diese traditionellen Vorbilder müssen aufgegriffen werden durch Rückkehr zu Mischkulturen und ergänzt durch Übergang zu Reihen- statt Streukulturen, intensivere Gründüngung, Terrassierung der Hangflächen, Anlage von Erosionsschutzstreifen mit Hecken und Baumreihen, Stallhaltung der Tiere, ausreichende organische und mineralische Düngung und Erweiterung des Kulturpflanzenpektrums. Diese Komponenten und Maßnahmen müssen zu einem Anbausystem zusammengefügt und verzahnt werden, und zwar im Sinne einer Mehrzwecknutzung.

Die in Togo und Ruanda gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse können sicher auf manch andere Entwicklungsländer übertragen werden, wobei jeweils die standörtlichen Gegebenheiten mit ihren Böden und Bodenprofilen, ihrem Wasserhaushalt, ihrem Relief und Klima berücksichtigt und die Maßnahmen des Bodenschutzes darauf abgestellt werden müssen. Es muß jedoch herausgestellt werden, daß ohne eine Begrenzung des Bevölkerungszuwachses die Bodenschutzprobleme in den meisten Entwicklungsländern nicht zu lösen sind.



Halbwüstenähnliche Landschaft am Rande des Mittleren Atlas in Marokko, die von Nomaden, hier mit Dromedaren, beweidet wird. Foto: G. Olschow

## Funktion und Gefährdung von Böden in verschiedenen Ökosystemen

### 1 Einleitung

Böden sind gedanklich abgrenzbare, durch bestimmte Horizontkombinationen in ihren Profilen zu charakterisierende Segmente aus dem ± stetigen Kontinuum Pedosphäre, in dem Material der Lithosphäre durch Atmosphärrillen und Organismen umgewandelt wurde und wird. Selbst engagierte Umweltschützer sorgen sich aber um Böden nicht ihrer Wesens als Naturkörper, sondern allenfalls deren Funktionen für andere Ökosystemelemente wegen. Als Grundelemente von terrestrischen Ökotoxen sind Böden Lebensräume von Bodenorganismen und Standorte der Natur- oder einer Nahrung und Rohstoffe erzeugenden Kulturvegetation, können mithin als Versorgungsflächen für Tiere und Menschen betrachtet werden. Als Glieder von Ökochen sind Böden darüber hinaus Menge und Zusammensetzung von Grund- und Oberflächenwässern regulierende Fließwiderstände und Filterkörper für atmogene Stoffe, können also auch als Entsorgungsflächen für anthropogene Zufuhren dienen. Als Bestandteile der Ökosphäre schließlich sind sie Senken, aber auch Quellen von umweltrelevanten Spurengasen und Aerosolen (s. Fig. 1).

Gefährdet werden können mithin die Erfüllung von Ver- und Entsorgungsfunktionen und/oder der Profilaufbau. Beides wird von Pedologen seit Jahrzehnten untersucht; auf ersteres richtet sich seit kurzem auch das Interesse von Vertretern anderer Disziplinen und der Öffentlichkeit. Kriterien für eine Schädigung sind dann nicht Bodenmerkmale (einschließlich des Besatzes an Bodenorganismen), sondern Biomasseproduktion (Ertrag) und Artenspektrum oder Qualität der Pflanzen bzw. das Verhältnis von Grundwasserspense zu Abfluß sowie Wassergüte, bisher kaum die Zusammensetzung der bodennahen Luftschichten (s. Fig. 1).

Gefährdend sein kann 1. Ausgraben, 2.a) Begraben (Versiegeln) oder b) Entblößen (Erodieren), 3.a) Verdichten (Überwässern) oder b) Lockern (Entwässern), 4.a) Versalzen (Überdüngen) oder b) Auswaschen (Erschöpfen), 5.a) Alkalisieren (Überkalken) oder b) Aluminisieren (Versauern) sowie 6. Kontaminieren. Außer Ausgraben und Kontaminieren mit Xenobiotica sind dies auch natürlich ablaufende Prozesse, deren Resultierende die landschaftstypischen Bodenmuster prägen.

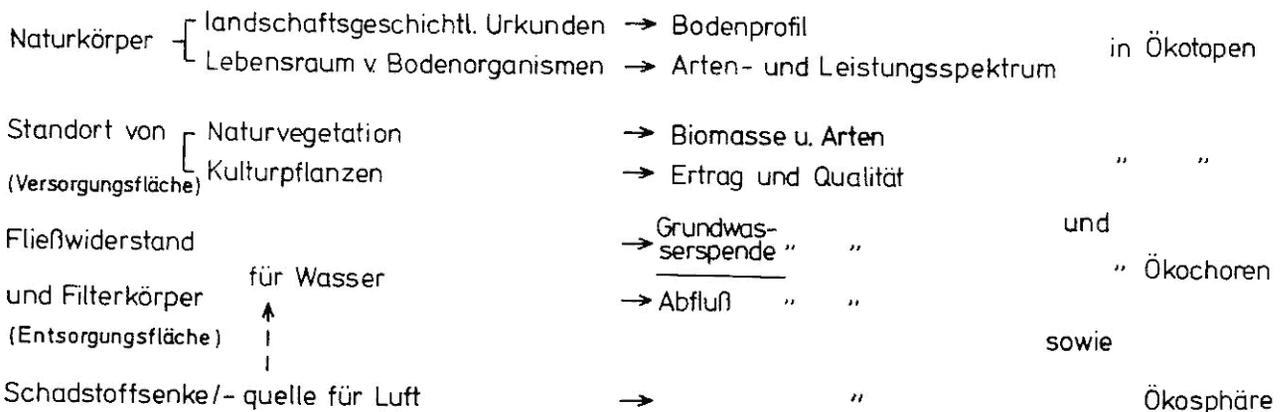
Aus ihrem Studium wurden für die Diagnose und Prognose von Bodenschädigungen wesentliche Erkenntnisse gewonnen, und aus den jeweils unter a) und b) aufgeführten Prozessen mit konträren Wirkungen sind entlastende Eingriffe abzuleiten.

Anhand von Fallstudien an Ökotoxen und Ökochen verschiedener Bodenregionen soll im folgenden ein Überblick über die Problempalette gegeben werden (das Vorgetragene wurde an Farbdias veranschaulicht, die hier durch Text ersetzt werden mußten).

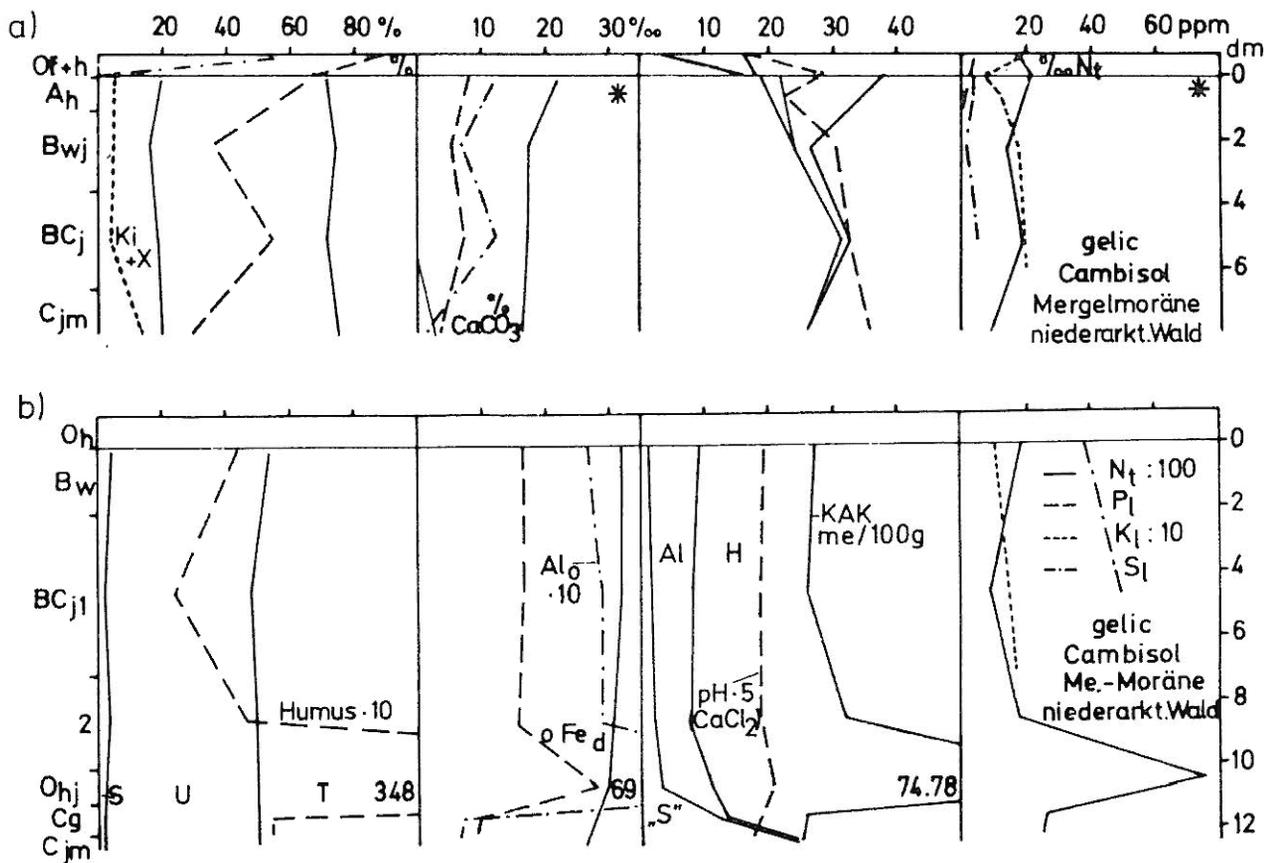
### 2 Ergebnisse von Fallstudien

#### 2.1 Böden subpolarer Gebiete (s. Fig. 2)

In diesem trockenkalten (200 mm, — 10°C) und kurzsummerigen (50 frostfreie Tage) Gebiet mit — abgesehen von Nunataks — jungen Landoberflächen werden die Böden weit mehr durch Kryoklastik als durch chemische Verwitterung geprägt, so daß der Nährstoffnachschub aus der Silikatreserve gering ist. Bei der Mineraltransformation im B<sub>w</sub> des Cambisols überwiegt die Verbraunung die Verlehmung, spiegeln also die Tongehalte weitgehend die der Ausgangsmaterialien wider. Infolge geringer biotischer Aktivität werden — gemessen an der geringen Streuproduktion der Tundravegetation — große Mengen organischer Substanz an der Bodenoberfläche akkumuliert und in ihnen Nährstoffe inaktiviert. Je mehr ein feinporiger Mineralkörper die Leitfähigkeit für Wasser und eine Rohhumusdecke (O) die für Wärme mindern, desto mehr vereist der Unterboden, desto flacher wird die Auftauzone (Tjäle B<sub>w</sub>C<sub>i</sub>) und desto mehr setzt Kryoturbation unter Bildung eines Thufur-Mikroreliefs ein. Permafrost (jm) hemmt den Wurzelteufgang und die Auswaschung, Kryoturbation kann Feinwurzeln zerreißen, Horizontmuster zerstören und Oberböden eutrophieren (s. hohe „S“-Werte in Fig. 2,a). Thufurbildung bringt aber nicht nur die Ausrichtung der Baumstämme durcheinander („drunken forest“), sondern schafft auch ein kleinräumiges Sonn- und Schatthang-Standortmuster mit entsprechenden Folgen für das Artenspektrum der Krautschicht.



1. Bodenfunktionen und ihre Kriterien



2. Böden im subarktischen Gebiet (Kanada)\*

Wenn die hier sommers weniger transpirierende als evaporationshemmende und weniger den Regen als den — isolierenden — Schnee interzeptierende, also die Böden befeuchtende und abkühlende Baumschicht zerstört wird (z. B. durch Waldbrand, wie im Profil 2,b), dann sinken Permafrostgrenze und Kryoturbation. Schließlich wirken einebnende Vorgänge stärker als aufwölbende und setzt eine Horizontierung unter Entbasung und Aluminisierung ein (s.  $Al_a$  in Fig. 2,b). — Aus diesem Fall ist zu schließen, daß bereits durch natürliche Ereignisse vielstufige Reaktionsketten ausgelöst werden können, die das Ökotypmuster wesentlich ändern.

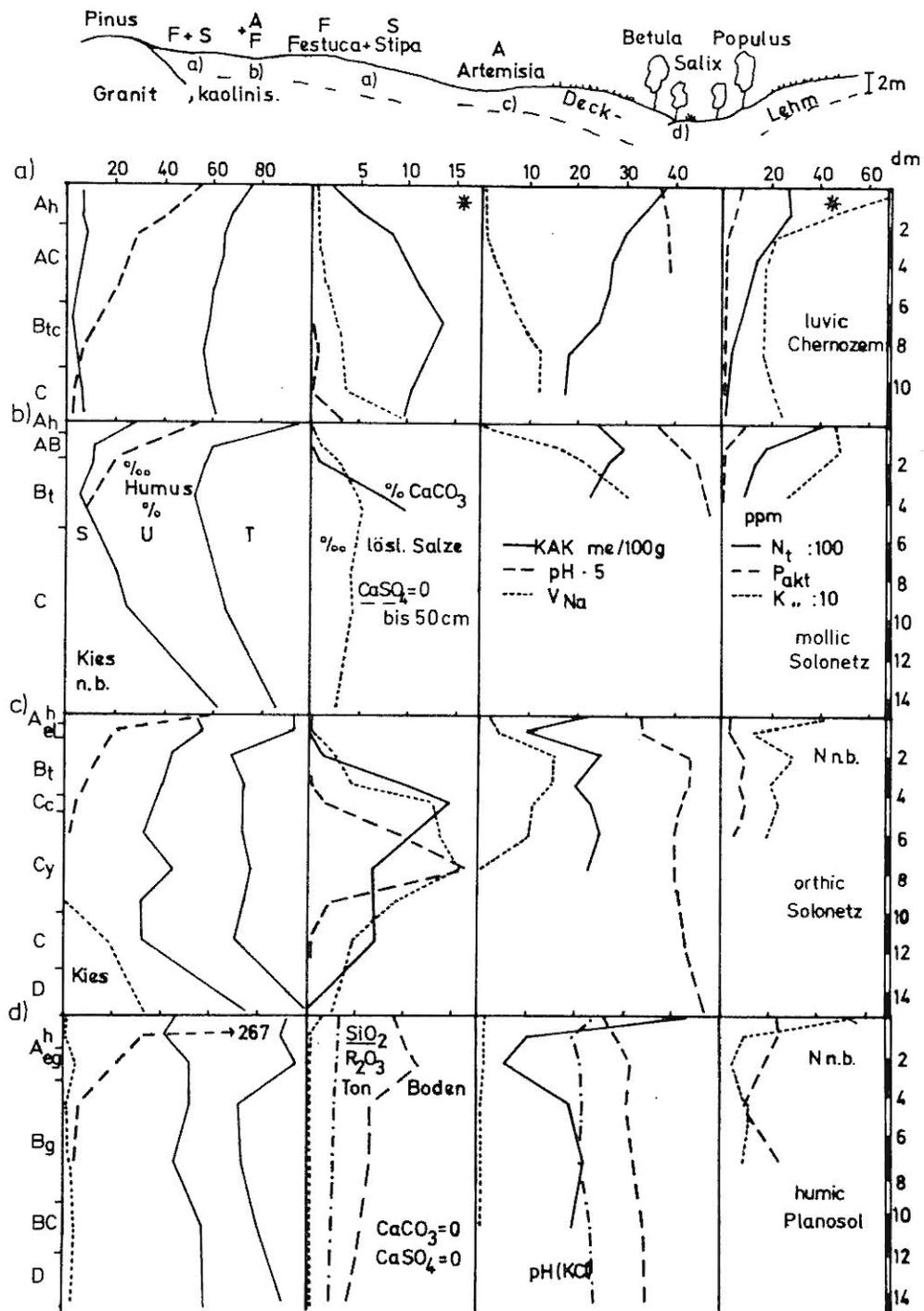
## 2.2 Böden kontinental-gemäßigter Gebiete (s. Fig. 3)

In diesem sommertrockenen und winterkalten (350 mm bei 700 mm  $ET_p$ ,  $1^\circ C$  mit  $\Delta 37$ , 120 frostfreie Tage) Gebiet mit jungen periglazialen Sedimenten kann bereits eine mäßige Silikatverwitterung und Tonbildung ablaufen. Die Mineralisierung der hier relativ stärker im Boden produzierten oder bioturbativ in ihn eingemischten Steppenpflanzen-Streu ist jedoch gehemmt, so daß weitflächig Böden mit huminstoffreichen, fast schwarzen  $A_h$ -Horizonten entstehen (s. Fig. 3,a). Die Pflanzen werden reichlich mit kationischen Nährstoffen, aber knapp mit P und N (da an Ca bzw. im Humus gebunden) und besonders mit Wasser versorgt. Regelmäßiges Entfernen des Vegetationsschirms bei Schwarzbrache und (Sommer-)Getreidebau bedeutet Gefahr der Erosion nicht nur der — unter strengem Kontinentalklima ohnehin nicht sehr mächtigen — „Krume“, sondern auch von Schnee, mithin Verkürzung der (boden)frostfreien Zeit und Verminderung des Wasservorrats.

In schneefangenden Dellen tritt Umgekehrtes ein, so daß aus dem nassen Unterboden sommers salzhaltiges Wasser aufsteigt und die Ausbreitung halophiler Pflanzen begünstigt, deren Pumpeffekt die Bodenalkalisierung noch verstärkt (s. hoher Na-Anteil an der KAK =  $V_{Na}$  in Fig. 3,b und c). Herbstliche Sickerung verfrachtet nicht nur Salze in den Unterboden (s. Salzgehalts-Maxima), sondern auch durch Na-Belegung leicht dispergierbar gewordene Tonteilchen (s. Tongehalts-Maxima). Infolgedessen sinkt die Wasserleitfähigkeit im Unterboden, wird also der Oberboden nach der Schneeschmelze mehr vernäßt. — In Senken fließt mehr Schmelzwasser zu als verdunsten kann, herrscht also im Trockengebiet ein humides Bodenklima mit entsprechenden Folgen für die Basenauswaschung und Tonverlagerung (s. Fig. 3,d). Mäßige Trophie und geringe Durchlüftung des Oberbodens bestimmen dann die Vegetation und die mikrobielle Aktivität (s. Humusgehalts-Maximum).

Bodenschutz unter dem Aspekt der Nahrungsproduktion erfordert in dieser Landschaft also zunächst Erosionsverhütung (und P-Düngung) auf den Tschernosemflächen. Vermindern des Schneeverwehens durch Pflanzenstreifen bzw. des Schmelzwasserabflusses durch Fanggräben wird aber nicht nur die Wasserversorgung der Ackerpflanzen verbes-

\*) Abkürzungen für alle Diagramme: Ki = Kies, S = Sand, U = Schluff, T = Ton, t = gesamtes, d = dithionit-, o = oxalatlöslich, (1)a = (leicht) austauschbar, e. L. = elektr. Leitfähigkeit; „S“ =  $Ca_a + K_a + Na_a$ , „H“ =  $H_a + Al_a$ , KAK = Kationenaustauschkapazität; R. g. = Raumgewicht, tW = Totwasser, (FWK) = (Feld)Wasserkapazität. — Humus =  $2^\circ C$ . Außer den mit \* gekennzeichneten sind die Daten additiv aufgetragen, d. h. die Fläche zwischen zwei Linien ergibt die Meßgröße.



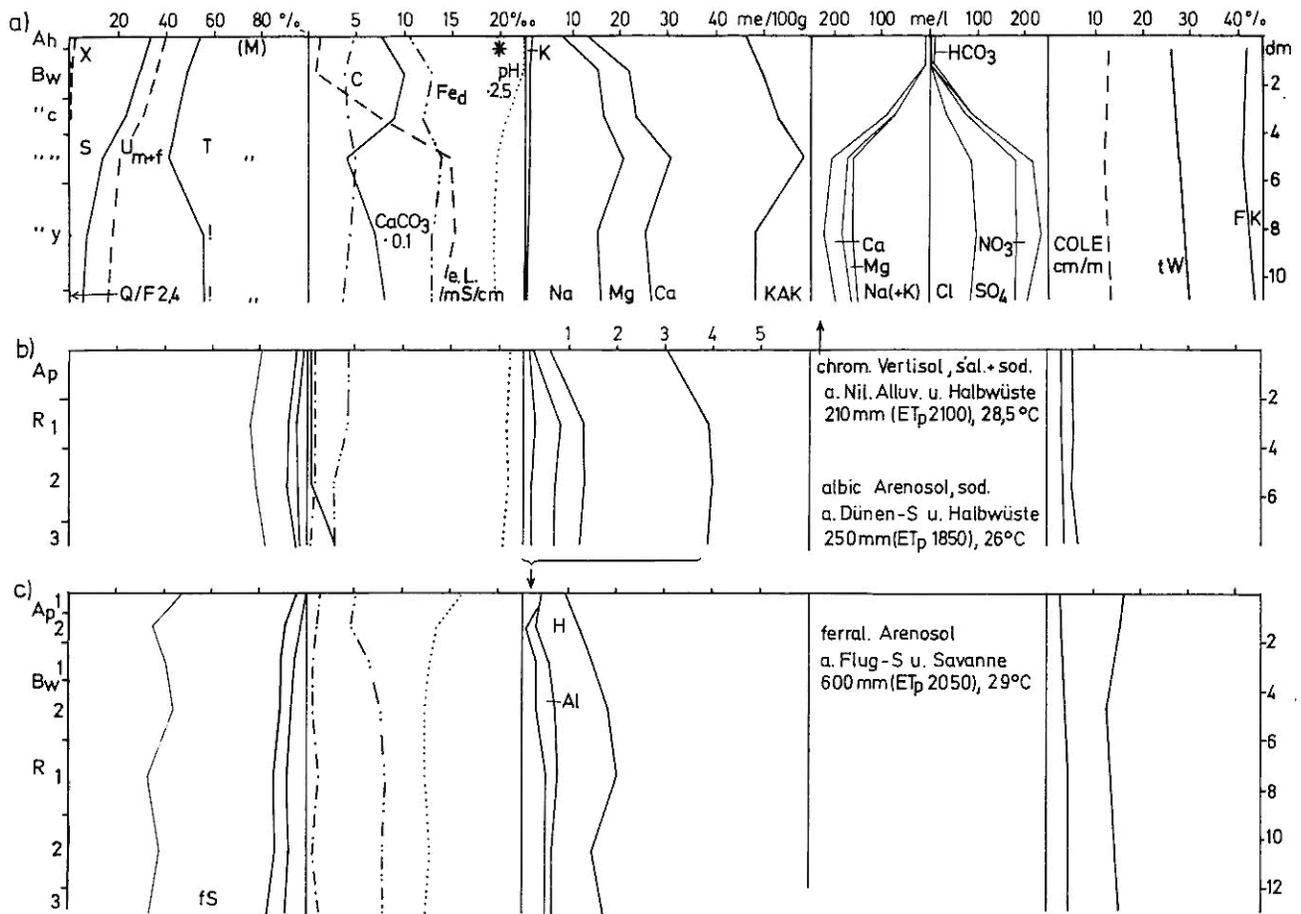
3. Toposequenz im Kasachischen Flachhügelland ~ 52° n. Br., 70° e. L.)

sen, sondern auch den Wasser- und damit den Luft- und Nährstoff-Haushalt in den Deilen und Senken umsteuern. Die durch standortungemäße Nutzungstechniken akzentuierten Unterschiede zwischen den Ökotope werden dann also wieder vermindert. Wenn die Solonetze gelockert und gegipst (im Profil c kombinierbar durch Tiefpflügen) sowie die Planosole tiefgelockert und gekalkt würden, könnten sogar erstere auch als Äcker statt als Weide und letztere als Weide statt als Forst genutzt werden. — Aus diesem Fall ist zu schließen, daß das Standortmuster in Ökochoren nicht erst durch direkte Melioration bestimmter Ökotope, sondern

schon durch eine bodenpflegliche Nutzung anderer Ökotope nivelliert werden kann.

### 2.3 Böden tropisch-trockener Gebiete (s. Fig. 4)

Hier werden Probleme von Böden weit auseinanderliegender Landschaften behandelt, um prinzipielle Unterschiede zwischen fluvialen Ton- und äolischen Sandflächen (und hier zwischen solchen junger und älterer Landoberflächen) und Ähnlichkeiten im (semi)-ariden Klima mit kurzer Sommerregenzeit darzustellen.



4. Böden im tropisch-trockenen Gebiet (a) Sudan, b) Indien, c) Niger

### 2.3.1 Böden aus tonige Sedimenten

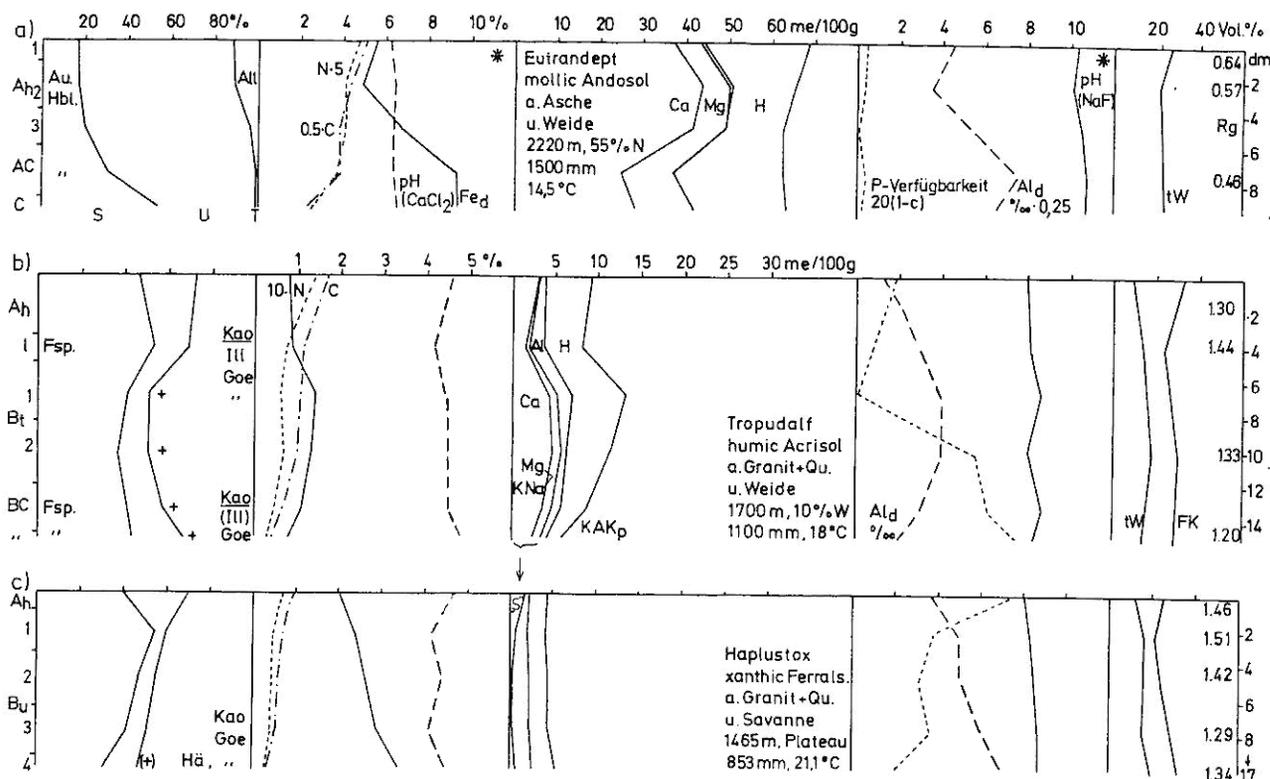
Vorherrschen von Montmorillonit (= M) und hohe  $V_{Na}$ -Werte (> 15 % = sodic) bedingen ein großes Quell/Schrumpf-Potential (COLE > 9 cm/m), im wechsellückigen Klima also eine deutliche Peloturbation (s. Humusverteilung im Vertisol 4,a, ! = slickensides). Schrumpfen bedeutet aber nicht nur tiefes Eindringen von — warmtrockener — Luft, mithin schnelles Erschöpfen der ohnehin geringen (durch hohen tW = Totwasser-Anteil noch verminderten) Nutzwasserreserven durch Rißdürre, sondern auch Hemmung des kapillaren Salzaufstiegs sowie — bei folgenden Starkregen — Förderung der Oberboden-Entsalzung. Daher ist nur der Unterboden salin (e.L. = elektr. Leitfähigkeit > 15 mS/cm), hier besonders reich an Na (Cl, SO<sub>4</sub>).

Bewässern vermindert zwar den Wasserstreß für die Nahrungsproduktion, aber auch die belüftend und entsalzend wirkende Rißbildung. Bei Überwässern von schlecht wasserleitenden Böden werden also die Luftmangelphasen im Unterboden verlängert und die Versalzung des Oberbodens verstärkt, können mithin die Erträge sogar adaptierter Pflanzen unter das Ausgangsniveau sinken. — Aus diesem Fall ist zu schließen, daß dem „gesunden Menschenverstand“ als fernliegend Erscheinendes (hier die Wahl ausreichend permeabler Böden für die Bewässerung und/oder eine tiefe Entwässerung in Trockengebieten) für die Erhaltung der Bodenfunktionen wichtiger sein kann als Nahliegendes (hier die Zufuhr des Produktionsmittels Wasser, das aber auch ein Salztransporteur ist).

### 2.3.2 Böden aus sandigen Sedimenten

Diese Arenosols sind nicht nur ton-, sondern auch humus- und mithin N-ärmer als die Vertisols, haben also eine weit geringere KAK (geänderter Maßstab für die Profile 4,b und c!) und speichern viel weniger Wasser (s. geringe Feldkapazität FK) aus den in großer Dichte fallenden Niederschlägen. Das löst die Salz-, verschärft aber die Dürreprobleme besonders für Flachwurzler. Wenn Bäume und Büsche eliminiert werden, nimmt die Biomasseproduktion der Landschaft ab, die (Wind-)Erosion entsprechend zu, zumal bei Verfüttern oder Verbrennen auch der für verdunstungs- und überhitzungshemmende Mulchdecken geeigneten Ernterückstände. Bodenschutz (und Ertragssteigerung) durch Bewässerung würde meist hohen technischen Aufwand und überdies Verbrauch kaum erneuerbarer Ressourcen oder hohe Transportverluste durch Verdunsten bedeuten. „Wasseransparen“ durch Schwarzbrache (s. 2.2) wäre hier ein Versuch am untauglichen Objekt. Erforderlich sind vielmehr adaptierte Pflanzen und flexible Nutzungsformen (zu denen der Nomadismus bei geringer Bevölkerungsdichte gehört) bzw. erosionshemmende Nutzungstechniken.

Darin unterscheiden sich die beiden Landschaften aber wesentlich, da die Sedimente Landoberflächen mit geringer (4,b) oder starker Verwitterung (4,c) entstammen. In ersterem Falle haben die Böden wegen bzw. trotz geringere Tongehalten eine geringere FK bzw. eine höhere KAK und sind basengesättigt (sogar schwach alkalisiert); in letzterem sind sie entbast und versauert (s. Al<sub>a</sub> in 4,c), infolge hoher Fe-Oxid-Gehalte (s. Fe<sub>d</sub>) P-fixierend (auch Mo- und S-arm?)



5. Böden im tropischen Bergland und auf Peneplainen (Rwanda)

und verkrusten oft. Dann kann Wassererosion bei geringer Sandmächtigkeit über verfestigten fossilen Böden den Wurzelraum einengen sowie Abfluß die Dürre verschärfen und limitieren Wasser- und Nährstoffmangel wechselseitig die Nutzung der knappen Ressourcen. — Auch hier ist also nicht (nur) den augenscheinlichen Nöten (dem Wassermangel) zu steuern, sondern (auch) den verborgenen (dem Nährstoffmangel). Wenn steigende Bevölkerungsdichte einen Dauerfeldbau erzwingt, ist Bodenschutz gegen Erschöpfung erforderlich.

#### 2.4 Boden tropisch-±-feuchter Gebiete (s. Fig. 5)

In diesen weder periglazial noch peridesert überprägten, feuchtwarmen Landschaften wird man weitgehend Klimaxböden, also eine Vereinheitlichung auch der Probleme des Bodenschutzes erwarten. Aber selbst Böden kleinerer Regionen, die standortkundlich als einigermaßen homogen erscheinen, betrachtet man sie aus großer Distanz (z. B. Rwanda aus Deutschland), unterscheiden sich darin sehr stark.

In Böden aus jungen basischen Vulkaniten (s. Au = Augit und Hbl = Hornblende im Profil, 5,a) verläuft die Verwitterung zunächst um so viel schneller als die Tonmineralbildung, daß sich Allophane anreichern (= All, bei Körnungsanalysen z. gr. T. koagulierend, daher als Schluff erfaßt). Sie binden Huminstoffe so stark, daß trotz günstiger Mineralisierungsbedingungen sehr viel Humus (mithin auch N) akkumuliert wird. Daher haben diese Böden hohe KAK- sowie „S“-Werte (aber rel. wenig K) und ein sehr lockeres Gefüge (s. Raumgewichte R.g.). Selbst bei Starkregen und an Steilhängen (hier 55 % !) ist daher der Abfluß gering. Sehr gering ist aber auch die P-Verfügbarkeit (wegen der hohen Gehalte an sorbierenden AIOH-Gruppen, s. Al<sub>d</sub>). Erosions- und Erschöpfungsriskien bestehen also kaum; aber ohne Zufuhr von P (und K, bei stärkerer Verwitterung auch von Kalk) muß

ein stabiles Nutzungssystem auf den Anbau entsprechend adaptierter Pflanzen gegründet werden.

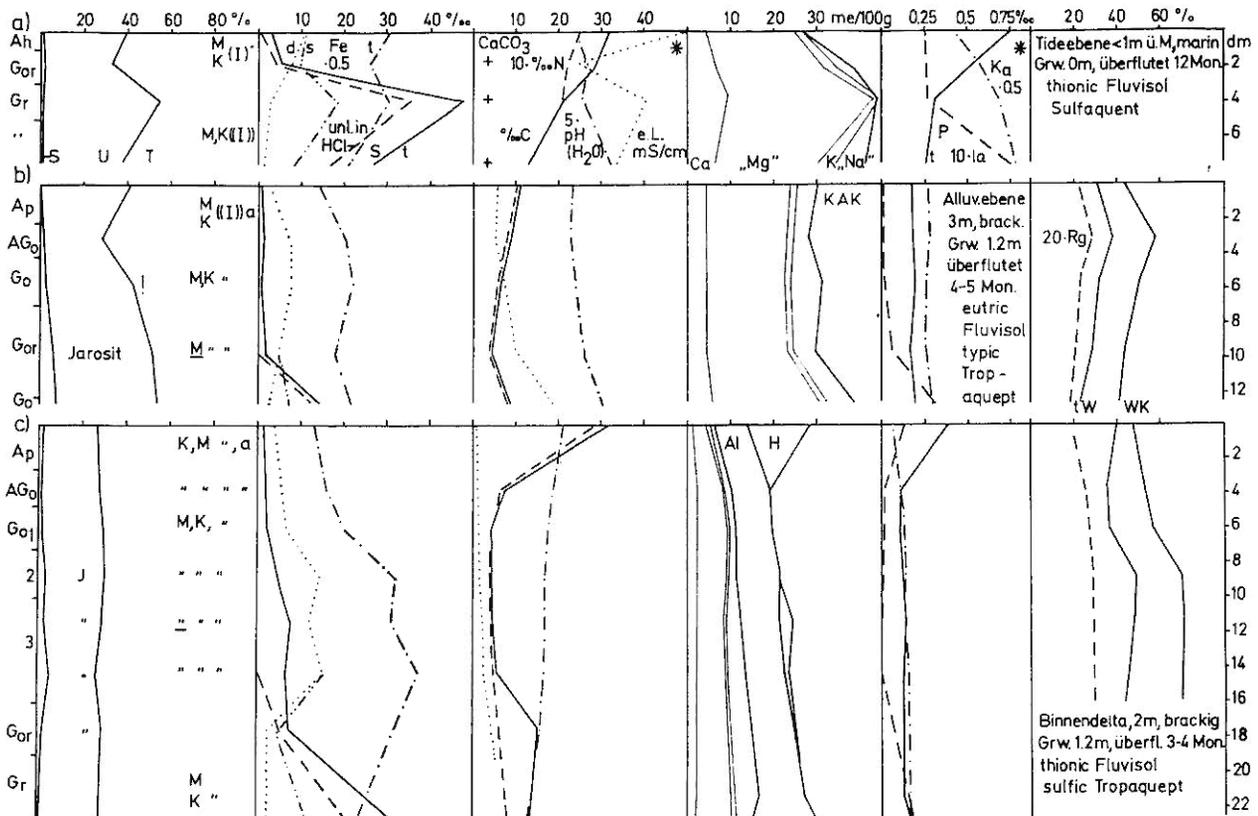
Böden des Granit- (+ Quarzit-)Berglandes sind — gemessen an der beträchtlichen Streuproduktion des niederen Regenwaldes — humusarm (Fig. 5,b mit z. T. geändertem Maßstab!), deutlich verlehmt (mit viel Kao = Kaolinit und entsprechend geringerer KAK), lessiviert (+ = Argillane), entbast und versauert (aluminisiert). Sie wären es noch weitaus stärker, hätte nicht die abgelafene (!) Erosion für eine „Düngung von unten“ gesorgt (s. Fsp. = Feldspäte in der Sand- und Ill. = Illite in der Ton-Fraktion, viel Ca<sub>a</sub> und wenig Al<sub>a</sub> im Unterboden). Verstärkt man diese durch den Pumpen perfekt tiefwurzelnder Pflanzen und führt die entzogenen Nährstoffe in einer Subsistenzwirtschaft möglichst weitgehend wieder zurück, dann ist auch hier das Erschöpfungsrisko gering. Weit größer ist aber bereits bei mäßiger Hangneigung das Erosionsrisiko für diese kaum Segregate bildenden (kaolinitischen!) und daher unten wasserstauenden und oben verschlammenden Böden. Ablaufende (!) Erosion bedeutet nicht nur Verlust an hochgepumpten oder rückgeführten Nährstoffen, sondern auch an Wurzel- und Wasserspeicherraum sowie — was oft übersehen wird — an Produktivwasser. Erosionsverhütung erfordert aber hohen technischen Aufwand oder teilweisen Nutzungsverzicht (Dauerkulturstreifen, Bodendecker oder Mulchdecken). Dieser muß bei großer Bevölkerungsdichte durch eine Ertragssteigerung ausgeglichen werden, die nicht mehr (nur) auf „Recycling“, sondern zunehmend (auch) auf „Input“ (für Getreide bes. von Ca, Mg und P) zu gründen ist, also eine Marktwirtschaft erfordert: Erosionsverhütung ist hier also wesentlich auch ein sozioökonomisches Problem. Sie ist überdies eine den Schutz der Erosionsorte übergreifende Aufgabe; denn der Abfluß vernäßt die Senkenböden, verlängert also dort die Luftmangelphasen oder erhöht den Aufwand für die Abfuhr des (den Hügelböden) fehlenden (!) Wassers.

Böden der alten Granit-Peneplainen (s. Fig. 5,c) sind weit weniger erodiert als transformiert: Unter den früher feuchteren Bedingungen wurden die verwitterbaren Minerale selbst aus dem Sand eliminiert und die (in Böden periglazialer Gebiete meist beträchtlichen) Gehalte an Schluff dezimiert und mit ihnen die Nutzwasserkapazität. In der Tonfraktion dominieren Kaolinit und residualakkumulierte, verkitet wirkende Fe-Oxide (s.  $Fe_d$ ), so daß selbst tonige Böden eine geringere KAK haben als sandige in anderen Gebieten (vgl. Fig. 4, b und c). Die Aluminisierung ist relativ weit fortgeschritten. Die Mineralisierung ist in der Regenzeit so stark, daß der verbleibende Humus weder die KAK erhöht noch die Verdichtung (s. R.g.) und Verkrustung der Oberböden in der Trockenzeit verhindert. Hier führte also eine andere Kombination von geomorpher Einheit x Klimageschichte zu ähnlichen Standortproblemen wie in 2.3.2 geschildert, ist aber das Erosions- weit geringer als das Erschöpfungsrisiko, zumal wegen der geringen Durchwurzelbarkeit und der großen Entbasungstiefe die Pumpeffekte der Pflanzen und mithin auch Recyclings-Wirkungen nur gering sind. Entsprechend lang sind die Umtriebszeiten im Wanderfeldbau mit schneller „heißer“ statt langsamer biologischer Verbrennung der Streu. Erstere bewirkt zwar eine Ent- statt Versauerung (s. Anstieg von pH und P-Verfügbarkeit, Abnahme von  $Al_d$ ), vergeudet aber N sowie S und verflüchtigt auch stabilere C-Verbindungen, die zur Humusbildung in den Böden oder zur Rohstoffversorgung der Menschen beitragen könnten (das gilt bes. im Regenwaldgebiet). Entsprechend groß sind aber auch die Flächen, deren Naturvegetation zerstört wird. Eine bodenfunktionspflegliche Alternative zu dieser Ausbeutung wäre die intensivere Nutzung kleiner Flächen nach Düngung. — Aus diesen Fällen ist zu schließen, daß auch mangelnde Erosion ungünstig und eine „moderne“ Bodennutzung ökologisch sinnvoller sein kann als die „traditionelle“.

## 2.5 Böden tropischer Küstenebenen (s. Fig. 6)

Daß diese Böden aus sehr jungen  $\pm$  nährstoffreichen Sedimenten unter feuchtwarmen Bedingungen (1200—1600 mm, 28°C) entstanden und eine reiche Flora und Fauna aufweisen, verführt leicht zu der Annahme, es gäbe hier allenfalls anthropogene Probleme. In Wirklichkeit sind diese bereits durch die Besonderheiten der Sedimente vorprogrammiert. Sie sind infolge geringer Ca-Zufuhr mit dem Überflutungswasser bzw. infolge starker S-Bindung aus ihm (durch sulfatreduzierende Mikroben im Verein mit einer Eisenoxidreduktion in dem an umsetzbarer Biomasse reichen Milieu) arm an Kalk und reich an Eisensulfiden, besonders bei langsamem Auflanden, also bei Langlebigkeit des Mangrovenstadiums (s. Fig. 6,a). Sulfid-S (= HCl-unlöslich) und -Fe (=  $Fe_{s-d}$ ) sind im Unterboden angereichert auf Kosten des an Fe-Oxiden (s.  $Fe_d$ ) reichen Oberbodens. In diesem sind auch Salze (s. e. L., die KAK übersteigendes „ $Na_3$ “ nicht dargestellt) so stark angereichert, daß nur Halophyten gedeihen und nicht einmal der relativ (bis 4 mS/cm) tolerante Reis angebaut werden kann. Beide sind auf spezielle Weise an den  $O_2$ -Mangel adaptiert, aber zumindest Reis nicht an den durch bio-chemische Reaktionen bewirkten  $H_2S$ -Überschuß.  $H_2S$  riecht aber nicht nur übel, sondern gehört — ebenso wie die aus im Oberboden gebildeten Nitraten entstehenden Stickoxide — zu den aus Naßökotopen („Feuchtbiotopen“) entweichenden Schadgasen.

Welche Risiken aber bestehen, wenn man diese „Funktionsstörungen“ auf naheliegende Weise zu beheben versucht, nämlich durch Entwässern (= Belüften), ist am höher gelegenen Profil 6,c zu studieren: Es ist zwar tiefgründig salzarm und frei von Sulfiden; aber die durch deren bio-chemische Oxydation produzierte Schwefelsäure wurde infolge gerin-



6. Böden im monsunaltropischen Gebiet (Thailand)

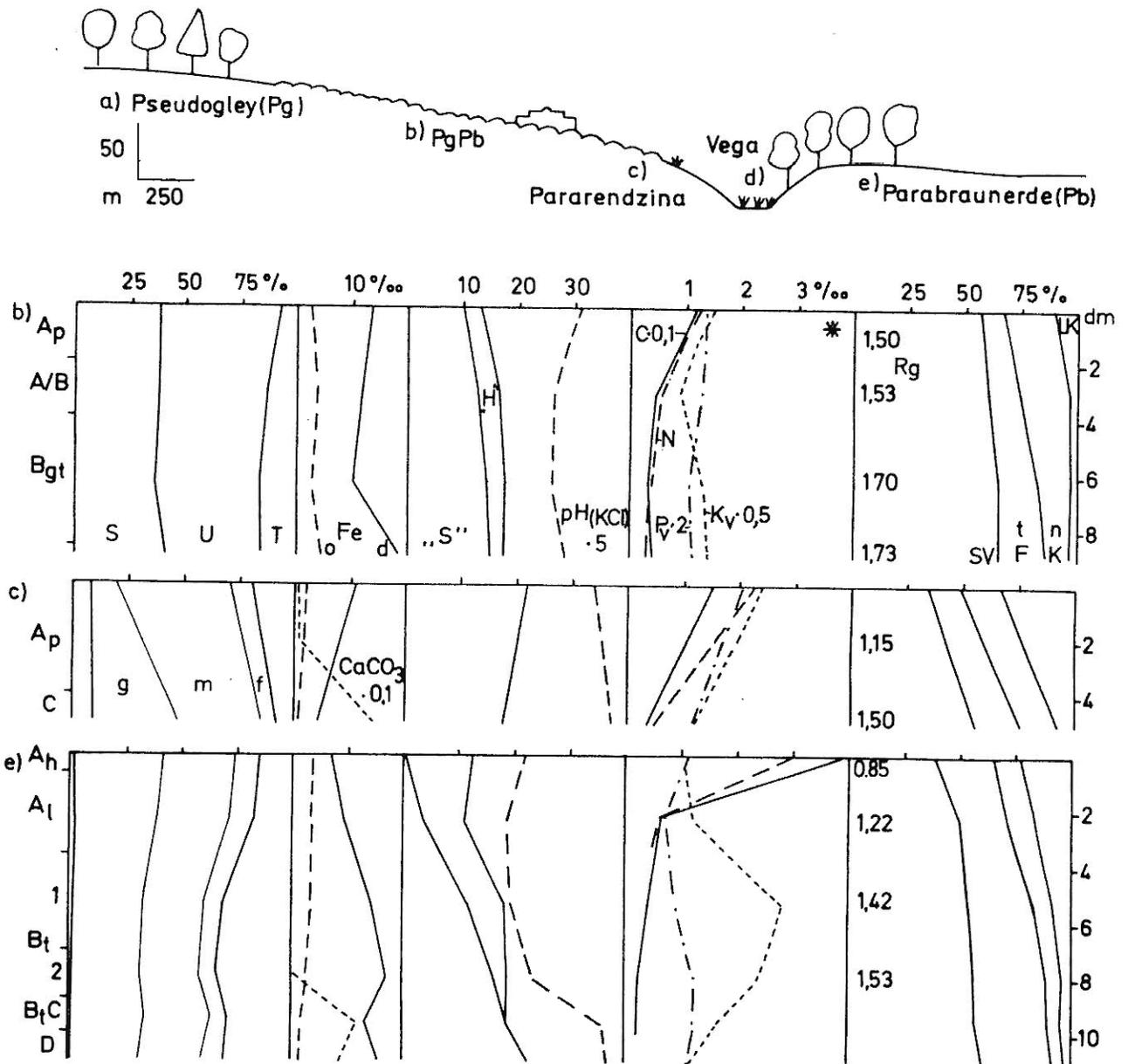
ger Kalkreserven und K-Gehalte nur teilweise durch Bildung von löslichem  $\text{CaSO}_4$  bzw. von  $\text{KFe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$  (= Jarosit) neutralisiert, reagierte vielmehr mit Silikaten unter Freisetzen von Al. An das daraus resultierende Mißverhältnis zwischen Austausch-Ca(K) und -Al sind die meisten Kulturpflanzen kaum adaptiert, besonders wenig der Reis (und Fische). Zum Ausgleichen (und Steigern der P-Verfügbarkeit) wären für die „Krume“ etwa 1.65 t  $\text{CaCO}_3/\text{ha}$  je mval  $\text{Al}_a/100$  g erforderlich (ggf. zusätzliche K- und P-Düngung). Dieser Aufwand wäre aber zu vermindern bis zu vermeiden durch schleusenreiche Graben- und relieferende Bearbeitungssysteme, die ein Pendeln zwischen Überfluten (Effekte s. Profil 6,a; pH-Steigerung) und Auswaschen (s. Profil 6,c; pH-Senkung) erlauben, wie es beim hochproduktiven Boden 6,b praktiziert wird. Wenn mit  $\text{NH}_4$  statt  $\text{NO}_3$  und plaziert statt breit gedüngt wird, lassen sich auch N-Verluste bzw. Luftkontamination durch Denitrifikation minimieren.

Aus diesen Fällen ist zu schließen, daß die Aktivität von Bodenorganismen sehr schädliche Folgen für andere Lebewesen (sowie die Wasser- und Luftqualität) haben kann und

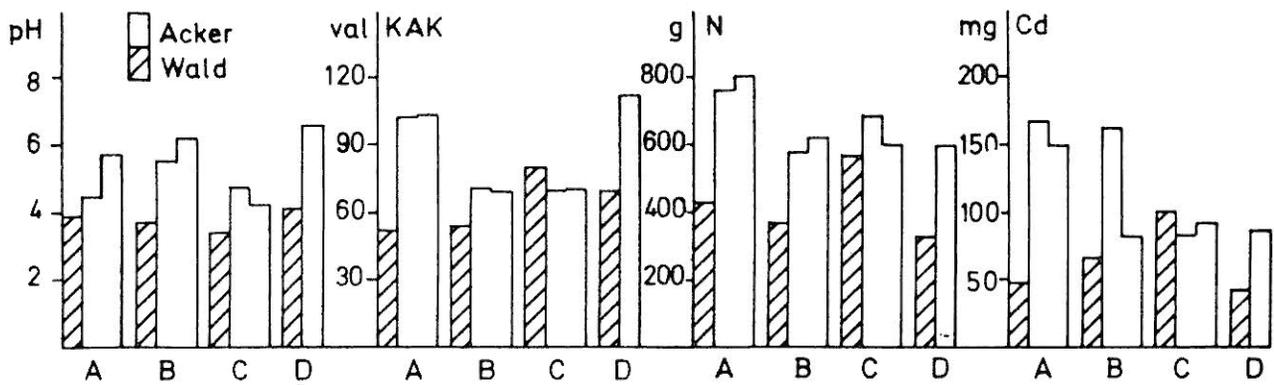
der Schadstoff- über den Wasser- und Lufthaushalt zu regulieren ist.

### 2.6 Filder bei Stuttgart (s. Fig. 7)

In dieser gemäßigt-humiden (700 mm, 7°C) Landschaft mit wärmzeitlichen Lößdecken sind Verwitterung und Humusumsatz stärker als im Steppen-, aber schwächer als im Regenwald-Gebiet. Nährstoffverfügbarkeit bzw. -vorräte sind also größer als in ersterem bzw. in letzterem (wenngleich mitnichten so hoch, wie dem — quarzreichen! — Löß meist unterstellt wird). Der Ton wurde aber weniger durch Humus bzw. Sesquioxide in Aggregate eingebunden, vielmehr relativ stark verlagert, so daß leicht verschlämmende  $A_f$ - und schwer durchlässige  $B_t$ -Horizonte entstanden (Luvi- bzw. Alfisols). Durch Acker- gegenüber Forstnutzung wurden die Oberböden verdichtet, besonders grobporenärmer (s. R.g. und LK in Fig. 6, b und e), sind infolge geringerer Infiltrationsrate und Aggregatstabilität also leichter erodibel. Ero-



7. Catena auf Löß/Lias  $\alpha$ -Sandstein (Filder bei Hohenheim)



8. Nähr- und Schadstoffmengen in Wald- und Ackerböden (je m<sup>2</sup> bis 40 cm Tiefe)

sion ist aber unter diesen Klima- und Reliefbedingungen kein über jeglichem Ackerbau schwebendes Verhängnis, sondern das Ergebnis von Fehlern bei der Flurbereinigung und /oder in der Nutzungstechnik. Ihre Folgen (s. Profil 7,c) und das Verhütungsinstrumentarium sind bekannt, und des letzteren Anwendung ist unter den gegebenen sozioökonomischen Bedingungen unproblematisch.

Andererseits wurden die Böden — entgegen verbreiteter, aus Konzentrationsvergleichen inkommensurabler Horizonte resultierender Ansicht — wegen des tieferen Einmischens und Verdichtens meist mit Humus angereichert und — oft unnötig stark — gedüngt (gekalkt, s. „S“-Wert und pH). Diese Eutrophierung verstärkte zwar die der Gewässer, schützte aber die Böden gegen Erschöpfen und Versauern (Aluminisieren) durch Ernteentzug, so daß anspruchsvolle, Al-sensitive Pflanzen angebaut werden konnten — an mesotrophe Standorte adaptierte allerdings verdrängt wurden. Besser gepuffert als Waldböden sind sie auch gegen die zusätzliche Versauerung durch atmogene Einträge, so daß bisher keine Schäden durch „Sauren Regen“ nachzuweisen waren. Hohe KAK bedeutet aber auch stärkere Speicherung von Schadstoffen; z. B. überschreitet der in Acker- gegenüber Waldböden gefundene Mehrbetrag an Cd (s. Fig. 8) die vermutlich mit Mineraldüngern eingebrachten Cd-Mengen,

so daß eine geringere Auswaschung und/oder Pflanzenaufnahme auch der atmogenen Einträge (derzeit 4—5 g/ha · a, etwa ebensoviel durch P-Dünger) anzunehmen ist. Das bedeutet andererseits ein erhöhtes Risiko bei Mobilisierung, und gegen diese sind die Böden ebenso zu schützen wie gegen weitere Einträge.

Am meisten gefährdet wird hier die Erfüllung der Bodenfunktionen aber nicht durch die Bodennutzer, sondern durch die Bodenverbraucher: Der Anteil an „Siedlungsflächen“ ist etwa 3mal so hoch wie im ohnehin dicht besiedelten Baden-Württemberg, und das bei etwa doppelter Biomasseproduktion und Filterwirkung der Böden pro Flächeneinheit gegenüber dem Landesmittel. Dieser Trend setzt sich innerhalb der Filder und gegenwärtig weiter fort: Für die Erfüllung zivilisatorischer Bedürfnisse der Menschen (z. B. Supermärkte in Flachbauten, Straßen und Landebahnen) wurden und werden nicht die geringer-, sondern die höherwertigen Böden herangezogen. Ein Bruchteil dieser meist durch die öffentliche Hand erworbenen Flächen würde bei ökochochengerechter Verteilung genügen, dem Artenschutz den ihm neben der Nahrungs- und Rohstoffproduktion zukommenden Rang in der Bodennutzung zuzuweisen. Über diese Landschaftsgefährdung täuscht aber die anonyme Flächeneinheiten addierende statt Ökotopmuster be-

### 9. Belastungen, betroffene und belastbarkeitsbestimmende Merkmale

Belastung	neg. (-) / pos. (+) betroffen								belastbarkeitsbestimmend						
	WR	nWV	k <sub>f</sub>	LV	k <sub>l</sub>	Nährstoff- angeb.	Schadstoff- angeb.	Aggr- stab.	Leit- föh.	nWV	Tro- phie	E <sub>h</sub>	pH	KAK	AAK
Ausgraben	-	-	-	-	-	-	-								
Begraben (Versiegeln)	-	-	-	-	-	-	-								
Entblößen (Erosion)	-	(-)	-/+	-/+	-/+	-	-	+	+						
Verdichten (Überwässern)	-	+	-	-	-	+/-	+/-	+	+	-		+			
Lockern (Entwässern)	+	-	+	+	+	-/+	-/+		-	+		-			
Versalzen (Überdüngen)	-	-				+	+			+				+	+
Auswaschen (Erschöpfen)	-					-	-				+			+ /	+
Alkalisieren (Überkalken)	-		(-)		(-)	-	-						-	+	+
Aluminisieren (Versauern)	-					-	+						+	+ -1)	+
Kontaminieren organ.	-						+				+	+	+ /-	+ 2)	+
Kontaminieren mineral.	-						+						+	+ /	+

WR = Wurzelraum, nWV = Nutzwasservolumen, k<sub>f</sub>/l = Wasser-/Luftleitfähigkeit, LV = Luftvolumen, KAK (AAK) = Kat(An)ionenaustauschkapazität

Art. v Menge } Carb. Ton Oxiden Humus

1) bes. Ton; 2) bes. Humus

wertende Statistik immer noch hinweg. — Aus diesen Fällen ist zu schließen, daß Bodenschutz bei der Beendigung und womöglich Revision von Fehlern in der Bodennutzungsplanung beginnen muß.

### 3 Zusammenfassung

Böden haben im Naturhaushalt zentrale Funktionen für den Organismenbestand von Ökotoxen, den Wasserhaushalt von Ökochen sowie die erdnahen Luftschichten der Ökosphäre, können daher und darüber hinaus den Menschen als Ver- und Entsorgungsflächen dienen. Ihre Mannigfaltigkeit in Formen und Verhaltensweisen entspricht derjenigen von Flora und Fauna und verändert sich ständig, wenngleich nicht immer stetig. Schnelle pedogene Änderungen und übertriebene oder unterlassene anthropogene Eingriffe können die Erfüllung der wesensimmanenten und/oder der zugewiesenen Funktionen gefährden. Inwieweit sie es tun, hängt nicht nur von Art und Intensität der Eingriffe sowie betroffenen Funktionen ab, sondern sehr wesentlich auch von

der naturalen Ausstattung der betreffenden Böden (s. Fig. 9). Statt pauschalierender Aussagen bedarf es also der Analyse durch Pedologen (die für verschiedene Ökosysteme exemplifiziert wurde). Die Problemlösung durch Adaptation und/oder Melioration erfordert geistige und materielle Investitionen in konzertierten Aktionen von Pedologen, Landesplanern, Land- und Forstwirten und/oder eine Anpassung der Menschheit in Zahl und Ansprüchen an die Ressourcen der Pedosphäre.

#### Quellenangaben zu den Figuren

2. Guide book for tour 18, 11th Congr. ISSS, Edmonton 1978
3. Guide book for tour 5, 10th Congr. ISSS, Moscow 1974
4. a Tour guide for 5th Int. Soil Classif. Workshop, Sudan 1982  
b Guide book for tour 3, 12th Congr. ISSS, New Delhi 1982  
c BGR-Bericht über BMZ-Projekt Nr. 7521/373, Hannover 1979
5. Tour guide for 4th Int. Soil Classif. Workshop, Rwanda 1981
6. Tour guide for 2nd Int. Symp. Acid Sulfate Soils, Bangkok 1981
9. Schlichting, E.: Einführung in die Bodenkunde, 2. Aufl., Parey, Hamburg und Berlin 1986



Von Baum und Strauch ausgeräumte „Kulturlandschaft“ im Eifelvorland, die vor einigen Jahrzehnten noch eine reich gegliederte Terrassenlandschaft darstellte.

Foto: G. Olschow

## Bodenschutz aus der Sicht der Ökologie

Die Vorstellungen der Ökologie vom Bodenschutz werden am besten verständlich, wenn man sich die moderne Auffassung von Ökologie als Wissenschaft verdeutlicht: Ökologie ist die Lehre vom Haushalt der Natur und von den Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Organismen, zwischen Organismen und den auf sie einwirkenden Umweltfaktoren sowie zwischen den verschiedenen Umweltfaktoren selbst. Als Organismen werden Mikroorganismen (Bakterien, Pilze), Pflanzen, Tiere und Menschen zusammengefaßt. Zu den Umweltfaktoren gehören z. B. das Klima mit Temperatur und Niederschlag, das anstehende Gestein und der Boden einschließlich seiner speziellen Eigenschaften wie Bodenart, Wassergehalt, Humus- und Nährstoffgehalt, pH-Wert. In den funktionellen ökologischen Grundeinheiten, den Ökosystemen, stellt der Boden einen integrierten Bestandteil dar; das gilt vor allem für Landökosysteme. Aus dieser Sicht bezeichnen wir Boden als die aus verwittertem Gestein unter Mitwirkung von Organismen hervorgegangene Erdschicht. Diese Mitwirkung von Organismen besteht in der Zulieferung von organischem Material, das sich im Boden anreichert, in der Abgabe von Stoffwechselprodukten in den Boden und in der mechanischen Umarbeitung des Bodenmaterials. Boden ist im engeren Sinne der Lebensraum der Bodenorganismen, die wesentlich zur Bodenbildung beitragen. Der Boden stellt darüber hinaus den Wurzelraum und ein Versorgungssubstrat der Pflanzen dar; er ist letztlich die Lebensgrundlage der Pflanzen und aller von diesen abhängigen Tiere und Mikroorganismen. Auch der Mensch unterliegt dieser Abhängigkeit. Infolge der wechselseitigen Beziehungen und Verflechtungen ist aber auch der Boden zahlreichen Einflüssen der verschiedenen Organismen unterworfen.

Die Verflechtungen zwischen den verschiedenen Ökosystemen auf der Erde finden ihren Ausdruck in den Stoffaustauschvorgängen zwischen Landökosystemen und Gewässerökosystemen; dabei stellt vom globalen Wasserkreislauf her gesehen der Boden ein Filtersubstrat dar, das Grundwasser und alle davon gespeisten Gewässer vor Stoffverlagerungen in gewissem Umfang schützen kann.

Nach dem Gesagten ist die Feststellung nicht überraschend, daß jedwede Veränderung des Bodens auch Folgen für die von ihm abhängigen Organismenarten und Lebensgemeinschaften hat und daß ebenso Eingriffe in den Organismenbestand, insbesondere in die Pflanzendecke, Auswirkungen auf den Boden haben, von denen sekundäre Folgeeffekte ausgehen können. Dazu gehört die bekannte Erosion, der Abtrag von Bodenmaterial aus pflanzenfrei gewordenen Flächen mit einer mehr oder weniger starken Schädigung oder gar Vernichtung unmittelbar betroffener Landökosysteme und einer mittelbaren Belastung der durch den Eintrag des abgeschwemmten Substrats betroffenen meist aquatischen Ökosysteme.

Aus den bisherigen Darlegungen kann die eindeutige Schlußfolgerung gezogen werden, daß der Boden im ökologischen Geschehen eine zentrale Rolle spielt und daß dementsprechend Naturschutz nicht ohne nachhaltigen Bodenschutz zu realisieren ist. Mangelnder Bodenschutz hat denn auch wesentlich zu der mangelhaften Effektivität des Naturschutzes in der Bundesrepublik Deutschland beigetragen.

Lassen Sie mich kurz die Ziele des Naturschutzes rekapitulieren. In § 1 (1) des BNatSchG heißt es bekanntlich:

„Natur und Landschaft sind im besiedelten und unbesiedelten Bereich so zu schützen, zu pflegen und zu entwickeln, daß

1. die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes,
2. die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter,
3. die Pflanzen- und Tierwelt sowie
4. die Vielfalt, Eigenart und Schönheit von Natur und Landschaft

als Lebensgrundlagen des Menschen und als Voraussetzung für seine Erholung in Natur und Landschaft nachhaltig gesichert sind.“

Wesentlich ist, daß der Novellierungsentwurf des Gesetzes (Stand April 1985) nach (4.) einschiebt, „an sich sowie“ und damit die ursprüngliche Fixierung auf den Menschen aufhebt und den ethischen Aspekt des Schutzes der Natur um ihrer selbst willen einführt.

Die genannten Ziele werden, auch unter Berücksichtigung der Abwägungsgebote aus § 1 (2) derzeit keineswegs erreicht. Insbesondere die „Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland“ (BLAB et al. 1984) zeigt den gravierenden Umfang der Existenzgefährdung von wildlebenden Pflanzen- und Tierarten. Einige Zahlenbeispiele mögen dies verdeutlichen: Von 2476 Arten an Farnen und Blütenpflanzen sind im Gebiet der Bundesrepublik 2,4 % (60 Arten) verschwunden und 25,7 % (637 Arten) aktuell im Bestand gefährdet. Dabei handelt es sich nur zu einem sehr geringen Teil (102 Arten bzw. 4,1 % der Gesamtartenzahl oder 14,6 % der verschwundenen und gefährdeten Arten) um existenzgefährdete Ackerwildkräuter, die der Unkrautbekämpfung zum Opfer fallen. Der Gefährdungsgrad von Tieren liegt um einiges höher, was vor allem dadurch bedingt ist, daß von einzelnen Pflanzenarten jeweils mehrere Tierarten abhängig sind. So sind beispielsweise 44 % der Netzflügler, 38 % der Großschmetterlinge, 37 % der Geradflügler, 36 % der Wildbienen verschwunden oder aktuell gefährdet.

Mit dem Komplex Artenschutz hat sich der Deutsche Rat für Landespflege (1985) kürzlich auseinandergesetzt. Ich kann also darauf verzichten, hier auf die Begründungen für die Notwendigkeit von Artenschutz einzugehen (s. dazu ALTERNER 1985, HABER 1985) und von der Berechtigung des Anliegens ausgehen.

Geht man den Ursachen des Artenrückganges nach, so zeigt sich, daß die Veränderung oder Zerstörung von Lebensstätten, von Biotopen, eine große Rolle spielt. Besonders ins Gewicht fällt die Beseitigung von Hecken, Feldrainen und anderen ökologisch wertvollen Lebensstätten der alten ländlichen Kulturlandschaft, die vor allem der Flurbereinigung zum Opfer fielen.

Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Veränderung der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen; dazu rechnet die Intensivierung der Nutzung ehemals extensiv genutzter Flä-

chen (Magerrasen, Feuchtwiesen, Streuobstwiesen), bei der wesentliche Bodeneigenschaften wie Nährstoffgehalt und Wassergehalt verändert werden. Auch eine Aufforstung, insbesondere mit Nadelhölzern, oder eine nach Brachfallen einsetzende Verbuschung und Bewaldung verändert neben dem Lichtfaktor weitere wesentliche Umweltfaktoren wie Bodentemperatur, pH-Wert, Bodenfeuchte.

Maßgeblich am Artenrückgang mitverantwortlich ist die Entwässerung, die wesentliche Standorteigenschaften beseitigt und die Zerstörung bzw. ökologisch nachteilige Wandlung bestehender Ökosysteme verursacht. Abbau von Bodenschätzen spielt des weiteren eine wichtige Rolle, besonders betroffen waren in der Vergangenheit Moorstandorte.

Der Anwendung von Pestiziden kommt bei der Existenzgefährdung von Arten eine vergleichsweise geringe aber keineswegs zu vernachlässigende Rolle zu. Die Anwendung von Herbiziden in der Landwirtschaft beispielsweise belastet nur eine verhältnismäßig kleine Zahl von Pflanzenarten (s. SUKOPP et al. 1978), die relativ leicht durch bestimmte einfache Maßnahmen (Verzicht auf Herbizideinsatz in Ackerrandstreifen) erhalten werden können. Andererseits — und das ist von erheblicher ökologischer Bedeutung — werden durch die Verminderung der Artenvielfalt der Pflanzen das Ansiedlungssubstrat und die Nahrungsquellen von Tieren erheblich eingeschränkt. Störungen der biozönotischen Verflechtungen zwischen Wildpflanzen, Kulturpflanzen, tierischen Schädlingen und nützlichen Tieren sind die Folge (DFG 1985).

Von Bedeutung für bestimmte Böden und Pflanzenbestände sind auch die mechanischen Einwirkungen, wie sie von zu häufigem und starkem Betreten ausgehen oder von Maschineneinsatz, z. B. beim Herrichten von Skipisten.

Gewässer werden in beachtenswertem Umfang durch bodenbürtige eutrophierende Stoffe getroffen, so daß oligotrophe Gewässer von hohem ökologischem Wert in weniger wertvolle eutrophe umgewandelt werden. Dieser Prozeß trifft unter anderem Braunwasserseen mit Flachmooren, die zusätzlich durch alkalisierende Abschwemmungen getroffen werden. In diesem Zusammenhang muß erwähnt werden, daß der Nitratreintrag in Grund- und Oberflächengewässer nicht nur trinkwasserhygienische Nachteile, sondern auch ökologische Belastungen bringt. Nitrat ist wie Phosphat ein Pflanzennährstoff, der in manchen Fällen als Minimumfaktor produktionsbegrenzend wirkt. In der südlichen Nordsee beispielsweise besteht die Gefahr, daß die derzeit produktionsbegrenzende Nitratkonzentration durch vom Binnenland eingetragene Nitrate über einen kritischen Wert angehoben wird und damit die Eutrophierung einsetzt.

Wer sind nun die eigentlichen Verursacher des Artenrückgangs? Nach Analysen von SUKOPP, TRAUTMANN & KORNECK (1978) steht die Landwirtschaft bei der Gefährdung von Pflanzenarten mit deutlichem Vorsprung an der Spitze der Verursacher. Tourismus, Rohstoffgewinnung, städtisch-industrielle Nutzung, Wasserwirtschaft sowie Forstwirtschaft und Jagd folgen mit erheblichem Abstand, noch weiter zurück liegen Abfall- und Abwasserbeseitigung und Teichwirtschaft.

Im Zusammenhang mit Boden und Bodenschutz interessiert hier vor allem die Landwirtschaft, deren hoher Anteil an der Gefährdung von wildlebenden Pflanzen- und Tierarten sich vor allem daraus ergibt, daß die Landwirtschaftsfläche rund 55 % der Gesamtfläche der Bundesrepublik einnimmt. Es gibt aber noch einen zweiten wesentlichen Grund dafür, daß die Landwirtschaft als Verursacher des Artenrückgangs eine Spitzenposition einnimmt. Dieser zweite Grund ist die Entwicklung der mitteleuropäischen Landschaft und ihrer Pflanzen- und Tierwelt, die ich kurz darlegen will.

Die mitteleuropäische Landschaftsentwicklung hat sich unter dem Einfluß der Landwirtschaft treibenden Menschen vollzogen. Die Agrargeschichte ist zugleich die Geschichte menschlicher Einwirkungen auf die Natur, auf den Boden sowie auf die Pflanzen- und Tierwelt. Das Ausmaß der Umgestaltungen ergibt sich aus der Tatsache, daß ursprünglich der Waldanteil um 95 % lag, dann nach den großen Rodungen des Mittelalters auf nahe 20 % absank und heute rund 30 % beträgt. Der Einfluß des Menschen auf die Natur ging noch wesentlich weiter als die Zahlen vermuten lassen, denn der größere Teil der verbliebenen Wälder wurde — zum Teil bis ins 19. Jahrhundert — als Waldweide genutzt. Zusammen mit der Streu- und Holznutzung führte dies zur Verarmung der Waldböden und des Waldorganismenbestandes.

Auf den landwirtschaftlich bewirtschafteten Böden wurde der Mensch zum stärksten Bodenbildungsfaktor und beeinflusste damit in erheblichem Umfang den Bestand an wildlebenden Pflanzen und Tieren. Ohne auf Details einzugehen, sei festgestellt, daß im Verlauf der Agrargeschichte Mitteleuropas der Wald weitgehend dem offenen Gelände weichen mußte. Aus dem ursprünglich nahezu geschlossenen Waldland entstand ein vielgliedriges Gefüge von Gärten, Wiesen, Viehweiden, Äckern und Brachland mit eingemischten Hecken, Feldrainen, begrasteten Wegen, Feldgehölzen, Kleingewässern und naturbelassenen Bachläufen. Dieses Landschaftsbild bestand im großen und ganzen bis Mitte dieses Jahrhunderts. Die Artenzahl an Pflanzen und Tieren hatte sich im Verlauf von mehr als einem Jahrtausend beträchtlich erhöht, da das offene Gelände, die veränderten Bodenverhältnisse und die Vielzahl von kleinen Landschaftselementen viel mehr Arten Lebensraum bot als der vorher bestehende Wald. Wichtig ist festzuhalten, daß der Artenbestand dieser anthropogenen Landschaft des ausgehenden 19. Jahrhunderts Bezugsbasis für die Aufstellung der Roten Liste ist.

In dieses anthropogene, artenreiche Landschafts- und Ökosystemgefüge griff der Mensch selbst nach 1950 drastisch ein. Eine fast 25jährige Periode umfassender Flurbereinigungen schuf die Grundlage zur Intensivierung der Landwirtschaft und zum Aufkommen der mechanisierten und spezialisierten modernen Landwirtschaft.

Man kann diese Flurbereinigungsperiode samt den Wandlungen der Landbewirtschaftung als den wohl tiefgreifendsten Wandlungsprozeß im ländlichen Raum seit den großen Rodungen des Mittelalters auffassen. Mit den der Umgestaltung und der Intensivierung der Produktion zum Opfer gefallenen kleinen Strukturelementen der Landschaft und ehemals extensiv bewirtschafteten Flächen ging die Lebensgrundlage vieler Pflanzen- und Tierarten wieder verloren, wie es bei der Analyse des Artenrückgangs schon ausgeführt wurde.

Wenn von Tourismus als einem weiteren wesentlichen Verursacher des Artenrückgangs gesprochen wird, muß einmal an die schon erwähnten Trittschäden an Boden und Pflanzendecke gedacht werden; sie können vor allem in viel besuchten Naturschutzgebieten und Nationalparks zu einem ersten Problem werden. Ungleich bedeutsamer noch sind die Schäden an Boden und Vegetation, die durch den Wintersport verursacht werden. Hier ist vor allem an das Freischiessen und Planieren von Skipisten im Gebirge zu denken. Über das Anliegen des Natur- und Artenschutzes hinaus geht es hier um Bodenschutz im engeren Sinne, d. h. Erosionsschutz. Im Zusammenhang mit dem Schutz von Bannwäldern geht es oft auch um Menschenschutz: Schutz von Siedlungen vor Lawinen und Muren durch eben diese Wälder. Das Thema Wintersport und Bodenschutz scheint aktuell zu bleiben: Wenn sich der sog. Schiltschuhschritt im Skilanglauf einbürgern sollte, werden wesentlich breite-

re Langlaufloipen benötigt (vgl. FAZ vom 17. 1. 1986), die Boden- und Vegetationsschäden verstärken. Diskutiert man den Problemkomplex Tourismus und Naturschutz, so sollte man sich der — aus Sicht des Naturschutzes glücklichen — Situation bewußt sein, daß gegenwärtig (d. h. 1981/82; Statistisches Jahrbuch 1985) von rund 39 Mio. Urlaubs- und Erholungsreisen 59 % ins Ausland führen; wir exportieren also einen beträchtlichen Teil der einschlägigen Probleme.

Auf die anderen früher genannten Verursacher des Artenrückgangs soll hier nicht eingegangen werden, da sie von meinem Thema her weniger wichtig sind. Ich muß aber auf einen in den bisherigen Analysen nicht berücksichtigten Belastungskomplex eingehen, den ich für sehr wesentlich halte. Angesprochen wird hier der Anteil der Immissionen aus Luftverunreinigungen am Artenrückgang, dessen Höhe bisher nicht veranschlagt werden konnte. Er muß aber als gravierend eingeschätzt werden. Es sind zwei Komplexe zu unterscheiden: Einmal die Auswirkungen der „sauren Niederschläge“, die auf überhöhte Emissionen von Schwefeldioxid und Stickoxiden zurückgehen, und zweitens die Folgen eines hohen Eintrags von Nitrat und Ammonium, der teils (Nitrat) auf Stickoxidemissionen bei Verbrennungsprozessen, teils (Ammonium) auf industrielle und landwirtschaftliche Quellen sowie auf Emissionen aus Abwasser und Abfall zurückgeht. Diese Immissionen tragen alle zusammen zur Auslösung der neuartigen Baumkrankheiten bzw. Waldschäden bei. Auf dieses Phänomen kann hier nicht weiter eingegangen werden. Wichtig ist die Feststellung, daß die Baumkrankheiten insgesamt zu einer katastrophenartig verlaufenden Ökosystemzerstörung anzuwachsen drohen und damit neben allen ökonomischen Schäden auch gravierende Naturschutzprobleme entstehen. Die sauren Niederschläge als solche beeinträchtigen regional über Veränderungen von Bodenfaktoren den Pflanzen- und Tierartenbestand.

Eine schwerwiegende, großräumige Ökosystembelastung stellen die Immissionen von Stickstoffverbindungen dar. Nach Orientierungswerten über die Deposition von anorganischen Stickstoffverbindungen (N) des Umweltbundesamtes werden in ländlichen Regionen 12—26 kg N/ha · Jahr und im Wald 15—33 kg N/ha · Jahr eingetragen (Bodenschutzkonzept 1985, S. 46). Diese Mittelwerte werden lokal wesentlich übertroffen (vgl. ELLENBERG 1983). Was diese Werte aus ökologischer Sicht bedeuten, wird bei einem Vergleich mit den von der Landwirtschaft ausgebrachten Mengen anorganischer Dünger deutlich: Im Wirtschaftsjahr 1950/51 wurden 25,6 kg N/ha · Jahr ausgebracht, 1955/56 waren es 33,1 kg, 1983/84 belief sich die Menge auf 114,1 kg. Um die Bedeutung der Immissionen für die ehemals extensiv bewirtschafteten Magerstandorte zu erfassen, muß man sich die Gesamtdüngergaben der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts vergegenwärtigen: Um die Jahrhundertwende betrug die Summe der Stickstoffgabe aus anorganischem Dünger und Stalldung 22,7 kg N/ha · Jahr. Man muß davon ausgehen, daß die heutigen Immissionen in nährstoffarmen Ökosystemen, z. B. den ökologisch wertvollen Magerrasen, erhebliche Veränderungen in den Pflanzengesellschaften und im Tierartenbestand bewirken. (Zu diesem Komplex siehe: ELLENBERG 1983, 1985; KOWARIK & SUKOPP 1984.)

Wie kann die gegenwärtige Situation verbessert werden? Welche Maßnahmen des Bodenschutzes sind für einen umfassenden Artenschutz notwendig?

Das Bundesnaturschutzgesetz hat — das wurde schon gesagt — sein eigentliches Ziel, den nachhaltigen Natur- und Artenschutz zu gewährleisten, nicht erreicht. Dies hat mehrere Gründe. Zunächst einmal geht das Gesetz von einer falschen Grundlage aus. Es ist zwar richtig, daß die mitteleuropäische Landschaft überwiegend durch die Landwirtschaft geschaffen wurde und daß die Landwirtschaft ursprünglich

vielen Pflanzen- und Tierarten erst die Existenzmöglichkeiten geschaffen hat. Damit hat das Gesetz die ursprüngliche massive Umweltzerstörung durch die Landwirtschaft, nämlich die umfassende Waldzerstörung im frühen Mittelalter, gewissermaßen sanktioniert und die Schaffung der neuen Biotope als positiv eingestuft. Daraus wurde abgeleitet, daß ordnungsgemäßer Landwirtschaft für die Erhaltung dieser Kulturlandschaft eine zentrale Bedeutung zukommt. Dies wurde in den sog. Landwirtschaftsklauseln des BNatSchG festgeschrieben: Landwirtschaft dient in der Regel den Zielen des Gesetzes. Damit aber wurde eine Ausnahmeregelung für etwa 55 % der Fläche der Bundesrepublik geschaffen. Da auch die Forstwirtschaft diese Sonderstellung genießt, haben sogar 85 % der Fläche einen speziellen Status. Verkannt wurde, daß alle land- und forstwirtschaftlichen Nutzungsänderungen und Intensivierungsmaßnahmen, wie sie nach 1950 einsetzten, zwangsläufig eine Veränderung der Landschaft, des Bodens und der Pflanzen- und Tierwelt mit sich bringen. Es wurde versäumt, rechtzeitig eine Entscheidung pro Artenschutz zu treffen und bestimmte dem Artenschutz abträgliche Eingriffe oder Bewirtschaftungsformen einzuschränken. Die Landwirtschaftsklauseln hätten einer klaren Beschreibung dessen bedurft, was unter ordnungsgemäßer Landwirtschaft zu verstehen ist, etwa in einem Katalog von Regeln guter fachlicher Praxis in der Landwirtschaft. Dies sollte bald nachgeholt werden.

Ein weiterer wesentlicher Grund für das Versagen des BNatSchG ist, daß es zwar ausdrücklich den Anspruch erhebt, die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes und die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter zu sichern, aber in der Realität ein Fachgesetz und kein umfassendes Umweltschutzgesetz ist, wie es selbst zum Erreichen des eng umgrenzten Zieles Artenschutz nötig wäre. Die sektorale und mediale Betrachtungsweise der Umweltpolitik der 60er und 70er Jahre macht sich hier mit ihren Nachteilen eklatant bemerkbar. Was speziell für die Verwirklichung eines nachhaltigen Artenschutzes nötig wäre, ist ein umfassender integrierter Umweltschutz, der nach umweltpolitischer Abwägung dem Menschen und ebenso den Pflanzen und Tieren die Existenzmöglichkeit sichert und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes gewährleistet. Dieser integrierte Umweltschutz muß den Schutz des Bodens als eines der drei Medien unserer Umwelt umfassen.

Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung vom 6. 2. 1985 faßt den Bodenschutz als eine Querschnittsaufgabe des Umweltschutzes auf und strebt eine Integration aller den Boden betreffenden Umweltschutzmaßnahmen an; dabei wird der Biotopschutz als unverzichtbare Voraussetzung für Artenschutz als eine wesentliche Aufgabe begriffen.

Allerdings schimmert bei der Bodenschutzkonzeption die alte mediale Betrachtung noch durch: neben Wasser- und Luftreinhaltung tritt nun die Bodenreinhaltung. Es besteht die Gefahr, daß zukünftig Wassergütepoltik, Luftreinhaltungspolitik und Bodenschutzpolitik nebeneinander betrieben werden, während wir dringend einer integrierenden Umweltschutzpolitik bedürfen, die den Schutz des Menschen vor Gefahren aus der Umwelt und den Schutz der Umwelt, speziell auch der Pflanzen- und Tierwelt, vor dem Menschen als gleichberechtigte Anliegen behandelt.

Für das zentrale ökologische Anliegen eines nachhaltigen Artenschutzes ergeben sich folgende Anforderungen an den Bodenschutz:

Artenschutzmaßnahmen müssen im Kern immer Biotopschutzmaßnahmen sein, die den Lebensraum der Arten sichern. Diese Biotopschutzmaßnahmen können nur zu einem kleineren Teil im Sinne des klassischen Naturschutzes erfolgen, indem Naturschutzgebiete geschaffen und vor menschlicher Einflußnahme geschützt werden. Viele Arten-

schutzmaßnahmen müssen in anthropogen geprägten Lebensräumen, insbesondere in durch extensive Landwirtschaft entstandenen Biotopen ergriffen werden, wo Pflege- bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen unverzichtbar sind. Diese Maßnahmen betreffen vor allem den Schutz und die Pflege des Bodens bzw. der biototypischen Bodeneigenschaften. Eine andere Gruppe von Artenschutzmaßnahmen umfaßt die Wiederherstellung von durch menschliche Eingriffe geschädigten Biotopen; die Rückgängigmachung von Meliorationen betrifft in erster Linie wieder Bodeneigenschaften, z. B. bei der Wiederherstellung eines hohen Wassergehaltes in ehemaligen Feuchtgebieten.

Artenschutz kann nicht ausschließlich in abgegrenzten Arealen erfolgen, sondern muß großräumig, möglichst sogar flächendeckend erfolgen. Das Modell Biotopverbundsystem (siehe: Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltprobleme der Landwirtschaft 1985, S. 308 ff.) zielt auf eine Durchdringung der landwirtschaftlichen Nutzflächen mit Landschaftselementen, die als Lebensraum für wildlebende Pflanzen- und Tierarten geeignet sind. Allerdings ist eine Voraussetzung für wirksamen Biotop- und Artenschutz im ländlichen Raum eine umweltverträgliche Landwirtschaft, die im Rahmen des Möglichen die Emissionen von Pflanzenschutzmitteln und Düngestoffen von den Kulturlächen minimiert. Der Idealfall wäre hier, wie in anderen Umweltbereichen auch, die Null-Emission. Eine Zielvorstellung für die Zukunft ist eine umweltverträgliche integrierte Pflanzen- und Tierproduktion.

Alle genannten Maßnahmen können nur erfolgreich sein, wenn es im Rahmen eines umfassenden, integrierten Umweltschutzes gelingt, die gegenwärtigen hohen Immissionen von Luftschadstoffen nachhaltig zu senken. Ohne umfassenden Immissionsschutz bleiben viele rein flächen- und raumorientierte Schutzmaßnahmen wirkungslos.

## Literatur

- ALTNER, G. (1985): Ethische Begründung des Artenschutzes. — Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Heft 46, 566—568.
- BLAB, J., NOWAK, E., TRAUTMANN, W., SUKOPP, H. (1984): Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland 4. Aufl. — Naturschutz aktuell Nr. 1 — Greven (Kilda).
- Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung (Bundestags-Drucksache 10/2977 vom 7. März 1985. Hrsg. Bundesminister des Inneren). — Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz (Kohlhammer).
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1985): Umweltprobleme der Landwirtschaft. — Stuttgart, Mainz (Kohlhammer).
- Deutscher Rat für Landespflege (Hrsg.) (1985): Warum Artenschutz? — Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Heft 46, 537—651. — Bonn.
- DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) Arbeitsgruppe Phytomedizin (1985): Herbizid-Forschung. — Mitt. XIV d. Komm. f. Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel, 1—62. Weinheim (VCH).
- ELLENBERG, Hermann (1983): Gefährdung wildlebender Pflanzenarten in der Bundesrepublik Deutschland; Versuch einer ökologischen Betrachtung. — Forstarchiv 54 (4), 127—133. — Hannover (Schaper).
- ELLENBERG, Hermann (1985): Veränderungen der Flora Mitteleuropas unter dem Einfluß von Düngung und Immissionen. — Schweiz Z. Forstwes. 136 (1), 19—39.
- HABER, W. (1985): Warum ist Artenschutz notwendig? — Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Heft 46, 569—571.
- KOWARIK, J. & SUKOPP, H. (1984): Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Bodenvegetation von Wäldern, Heiden und Mooren. — Allgem. Forst Zeitschrift 39 (12) 292—293.
- SUKOPP, H., TRAUTMANN, W. & KORNECK, D. (1978): Auswertung der Roten Liste gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen in der Bundesrepublik Deutschland für den Arten- und Biotopschutz. — Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft 12, 1—138. — Bonn (BFANL).



Der Eingriff des Tagebaues im Südevrie des Rheinischen Braunkohlenggebietes ist hier durch die Anlage von Restseen und ökologisch wertvollen Feuchtgebieten ausgeglichen worden.

Foto: G. Olschow

## Stoffliche Belastung des Bodens über die Atmosphäre

Das Thema Bodenschutz verführt sehr zu Betrachtungen über Sünden der Vergangenheit. Ich möchte dabei auf die graue Vorzeit vor Aufkommen des Umweltschutzes gar nicht näher eingehen, hier reicht die Feststellung, daß große Sorglosigkeit beim Umgang mit Stoffen aller Art gepaart mit ebensogroßer Vertrauensseligkeit in die unbegrenzten Selbstreinigungskräfte der Natur vorherrschten. Gerade dem Boden hat man in dieser Hinsicht schier wundersame Fähigkeiten zugesprochen. Doch auch die Herausbildung eines Bewußtseins für den Schutz der Umwelt und Natur hat sich leider keineswegs bereits als ein Garant für die Einleitung optimaler Problemlösungen herausgestellt. Vielmehr kam es in der ersten Phase des Umweltschutzes durchaus zu Fehlsteuerungen, wobei z. B. der Versuch, lokale Probleme durch hinreichende Verdünnung zu lösen, zu nennen ist. Hätte man frühzeitig Emissionen abgeschieden anstatt hohe Schornsteine zu bauen, dann wäre uns wohl vieles an Waldschäden erspart geblieben. Die Frage, ob ohne einen wie heute gegebenen Problemdruck eine entsprechende Abscheidung allerdings durchsetzbar gewesen wäre, möchte ich aber offenlassen.

Eine weitere Fehlsteuerung könnte man als mediales St.-Florians-Prinzip bezeichnen, hierunter ist eine Situation zu verstehen, in der die Luftreinhalter die Luft, die Wasserreinhalter das Wasser rein halten, die Abwasserbeseitiger Abfall beseitigen etc. und jeder bei dieser Tätigkeit die bei ihm unerwünschten Stoffe dem anderen Medium übereignet, so daß sich ein ausgeklügeltes System der Problemverschiebungen entwickelt.

Unter beiden Fehlsteuerungen hat der Boden besonders gelitten, insbesondere auch über den atmosphärischen Eintragspfad. Begünstigt wurde dies einerseits durch eine fehlende oder nur schwache Lobby und durch den Umstand, daß der Boden außer dem Grundwasser keine Unterlieger hat, wohin man weitere Verlagerungen leicht hätte vornehmen können.

Es gibt den Grundsatz 'What goes up must go down', der zwar nicht für alle, aber die meisten Stoffe gilt. Um hier nicht die gesamte Palette aller emittierten Stoffe abhandeln zu müssen, möchte ich mich auf zwei Stoffgruppen konzentrieren, die im Hinblick auf den Bodenschutz tatsächlich wehtun. Das sind einerseits die nicht oder nur schwer abbaubaren, persistenten Stoffe und andererseits die Stoffe, die die Versauerung insbesondere der Waldböden bewirken.

Bei den persistenten Stoffen ist zu unterscheiden zwischen anorganischen, hauptsächlich Schwermetallen, und organischen Stoffen, überwiegend hochchlorierte Verbindungen. Sowohl zu den organischen wie zu den anorganischen persistenten Stoffen sind in den Tab. 1 und 2 einige Beispiele mit Angaben zu den Mengen und zum Verwendungszweck zusammengestellt.

Während die organischen Stoffe überwiegend gezielt synthetisiert und produziert wurden und jetzt nur am falschen Platz, nämlich weit verteilt in der Umwelt sind, stellen die Schwermetalle mit Ausnahme von Pb aus dem Kfz-Verkehr unerwünschte Begleitstoffe dar, die bei Verbrennungs- oder

Bodenrelevante Schwermetalle

Stoff	Produktion	Verbrauch	Verwendung	Emission (Luft)
Pb	330 000 t/a Pb-tetraethyl/methyl 4 500 t/a (als Pb)		Akkumulatoren, Kabelummantelung, Antiklopfmittel	5 600 t/a
Cd	1 800 t/a	1 500 t/a	Korrosionsschutz, Pigmente, Batterien, Kunststoffstabilisator	100 t/a
As	250 t/a	1 000 t/a	Legierungen, Glas	
Ni	—	36 000 t/a	Korrosionsschutz, Batterien, Katalysatoren, Legierungen	600 t/a
Cu	580 000 t/a	987 000 t/a	Breites Einsatzspektrum: Elektroindustrie, Legierungen, Gebrauchsgegenstände ...	5 000 t/a
Hg	350 t/a	680 t/a	Batterien, Chemikalien, Zahnmedizin, Leuchtstofflampen	120 t/a

### Persistente organ. Verbindungen

Bezeichnung	Produktion	Verbrauch	Verwendung
Pentachlorphenol (PCP)	3 270 t/a (1982)	334 t/a (1982)	Holz- und Bautenschutz
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	7 400 t/a (1980) 1983 Produktion eingestellt	2 710 t/a (1980) ca. 1 000 (1984)	Dielektricum in Kondensatoren und Trafos Hydrauliköl (Bergbau)
Hexachlor-cyclohexan (HCH)	8 000 t/a davon 1 200 t/a = HCH (Lindan)	Lindan 150 bis 250 t/a	HCH heute: Weiterverarbeitung früher: auf Halde Lindan: Insektizid
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD; Beispiel TCDD)	keine, entstehen ungewollt bei Verbrennung und chem. Umsetzung Cl-haltige Stoffe		
Hexachlorbenzol (HCB)	4 000 t/a (1980)		heute überwiegend Weiterverarbeitung

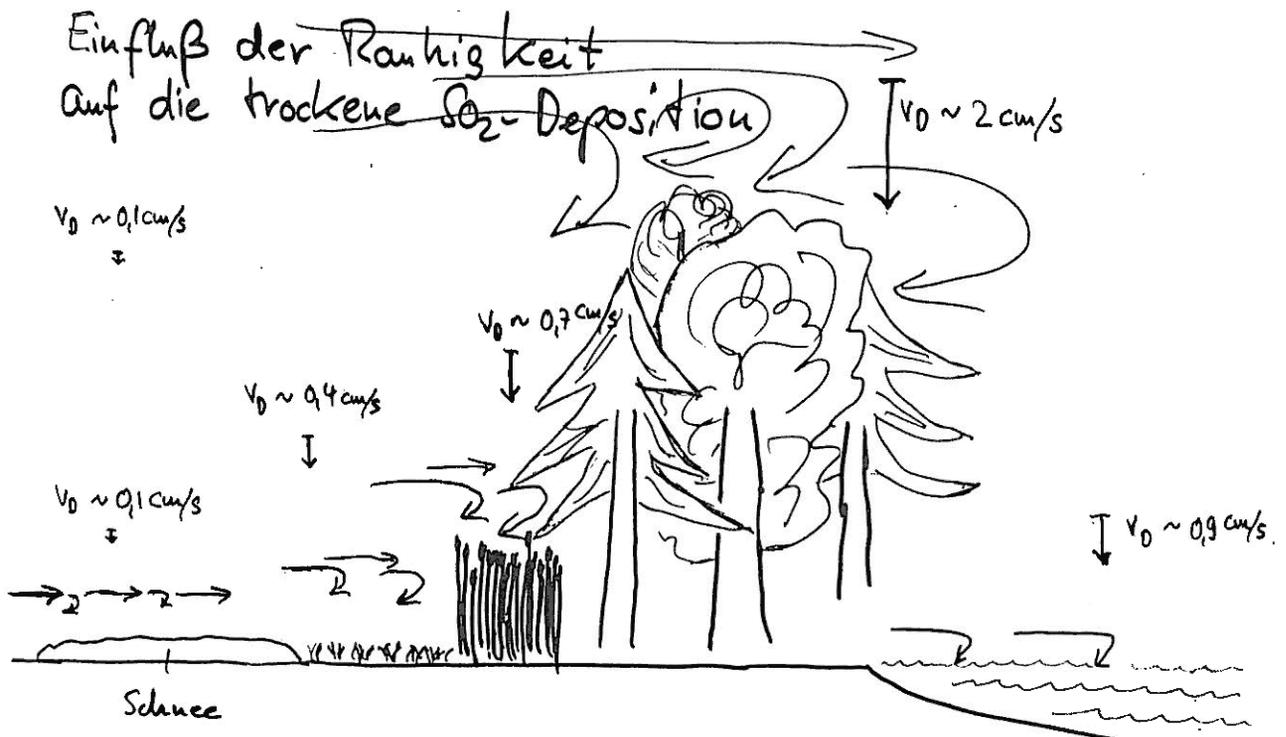
metallurgischen Prozessen ohne direkte Absicht in die Umwelt gelangt sind.

Die hauptsächlich mit dem Niederschlag in die Böden eingetragenen Säuren sind im wesentlichen Schwefelsäure und Salpetersäure, die atmosphärischen Folgeprodukte der bei Verbrennungsprozessen emittierten Schadstoffe  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$ . Beide entstammen hauptsächlich Verbrennungsprozessen,  $\text{SO}_2$  überwiegend aus Kraftwerken,  $\text{NO}_x$  sowohl aus Kraftwerken als auch aus dem Kfz-Verkehr.

Bevor ich auf die eingetragenen Stoffmengen zu sprechen komme, möchte ich Ihnen noch kurz die wichtigsten Mechanismen der Ablagerung erläutern. Dies ist wichtig für das

Verständnis der erheblichen Schwankungsbreiten bei der Stoffablagerung.

Die trockene Deposition von Gasen kommt dadurch zustande, daß diese Gase bei Kontakt mit Oberflächen dort haften bleiben. Dadurch, daß an der Oberfläche stets etwas „geschluckt“ wird, die Konzentration also dort sehr klein ist, bildet sich ein Konzentrationsgefälle aus, das seinerseits einen ständigen Massenstrom in Richtung auf die Oberfläche bewirkt. Dieser Strom läßt sich durch eine Depositionsgeschwindigkeit charakterisieren, die natürlich einerseits stoffspezifisch ist, andererseits aber auch noch stark von der Art der Oberfläche abhängt. Je größer deren Rauigkeit,



desto stärker werden Turbulenzen ausgelöst und desto größer wird auch die Depositionsgeschwindigkeit.

Bei Partikeln kommt als wichtige Größe der Teilchendurchmesser hinzu, bei Teilchen größer als  $10\mu\text{m}$  gewinnt die Sedimentation aufgrund der Schwerkraft rasch an Bedeutung, der grobe Staub setzt sich ab.

Sowohl wasserlösliche Gase als auch Aerosole werden mit dem Niederschlag relativ effektiv abgeschieden. Hier ist zwischen dem rain out, bei dem die abzuscheidenden Stoffe noch in der Wolke von den Tröpfchen aufgenommen werden, und dem wash-out zu unterscheiden, bei letzterem erfolgt die Stoffaufnahme während des Herabfallens des Tropfens. Außer bei Schnee kommt dem rain out das weitaus größere Gewicht zu.

Besondere Verhältnisse sind bei den Wäldern gegeben: die große Blatt- bzw. Nadeloberfläche bewirkt zusammen mit der hohen Rauigkeit eine starke trockene Deposition, die durchstreifende Luft wird von Schadstoffen sozusagen ausgekämmt. Diese Stoffe können dann auf Blättern und Nadeln Wirkungen zeigen, aber auch beim nächsten Niederschlagsereignis mit Kronentraufe oder Stammabfluß dem Boden zugeführt werden.

Die geschilderten Prozesse, die sich bei genauerem Hinsehen noch weiter differenzieren, spielen sich mit unterschiedlicher Gewichtung gleichzeitig oder nacheinander ab und sind, wie erwähnt, zusammen natürlich auch mit der unterschiedlichen Schadstoffbelastung für die große Variationsbreite des Stoffeintrags in den Boden verantwortlich.

Ich möchte nun versuchen, Ihnen eine Vorstellung über die dabei zugeführten Mengen zu vermitteln. Dazu möchte ich Ihnen einerseits die Variationsbreite des Eintrags und an-

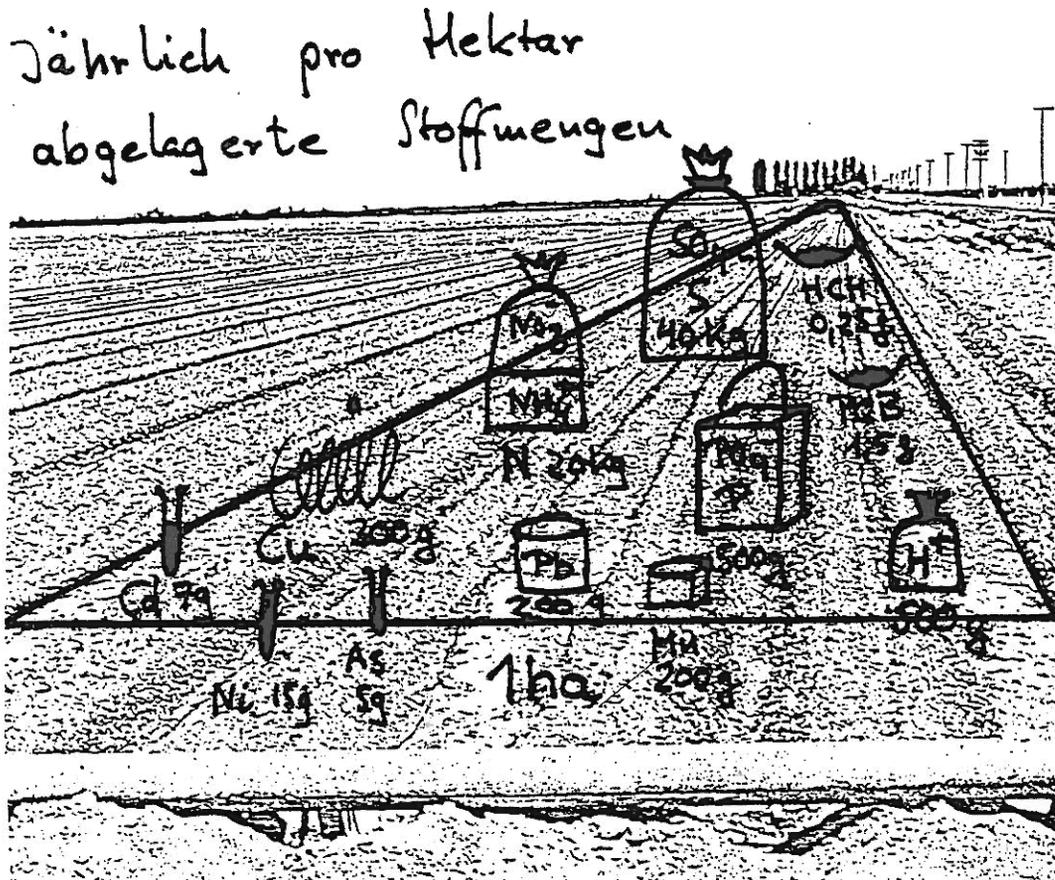
### Depositionsraten

Stoff	mittl. Deposit. (ländl. Gebiete)	Spannweite
	kg/ha · a	kg/ha · a
Sulfatschwefel ( $\text{SO}_4 - \text{S}$ )	40	20—140
Nitratstickstoff ( $\text{NO}_3 - \text{N}$ )	10	4— 50
Ammoniumstickstoff ( $\text{NH}_4 - \text{N}$ )	10	5— 20
$\text{H}^+ - \text{Ionen}$	0,5	0,1— 3,3
	g/ha · a	g/ha · a
Blei	200	100—1000
Cadmium	7	2— 50
Nickel	15	10— 300

dererseits eine Art typischen Wert für die wichtigsten Komponenten angeben. Beides kann nicht von subjektiven Bewertungen getrennt werden und soll lediglich die Größenordnungen aufzeigen. Die „typischen“ Werte gelten für ländliche Gebiete für Freiland (also außerhalb von Wäldern).

Nachdem Sie nunmehr im Besitz dieser wie gesagt etwas willkürlichen Zahlen sind, bleibt die Frage: Und ist das Ganze jetzt schlimm, und wenn ja, wie schlimm?

Die meisten Schwermetalle sind im Boden relativ wenig mobil und werden von Pflanzen auch nicht sehr stark aufge-



nommen, so daß ein unmittelbar akutes Problem nicht besteht. Sie reichern sich aber unentwegt an, und da wir den Boden nicht einfach austauschen können, ist unsere Verantwortung für den Zustand, in dem wir die Erde für zukünftige Generationen hinterlassen, angesprochen. Eine Ausnahme hierzu bildet Cadmium, das einerseits z. B. über Klärschlamm in größeren Mengen in die Umwelt und dabei in die Nahrungsmittelproduktion gelangt ist, sich mobil und gut pflanzenverfügbar zeigt und sich andererseits sehr gezielt in einzelnen Organen, hauptsächlich den Nieren, anreichert.

Dies hat ja auch schon zu verschiedenen Warnungen und der Empfehlung des BGA geführt, den Verzehr von Nieren einzuschränken.

Bei den organischen persistenten Stoffen haben wir es zu einem großen Teil mit Altlasten zu tun, die Produktion der meisten von ihnen ist bei uns eingestellt oder aber die Anwendung eng begrenzt. Die Mengen im Boden sind meist zwar nur äußerst gering, ihre Bedeutung erhalten diese Stoffe durch eine vielfach gewaltige Anreicherung in der Nahrungskette, z. B. im Fettgewebe. Nachdem die Nachschublinien weitgehend abgeschnitten sind, kann man im Lauf der Zeit mit einer Verbesserung der Lage nach Maßgabe des allmählichen Abbaus rechnen, fürs erste dürfte allerdings die Auffindung weiterer Altlasten dominieren.

Das akute und derzeit brennendste Problem stellt nach meiner Einschätzung die Versauerung insbesondere der nicht kompensatorisch gedüngten Waldböden dar. Unabhängig davon, ob die zukünftige Waldschadens-Ursachendiskussion die saueren Niederschläge zum Haupttäter oder zum Gehilfen beim Waldmord erklärt ist festzuhalten, daß eine ganz signifikante Bodenversauerung während der letzten 20 Jahre eingetreten ist, die Nährstoffversorgung in Waldböden ohnehin vielfach schon schlecht war und sich oft erheblich weiter verschlechtert hat, so daß Mangelerscheinungen an vielen Standorten außer Frage stehen. Selbst wenn sich zur allgemeinen Verblüffung herausstellen sollte, daß irgendwelche sonstigen Einflüsse — Viren, irgendwelche

Strahlungen, verrückte Chemikalien oder was auch immer — für die heutigen Waldschäden verantwortlich sind, so wäre bei unverändert anwachsender Bodenversauerung dann eben zu einem späteren Zeitpunkt mit Schäden und letztlich Zusammenbrüchen von Ökosystemen zu rechnen.

Zum Schluß möchte ich noch auf die gegen diese Belastungen eingeleiteten Maßnahmen zu sprechen kommen. Bei den persistenten organischen Stoffen wurden, wie bereits erwähnt, entweder totale Produktions- oder Verwendungsverbote ausgesprochen oder aber die Anwendung eng auf solche Bereiche beschränkt, wo noch keine geeigneten Substitute verfügbar sind.

Was die Schwermetalle anbetrifft, so wird die neue TA Luft weitere Entlastung bringen, hier ist allerdings abzuwarten, welche Einigung zwischen BMI und den Ländern erzielt werden wird. Entscheidend ist bei dieser Regelung, daß die Altanlagen innerhalb gewisser Fristen auf den Stand der Technik gebracht werden müssen. Das hat es früher nur mit erheblichen Abstrichen gegeben und ist ein Grund dafür, daß heute noch die wesentlichsten Belastungen von Altanlagen ausgehen.

Die Großfeuerungsanlagen-Verordnung beschränkt die Emission von  $\text{SO}_2$ , wie es nach dem Stand der Technik möglich ist, d. h. es wird praktisch die Rauchgasentschwefelung vorgeschrieben. Hier mag man allenfalls noch über Übergangsfristen und Schwellenwerte der Kraftwerksgröße für die Grenzwertregelungen streiten, aber im Prinzip ist das Thema  $\text{SO}_2$  in diesem Hauptbereich ausgereizt. Ähnliches gilt auch für das Heizöl, wo der maximale Schwefelgehalt von 0,3 auf 0,15 % halbiert wurde.

Auch für das  $\text{NO}_x$  aus Kraftwerken gilt Analoges wie für  $\text{SO}_2$ , etwas ungünstiger sieht es leider im Bereich des Kfz-Verkehrs aus. Die innerhalb der EG erzielten Vereinbarungen sind Ihnen wohl bekannt, ich möchte darauf nicht näher eingehen. Als Umweltschützer hätte man sich mehr erhofft, aber innerhalb der gegebenen Randbedingung war das offensichtlich nicht erreichbar.



Blick in einen Tagebauaufschluß im Norden des Rheinischen Braunkohlengebietes. Im Hintergrund ein Großkraftwerk auf Braunkohlenbasis und eine Brikettfabrik. Foto: G. Olschowy

## Belastungen des Bodens und der Pflanzen mit Schwermetallen — Untersuchungsergebnisse aus Nordrhein-Westfalen

### 1 Einführung

Als besonders kritisch für unsere Böden gelten wegen der Gefahr von Anreicherungen neben verschiedenen schwer abbaubaren organischen Schadstoffen vor allem die Schwermetalle. Einige dieser Elemente, wie Zink und Kupfer, sind in geringen Konzentrationen lebensnotwendig für Pflanze, Tier und Mensch. Andere, wie Blei, Cadmium und Quecksilber, gelten als nicht essentiell. Starke Schwermetallanreicherungen in Böden können Störungen des Bodenlebens und des Pflanzenwachstums hervorrufen, insbesondere aber bereits bei nur gering erhöhten Gehalten, etwa von Cadmium, eine verstärkte Aufnahme in die Pflanzen bewirken. Sie gelangen damit in die Nahrungskette. Neben akut toxischen Wirkungen sehr hoher kurzzeitiger Aufnahmemengen sind bei Tier und Mensch vor allem chronische Schädigungen durch Langzeitanreicherungen zu befürchten.

An Schwermetallen ist überall eine gewisse Grundbelastung vorhanden, die teils naturbedingt in den Böden vorkommt und teils aus dem Eintrag von örtlichem Straßenverkehr, Hausbrand, der Düngung und dem Ferntransport von Immissionen resultiert. Im Einflußbereich bestimmter Belastungsursachen können örtlich jedoch darüber hinaus erhebliche Anreicherungen vorkommen. Dieses gilt insbesondere für Immissions-, Erzabbau- und Überschwemmungsgebiete sowie Klärschlamm- und sonstige Ablagerungsflächen. Die Wirkungswege zu Boden und Pflanze zeigt die Abb. 1. Darin ist gleichzeitig der Betrachtungsgegenstand der meinen nachfolgenden Ausführungen zugrunde liegenden Untersuchung besonders gekennzeichnet.

Die Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung führte in der Zeit von 1979 bis 1983 im Auftrag des Ministers für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NW ein landesweites Untersuchungsprogramm durch. Die punktuellen — sich in erster Linie auf Problemgebiete beschränkenden — Untersuchungen hatten einerseits eine Bestandsaufnahme der Belastung von Böden und Nutzpflanzen sowie andererseits die Ermittlung der Beziehungen zwischen Belastungsursache, Boden und Pflanze zum Ziel.

Dem Untersuchungsprogramm liegen Ergebnisse von etwa 1 000 Boden- und 2 000 Pflanzenproben über die Gesamtgehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink zugrunde. Zusätzlich wurden bei den nach den Vorschriften der Klärschlammverordnung entnommenen und untersuchten Bodenproben die Bodenparameter pH-Wert, Tongehalt und organische Substanz bestimmt sowie die Untersuchungsstandorte nach vorrangigen Belastungsursachen gekennzeichnet. Die Schwermetallanalysen führten die landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten Bonn und Münster durch. Weitergehende Angaben zu den Untersuchungsflächen und -verfahren enthält die Arbeit von KÖNIG und KRÄMER (1985).

Die Untersuchungsorte sind in der Abb. 2 (S. 44) dargestellt. Schwerpunkte sind das Rhein-Ruhr-Industriegebiet, die Überschwemmungsgebiete von Rhein und Nebenflüssen, Klärschlammflächen im Lippe-, Ruhr-, Erft- und Niersver-

bandsgebiet sowie verschiedene ehemalige Erzabbaugebiete. Weiterhin wurden Flächen im Nahbereich verschiedener Autobahnen und Kontrollflächen außerhalb des Einflußbereichs der vorgenannten Belastungsursachen (Bereiche der Grundbelastung) erfaßt.

### 2 Ursachenbezogene Differenzierung der Bodenschwermetallgehalte

Den Bodenschwermetallgehalten in diesen Bereichen der Grundbelastung werden nachfolgend diejenigen der Flächen im Einflußbereich der verschiedenen Belastungsursachen gegenübergestellt. In Abb. 3 (S. 45) sind hierzu für die jeweiligen Elemente das Niveau der Grundbelastung sowie die Anhebungen der verschiedenen Belastungsursachen von mehr als 50 % angegeben. Dieses trifft für Nickel in keinem Fall zu.

Auf Klärschlammflächen heben sich um mehr als 50 % nur die Elemente Chrom und Kupfer, und zwar um 150 bzw. 75 % gegenüber der Grundbelastung ab. Die starke Anhebung beim Chrom resultiert in erster Linie von Flächen in der Um-

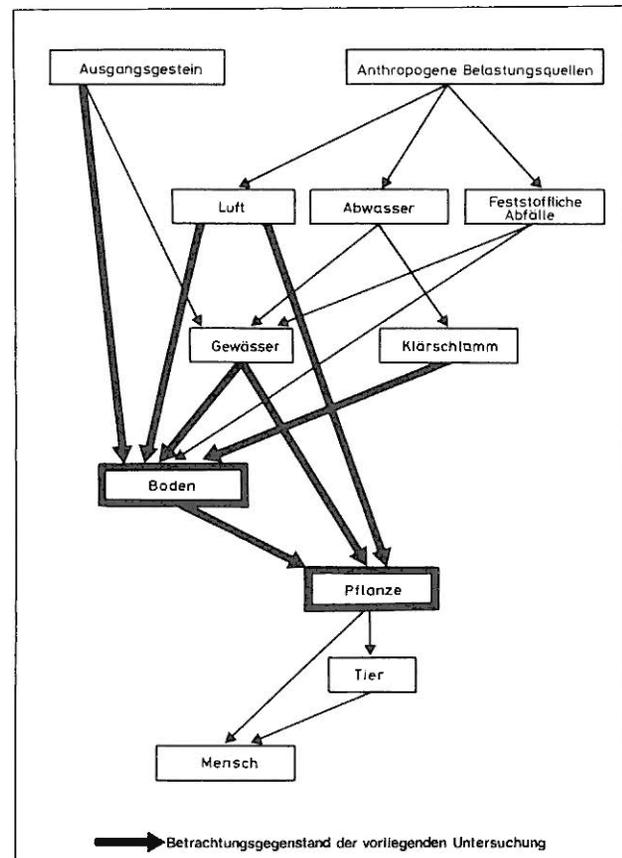


Abb. 1: Vorrangige Wirkungswege der Schwermetalle

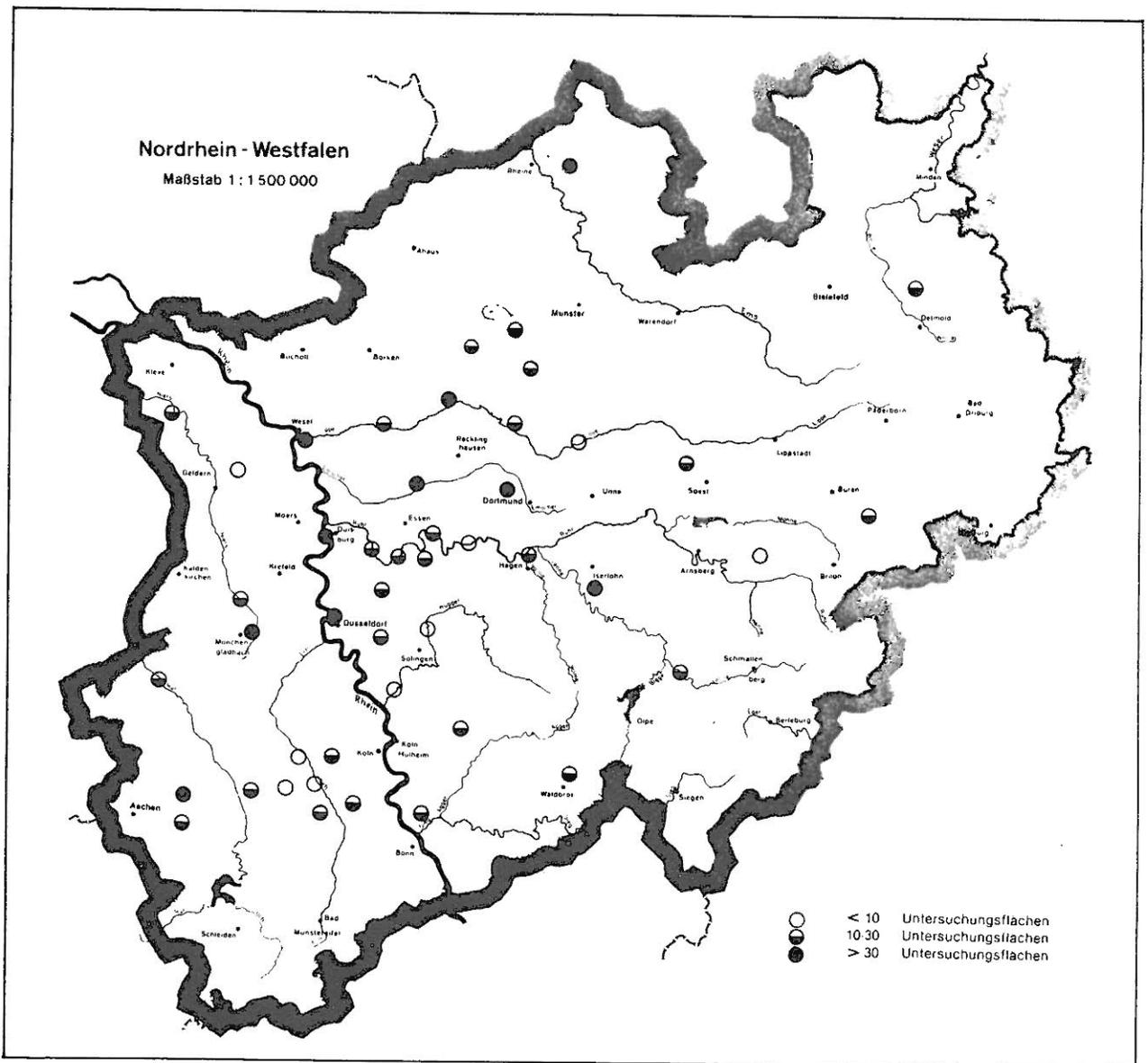


Abb. 2: Untersuchungsorte des Schwermetallprogramms

gebung einer bestimmten Kläranlage mit 13 Bodenproben von durchschnittlich 216 ppm Cr gegenüber etwa 30 ppm im Bereich der Grundbelastung. Demgegenüber scheinen relativ höhere Kupfergehalte im Klärschlamm verbreiteter zu sein. Bei Zink zeigt sich zwar auch ein gesicherter Unterschied zur Grundbelastung, wegen des geringen Ausmaßes (20 %) wurde es jedoch nicht in die Darstellung aufgenommen.

Gegenüber den Kontrollflächen treten in den Böden innerhalb des Rhein-Ruhr-Immissionsgebietes signifikante Anhebungen bei den Elementen Zink, Cadmium und Blei auf, und zwar um 100 % bei Zink und je 80 % bei den beiden anderen Schwermetallen. Eine Anhebung um ebenfalls 80 % ist auch bei Kupfer festzustellen, allerdings läßt sich der Unterschied zur Grundbelastung nicht statistisch absichern. Die Gehalte der Schwermetalle Chrom, Nickel und Quecksilber der Böden im Rhein-Ruhr-Gebiet unterscheiden sich nicht oder nur in geringem Maße von denen der Flächen im Bereich der Grundbelastung.

Mit Ausnahme von Nickel weisen auf den Überschwemmungsflächen alle untersuchten Schwermetalle Anhebun-

gen von mehr als 50 % gegenüber der Grundbelastung auf. Das Ausmaß der Anhebungen reicht von Chrom mit 100 % bis zu Quecksilber mit 320 %. Quecksilber, Kupfer und Zink liegen generell, Cadmium und Chrom nur auf Grünlandflächen gesichert über der Grundbelastung. Dagegen weist Blei wegen zu großer Streuungen trotz einer Anhebung von etwa 200 % keine signifikanten Unterschiede auf.

Die relativ stärksten Anhebungen zeigen die Erzabbaugebiete bei den Elementen Blei, Zink und Cadmium, bei den beiden erstgenannten Elementen mit gesichertem Unterschied zur Grundbelastung. Die Bleigehalte liegen hier um 1530, die Zinkgehalte um 420 und die Cadmiumgehalte um 380 % über denen der Flächen im Bereich der Grundbelastung. Die anderen Elemente haben keine Anhebungen von über 50 % bewirkt. Kupfer und Quecksilber treten in bestimmten Erzabbaugebieten in geringerem Maße erhöht auf, während bei Chrom und Nickel in den untersuchten Erzabbaugebieten kein erkennbarer Unterschied zur Grundbelastung vorliegt.

Bei der Beurteilung des Gefährdungspotentials der einzelnen Schwermetalle im Boden ist zusätzlich neben dem Einfluß der Belastungsursachen auch das jeweilige Gehaltsni-

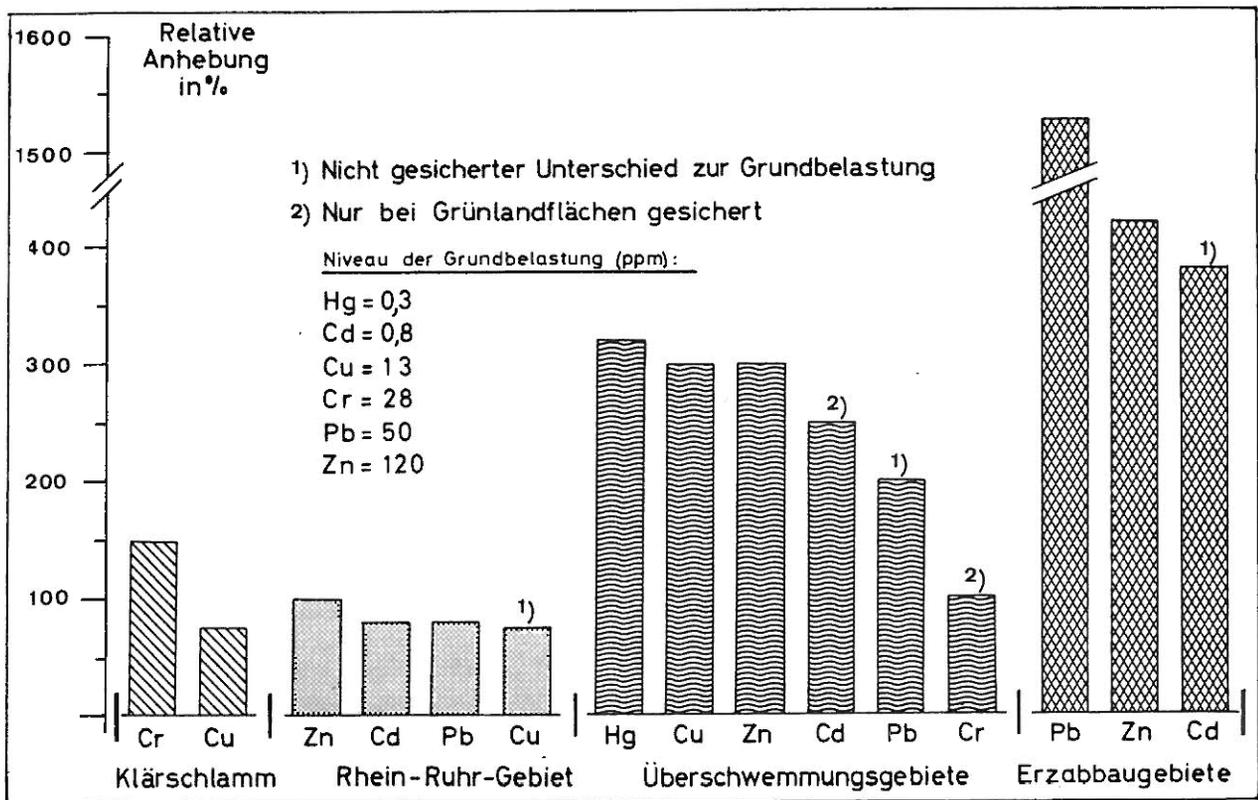


Abb. 3: Relative Anhebung der Boden-Schwermetallgehalte von mehr als 50 % gegenüber der Grundbelastung

veau zu sehen. Als Orientierung dazu können die Grenzwerte der Klärschlammverordnung herangezogen werden (Tab. 1). Die Gegenüberstellung zeigt, daß der Anteil der Überschreitungen der Grenzwerte bei Quecksilber am geringsten, bei Nickel, Chrom und Kupfer etwa doppelt so hoch und bei Cadmium etwa dreimal so hoch ist. Gemessen an diesen Grenzwerten kommt den Schwermetallen Blei und Zink in Böden die größte Bedeutung zu, da der Anteil der Überschreitungen gegenüber Quecksilber sechs- bzw. fünfmal so hoch ist.

Tab. 1: Überschreitungshäufigkeit der Bodengrenzwerte

	Hg	Ni	Cr	Cu	Cd	Zn	Pb
Grenzwert (AbfKlärV)	2	50	100	100	3	300	100
Rel. Anteil d. Überschreitung (Hg = 1)	1	2	2	2	3	5	6

### 3 Pflanzenschwermetallgehalte und deren Einflußfaktoren

Beim Aufwuchs zeigten sich z. T. erhebliche Unterschiede in den Schwermetallgehalten verschiedener Pflanzenarten und -teile (Abb. 4—6) in ähnlichen Relationen, wie sie auch schon in anderen Untersuchungen ermittelt wurden (KLOCKE, 1980; BRÜNE, 1982; HERMS, SCHEFFER und BARTELS, 1984). Während diese beim Cadmium in erster Linie auf ein unterschiedliches Aneignungsvermögen aus dem Boden zurückzuführen sein dürften, ist beim Blei wahrscheinlich

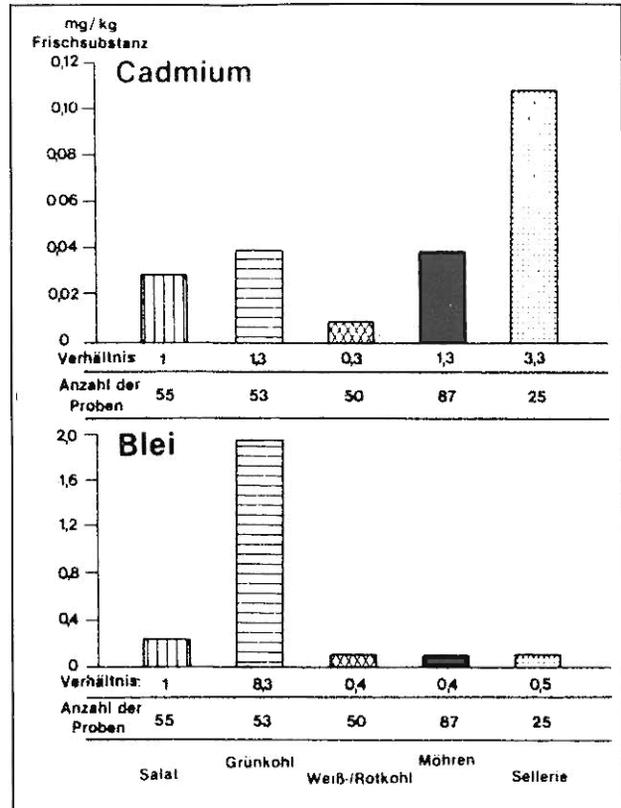


Abb. 4: Schwermetallgehalte verschiedener Gemüsearten der im Untersuchungsprogramm erfaßten Proben

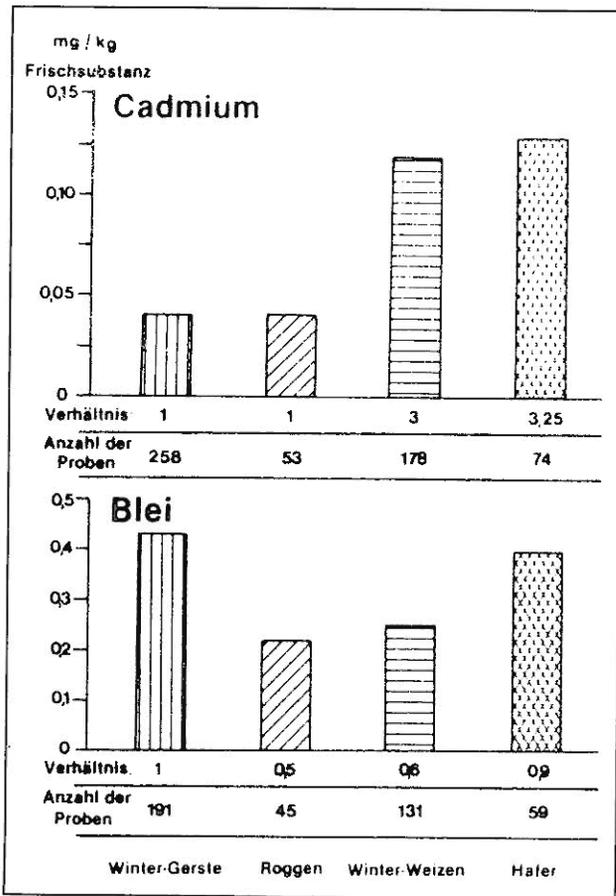


Abb. 5: Schwermetallgehalte verschiedener Getreidearten der im Untersuchungsprogramm erfaßten Proben

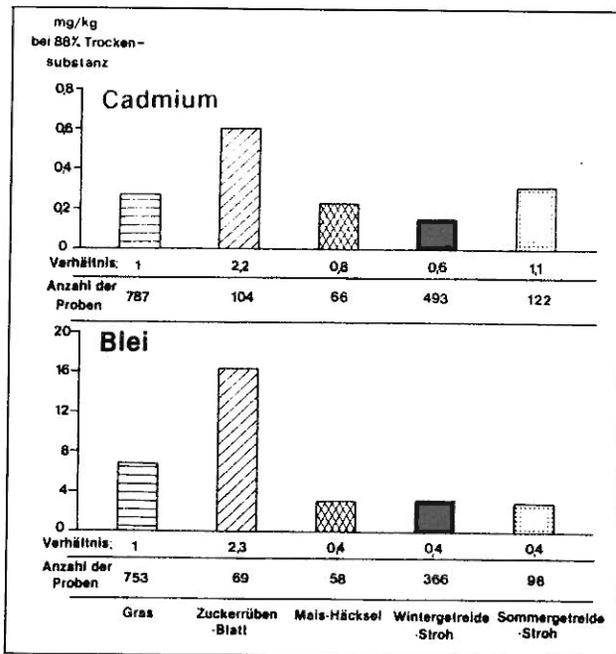


Abb. 6: Schwermetallgehalte verschiedener Futterpflanzen der im Untersuchungsprogramm erfaßten Proben

mehr das unterschiedliche Anlagerungsvermögen der verschiedenen Pflanzenorgane sowie deren Oberflächengröße und -struktur als Ursache anzusehen.

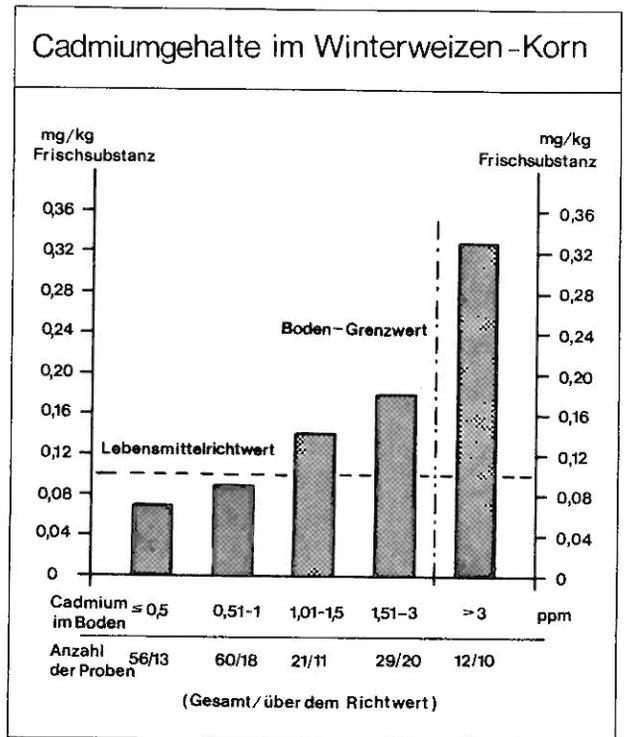


Abb. 7: Beziehung zwischen den Cadmiumgehalten im Boden und im Winterweizen-Korn

Die unterschiedliche Bedeutung der Wirkungswege Boden/Pflanze und Luft/Pflanze bestätigt sich auch in einer statistischen Prüfung der Einflußfaktoren für die Schwermetallgehalte der Pflanzen (KÖNIG, 1985). Die Schwermetallaufnahme aus dem Boden läßt sich danach in die folgende Rangfolge der einzelnen Elemente ordnen:

$$Cd \approx Zn > Ni \approx Cu > Pb > Cr > Hg$$

Eine ähnliche Gruppierung der Schwermetalle nach Transferfaktoren hat SAUERBECK (1984) vorgenommen. In Abb. 7 ist der Zusammenhang zwischen den Cadmiumgehalten in Boden und Weizen als Beispiel für eine signifikante Beziehung dargestellt. Dabei wird zusätzlich eine Diskrepanz zwischen dem Bodengrenzwert und dem Lebensmittelrichtwert des Bundesgesundheitsamtes (KÄFERSTEIN u. a., 1979) insofern deutlich, als daß der Pflanzenrichtwert erheblich früher als der Bodengrenzwert erreicht wird.

Bei Cadmium — und ähnlich auch bei Zink — ist zusätzlich der pH-Wert des Bodens für die Aufnahme in die Pflanzen von Bedeutung (Abb. 8, S. 47). Mit steigendem pH-Wert verringert sich die Verfügbarkeit des Cadmiums im Boden, womit die Aufnahme in die Pflanzen sinkt. Allerdings sind die Unterschiede der pH-Werte der im Untersuchungsprogramm erfaßten Bodenproben nicht sehr groß (Abb. 9, S. 47). Die Mehrzahl der Proben liegt um den Neutralpunkt oder leicht darunter. PH-Werte unter 4, wie sie in Waldböden häufig auftreten, wurden bei den untersuchten landwirtschaftlichen Flächen und Gärten nur in Einzelfällen festgestellt. Gegenüber dem pH-Wert haben sich Tongehalt und organische Substanz der Böden nur als schwache Faktoren erwiesen.

Vor allem beim Blei wurde teilweise ein starker Immissions-einfluß festgestellt, wie die Abb. 10 (S. 47) durch einen Vergleich beim Grünlandaufwuchs aus Immissions-, Überschwemmungs- und Erzabbaugebieten zeigt. Generell besteht zwischen den drei hier gezeigten Bleibodengehalts-

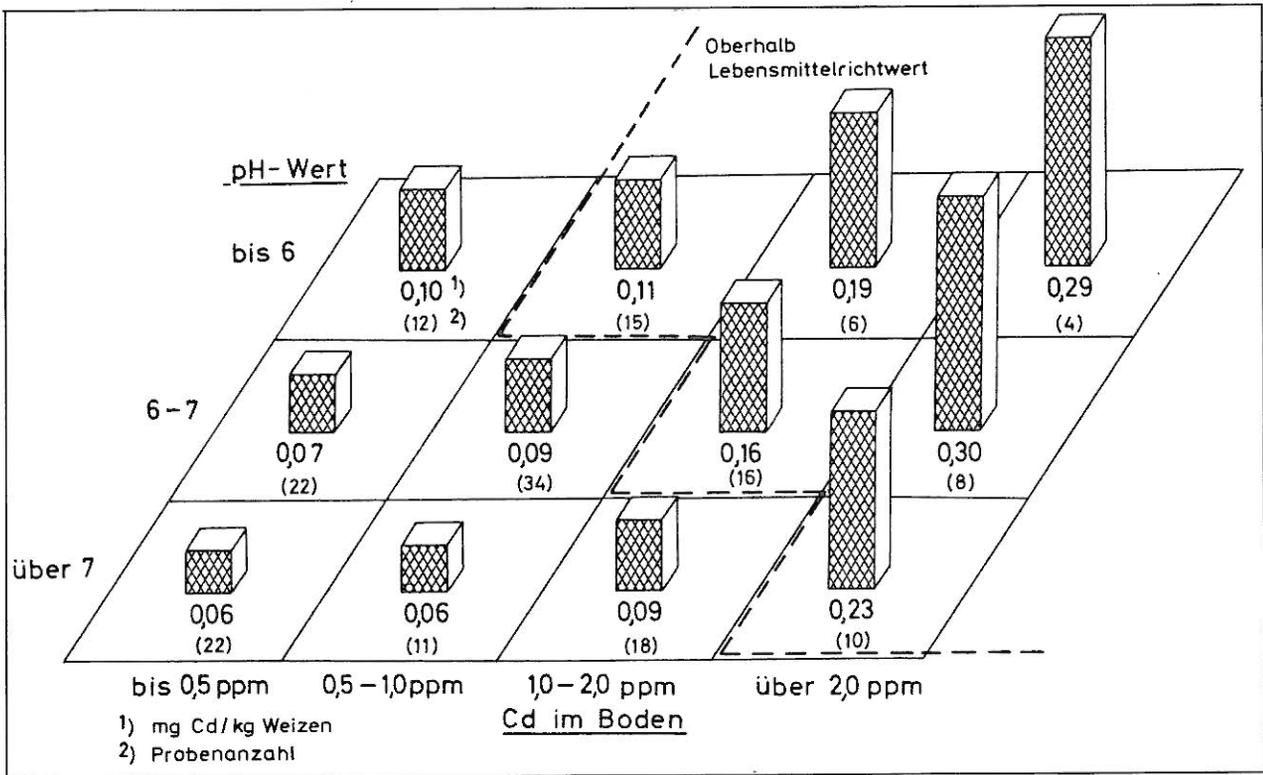


Abb. 8: Cadmiumgehalte im Winterweizen-Korn (mg/kg FS) differenziert nach Cadmiumbodengehalts- und pH-Wert-Klassen (n = 178)

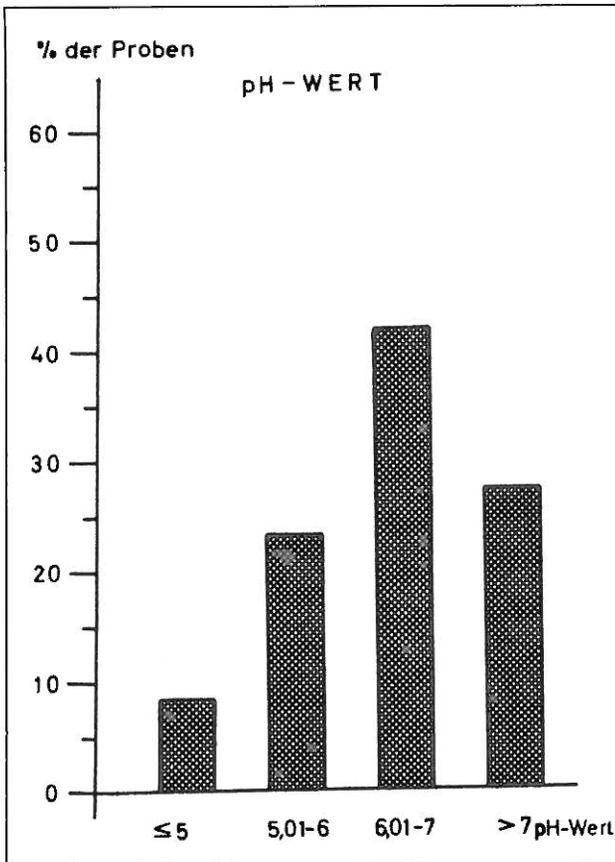


Abb. 9: PH-Werte der im Untersuchungsprogramm erfaßten Böden

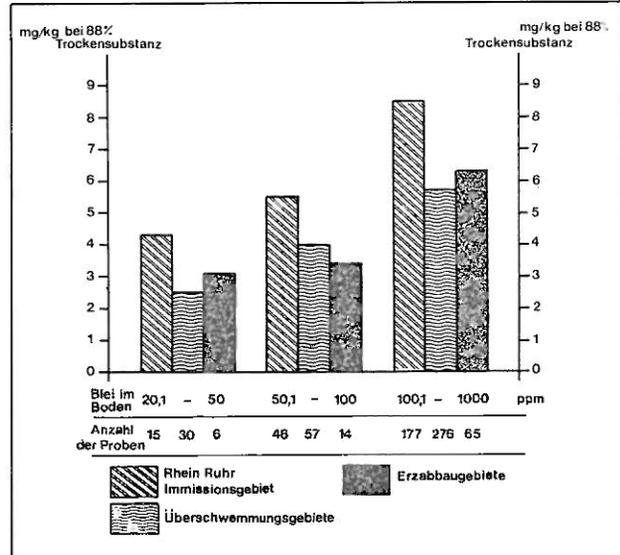


Abb. 10: Bleigehalte im Grünlandaufwuchs differenziert nach Bleibodengehalts-Klassen und Belastungsursachen

Stufen, sowohl im Rhein-Ruhr-Immissionsgebiet als auch in den Überschwemmungs- und Erzabbaugebieten ein Anstieg der Bleigehalte im Grünlandaufwuchs. Während sich die Proben aus den Überschwemmungs- und Erzabbaugebieten in gleichen Bodengehalts-Stufen kaum unterscheiden, liegen die Bleigehalte der Proben aus dem Rhein-Ruhr-Immissionsgebiet bei entsprechendem Blei-Bodengehalt in allen drei Stufen deutlich höher. Da beim Blei wahrscheinlich we-

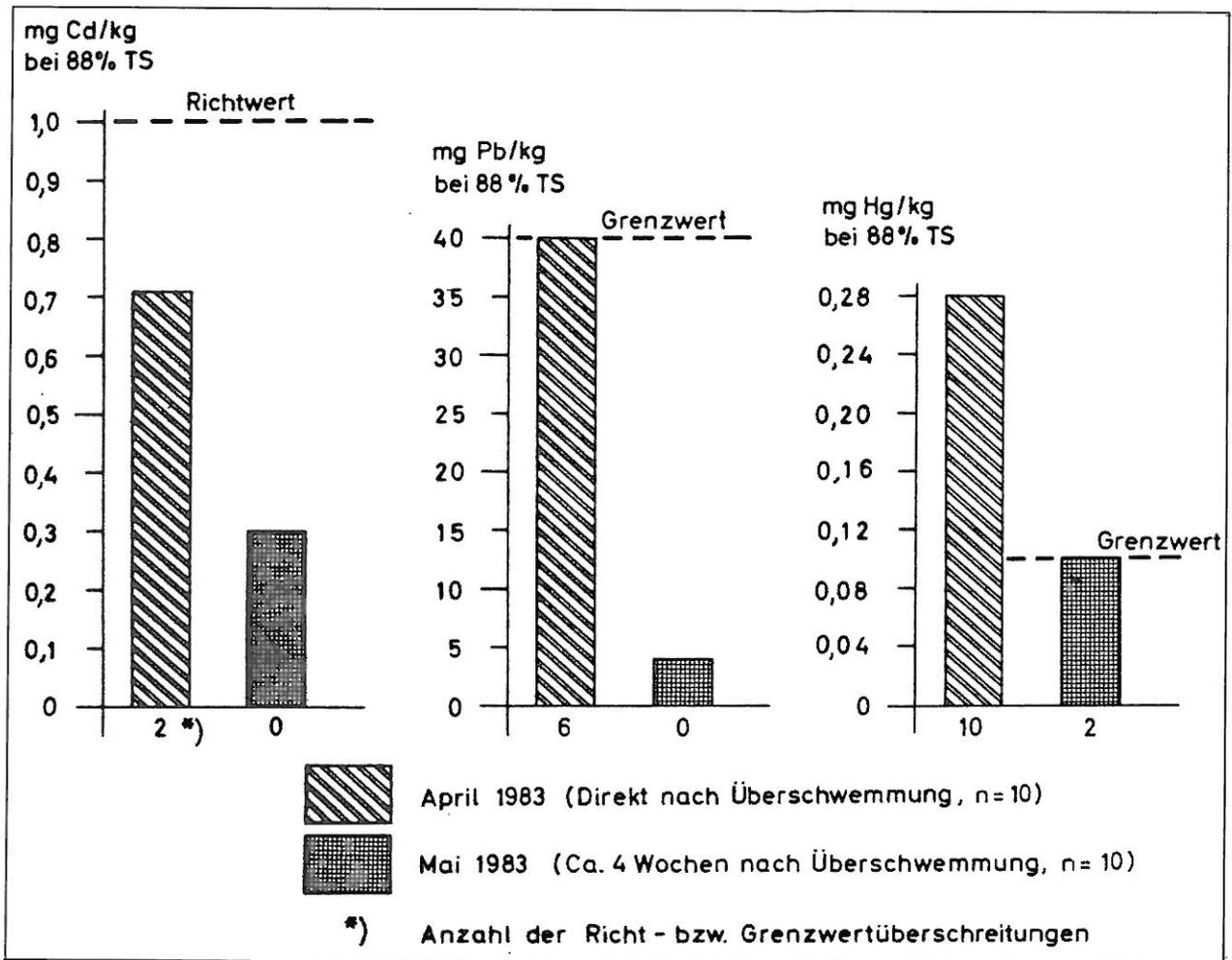


Abb. 11: Schwermetallgehalte im Grünlandaufwuchs zu verschiedenen Zeitpunkten (n = 10)

niger eine unterschiedliche Verfügbarkeit im Boden vorliegen dürfte, ist davon auszugehen, daß die höheren Bleigehalte im Grünlandaufwuchs des Rhein-Ruhr-Gebietes aus der zusätzlichen äußeren Anlagerung durch Immissionen resultieren dürften.

Unterschiedliche Schwermetallgehalte zu verschiedenen Erntezeitpunkten resultieren einerseits aus dem unterschiedlichen Massenwuchs der Pflanzen und andererseits aus der äußerlichen Anlagerung der Schadstoffe durch Verschmutzungen mit kontaminiertem Bodenmaterial, Immissionen oder Überschwemmungswasser.

Letzteres zeigt sich sehr deutlich bei einem Vergleich von zu verschiedenen Zeitpunkten nach einem Hochwasser entnommenen Grünlandaufwuchsproben (Abb. 11). Während die vier Wochen nach dem Hochwasser entnommenen Proben trotz der relativ hohen Boden-Schwermetallgehalte in diesen Gebieten überwiegend nur geringfügig über dem Normalniveau liegen und nur einzelne Grenzwert-Überschreitungen bei Quecksilber aufweisen, liegen die Gehalte der direkt nach dem Hochwasser entnommenen Proben gesichert höher (von 2,4fach bei Cadmium bis zu 10fach bei Blei). Grenz- und Richtwert-Überschreitungen liegen in diesem vom Hochwasser mit einem Schmutzfilm überzogenen Gras bei Quecksilber generell, bei Blei in 60 % und bei Cadmium in 20 % der Fälle vor. Auf den überwiegenden Anteil der Schwermetalle im äußerlich am Gras anhaftenden Schmutz weist auch der höhere Ascheanteil der Proben (Mitteilung des Untersuchungslabors) hin.

Die starke Reduzierung der Schwermetallgehalte im Grünlandaufwuchs während des Zeitraumes zwischen den beiden Untersuchungsterminen dürfte einerseits auf durch Regen erfolgtes Abwaschen von Schmutzstoffen und andererseits auf einen erheblichen Anteil nachgewachsenen Pflanzenmaterials beim zweiten Termin zurückzuführen sein.

#### 4 Schlußfolgerungen und Konsequenzen

Die Ergebnisse dieses Untersuchungsprogrammes und bereits vorliegender anderer Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen haben gezeigt, daß die höchsten Belastungen von Böden und Pflanzen in Erzabbau-, Immissions- und Überschwemmungsgebieten vorliegen. Klärschlammdüngung und Straßenverkehr haben weniger starke Anreicherungen bewirkt. Räumlich gesehen sind die ehemaligen Erzabbaugebiete Stolberg und Mechernich, Teilbereiche des Stadtgebietes von Duisburg sowie Teile des Rhein- und Wupper-Überschwemmungsgebietes am stärksten belastet. Demgegenüber wurden in anderen untersuchten Bereichen des Landes nur punktuell oder kleinräumig überhöhte Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen ermittelt.

In den Problemgebieten sind Maßnahmenkonzepte und Anbauempfehlungen zur Verringerung der Schwermetallaufnahme über Futter und Nahrung ausgearbeitet worden (Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales NW, 1983; Land-

wirtschaftskammer Rheinland, o. J.), die sich in vier Gruppen einteilen lassen:

**A Verursacherbezogene Maßnahmen**

- Verringerung der Schwermetallzufuhren über Immissionen, Überschwemmungswasser, Klärschlamm u. a. Ablagerungen

**B Maßnahmen für hochbelastete Flächen**

- Überdeckung der Böden mit schadstoffarmem Bodenmaterial, Bodenaustausch
- Nutzungsänderung von der Nahrungs- zur Futtermittelproduktion (Verdünnungseffekt)
- Anbau von Pflanzenarten bzw. Nutzung von Pflanzenteilen mit geringem Schwermetallaufnahmevermögen

**C Maßnahmen, die i. d. R. mit nur geringem Aufwand verbunden sind und im Eigeninteresse des Landwirtes liegen**

- Regulierung des pH-Wertes zur Verringerung der Schwermetallaufnahme
- Verschmutzungsarme Futtergewinnung (Ernteverfahren, -zeitpunkt)
- Beifütterung schadstoffarmen Futters, ausreichende Calciumversorgung der Nutztiere

**D Empfehlungen für Verbraucher**

- Sorgfältige Reinigung von Nahrungsmitteln, nicht zu häufiger Verzehr schwermetallreicher Nahrungsmittel, Einschränkung der Schwermetallaufnahme durch weniger Rauchen.

Bei der Aufnahme der Schwermetalle mit pflanzlichen Nahrungsmitteln kommt nach den bisherigen Erkenntnissen im Hinblick auf mögliche Gesundheitsbeeinträchtigungen des Menschen den Schwermetallen Blei und Cadmium die größte Bedeutung zu. Quecksilber wird überwiegend nur mit bestimmten Lebensmitteln wie Fischen, Nieren, Leber und Pilzen aufgenommen. Bei den anderen Elementen kann die Aufnahme über die Nahrung nur bei extrem hohen Konzentrationen gesundheitsgefährdend sein. KAMPE (1982) hat in einem ähnlich wie dem Raum Stolberg belasteten Gebiet in Rheinland-Pfalz festgestellt, daß die als vorläufig anzusehenden Richtwerte der „duldbaren wöchentlichen Aufnahme“ von Blei und Cadmium nur in Einzelfällen erreicht werden. Von daher müssen sich weitere Untersuchungen und Konsequenzen einerseits auf die Belastungsschwerpunkte konzentrieren.

Wie aus einer Gegenüberstellung des Sachverständigenrates für Umweltfragen (1985) im Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ über die Schwermetallein- und -austräge von Böden hervorgeht, sind andererseits jedoch selbst außerhalb der Hauptbelastungsgebiete weitere allmähliche Schwermetallanreicherungen zu erwarten, die langfristig vor allem beim Cadmium kritisch werden können.

Notwendige allgemeine Konsequenzen werden abschließend in 5 Punkten zusammengefaßt:

- Die Schwermetallzufuhren auf den Boden sind auf ein solches Niveau zu verringern, bei dem Anreicherungen unterbunden werden. Hierzu sind verstärkte Auflagen bei Verwendung, Verarbeitung und Beseitigung schwerme-

tallhaltiger Produkte erforderlich, z. B. zum Recycling oder zur Verringerung der Schwermetalleinträge über Staubniederschlag, Abwasser und Klärschlamm.

- Es sind gesetzliche Grundlagen für die Durchführung von Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Böden und Pflanzen sowie die Erfassung und Auswertung von Daten (Kataster) zu schaffen.
- In Ergänzung zu den bestehenden Futtermittelgrenzwerten sind Grenzwerte für Lebensmittel aufzustellen.
- Die Bodengrenzwerte der Klärschlammverordnung sind bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Schwermetallaufnahme in die Pflanze zu korrigieren.
- Weitergehende Schwermetalluntersuchungen sind vor allem in Überschwemmungsgebieten, in Klein- und Hausgärten innerstädtischer Gebiete sowie zur Ermittlung der Schwermetallaufnahme über die gesamte Nahrung (Gesamtverzehrstudien) erforderlich.

**Literatur**

BRÜNE, H.: Zur Aufnahme von Schwermetallen durch Pflanzen und Möglichkeiten der Reduzierung. 125 Jahre Hess. Landw. Versuchsanstalt, 57—83, Kassel, 1982.

HERMS, U., SCHEFFER, B. und BARTELS, R.: Schwermetallgehalte in Böden und Pflanzen von Hafenschlick-Spülfeldern. In: Fachseminar Baggergut, Hamburg, 1984.

KÄFERSTEIN, F. K. u. a.: Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln. ZEBS Berichte 1/1979, D. Reimer Verlag, Berlin 1979.

KAMPE, W.: Blei und Cadmium in Nahrungsmitteln der Angebotsform und im Gesamtverzehr. Ergebnisse von Total Diet Studies. Landw. Forsch., SH 39, 361—382, Kongreßband 1982.

KLOKE, A.: Immissionsbelastete landwirtschaftliche Standorte. In: Leistungen von Landwirtschaft und Landschaft zur Wohlfahrt in Verdichtungsräumen. Schr.-R. f. ländliche Sozialfragen, Hrsg.: Agrarsoziale Gesellschaft e. V. Göttingen, Verlag M. & H. Schaper, Hannover, H. 84, 24—44, 1980.

Klärschlammverordnung (AbfKlärV vom 25. 6. 1982). BGBl. I., S. 734, 1982.

KÖNIG, W.: Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen im Einflusbereich verschiedener Belastungsursachen. Vortrag auf dem VDLUFA-Kongreß in Gießen, 1985 (In Druck).

KÖNIG, W. und KRÄMER, F.: Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen in Nordrhein-Westfalen. Schr.-R. der LÖLF NW, Band 10, 1985.

Landwirtschaftskammer Rheinland: Vorbeugende Maßnahmen zur Futterwerbung und Fütterung in schwermetallbelasteten Gebieten. Information zum Umweltschutz Nr. 23 (Bearbeiter: Dr. V. Pottast), o. J.

Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales NW (Hrsg.): Umweltprobleme durch Schwermetalle im Raum Stolberg, 1983.

Sachverständigenrat für Umweltfragen: Sondergutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“, Bundestagsdrucksache 10/3613 vom 3. 7. 1985.

SAUERBECK, D.: Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrilkulturchemischer Sicht. — Stuttgart, Verlag Kohlhammer. Materialien zur Umweltforschung, Bd. 10, 1984.

## Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft (Mineraldünger, Gülle, Klärschlamm)

### Einleitung

Die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland hat als Kehrseite eine zunehmende Umweltbelastung mit sich gebracht. Dieses gilt keineswegs nur für naturbelassene oder naturnahe Landschaftsteile, wie z. B. die Wälder, sondern auch und gerade für die vom Menschen sehr weitgehend umgestalteten Agrar-Ökosysteme. Die Landwirtschaft ist hierbei sowohl passiv Betroffener als auch aktiver Verursacher und sieht sich bei dieser Sachlage einer Fülle schwerwiegender Konflikte ausgesetzt.

Einerseits treffen die Umweltbelastungen aus Siedlungen, Industrie und Verkehr die landwirtschaftlich genutzten Böden und Pflanzen selbstverständlich ebenso wie die natürlichen Ökosysteme, ihr Einfluß ist in den intensiv landbaulich genutzten Randzonen von Siedlungs- und Industriebalungsräumen häufig sogar ganz besonders groß. Andererseits aber führt auch die moderne Landwirtschaft selbst zu beträchtlichen Umweltveränderungen, die im Gefolge mechanisch-technischer und biologisch-chemischer Fortschritte bzw. ökonomischer Sachzwänge unstreitig gewachsen sind.

Die folgenden Ausführungen sollen sich unter diesen landbaulichen Belastungsquellen vornehmlich auf die Bereiche Düngung und landwirtschaftliche Abfallverwertung konzentrieren.

### Mineralische Düngemittel

Wer in der Bodenschutzdiskussion allgemein von den „stofflichen Belastungen durch die Landwirtschaft“ spricht, hat dabei häufig vor allem die Mineraldüngemittel im Sinn. Tatsächlich kommt mit der heute üblichen Anwendung von durchschnittlich 110 kg N, 60 kg  $P_2O_5$  und 90 kg  $K_2O$ , sofern diese als Einzeldünger verabreicht werden, insgesamt etwa 1 Tonne Salz je Hektar und Jahr in den Boden. Bei Verwendung der konzentrierten NPK-Mehrnährstoffdünger reduziert sich dieser Salzeintrag zwar auf ungefähr zwei Drittel, aber auch dieses erscheint vielen Laien und prinzipiellen Mineraldüngergegnern noch immer bei weitem zuviel.

Für die heute üblichen Mineraldüngerformen ist jedoch mittlerweile nachgewiesen, daß die Bodenfruchtbarkeit hierdurch nicht grundsätzlich in Gefahr gerät. Als Folge der natürlichen Umsetzungsvorgänge im Boden unterliegen nämlich auch die Mineraldüngernährstoffe dort einem komplizierten Umwandlungsprozeß, der sich zum Teil als erwünschte Konzentrationsabpufferung, teils allerdings auch als unerwünschte Festlegung und teils sogar als kompletter Verlust äußern kann. Die gleichen Prozesse sorgen jedoch auch dafür, daß die von den Vertretern „alternativer“ bzw. „biologischer“ Landbaumethoden befürchtete Schädigung von leichtlöslichen Nährsalzen bei vernünftiger Dosierung praktisch kaum eintreten kann. Insofern kann man die in der Landwirtschaft eingesetzten Mineraldüngemittel auch nicht einfach als „Schadstoffe“ bezeichnen, zumal diese im wesentlichen aus lebensnotwendigen Pflanzennährstoffen bestehen, deren Verlust durch die Ernten

zwecks Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit stets durch entsprechende Düngungsmaßnahmen ersetzt werden muß.

Auch die Gefahr einer Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser ist nicht primär wegen des Einsatzes löslicher Mineraldünger, wohl aber grundsätzlich als Folge der verbreiteten Nährstoffanreicherung in den landwirtschaftlichen Böden größer geworden. Eine aus ökologischer Sicht besonders problematische Rolle spielt in diesem Zusammenhang vor allem der Stickstoff, weil dieser im Boden einem spezifischen Umwandlungszyklus zwischen organischen und mineralischen Bindungsformen unterliegt. Im Gegensatz zu den meisten anderen Pflanzennährstoffen wird das dabei entstehende Nitrat nicht an die festen Bodenbestandteile gebunden. Der Nitratstickstoff unterliegt deshalb einer besonderen Verlustgefahr, sofern er nicht rechtzeitig von den Pflanzen aufgenommen bzw. von den Mikroorganismen des Bodens festgehalten wird. Prinzipiell führt deshalb jede Stickstoffdüngung, d. h. auch die in organischer Form, zu vermehrten Gehalten und einem entsprechend gesteigerten N-Umsatz im Boden, was zwar eine unumgängliche Voraussetzung für hohe Pflanzenerträge ist, aber naturgemäß auch eine zunehmende Gefahr für die Umwelt in sich birgt.

Zu einer „Belastung“ im Sinne des Bodenschutzes werden jedoch auch die Stickstoffdüngemittel lediglich dann, wenn sie — im Übermaß oder zur Unzeit angewendet — den Boden so stark mit Nitrat anreichern, daß dieses die Qualität der dort angebauten Kulturpflanzen beeinträchtigt oder durch Auswaschung in die Gewässer gelangt. Oberstes Ziel aller praktischen Düngungsmaßnahmen muß daher sein, den von den Pflanzen benötigten Stickstoff in der erforderlichen Menge und zum richtigen Zeitpunkt so bereitzustellen, daß das pflanzliche Ertragspotential möglichst weitgehend ausgenutzt wird, ohne einerseits die Nährstoffvorräte des Bodens allmählich zu erschöpfen oder andererseits unwirtschaftliche bzw. möglicherweise sogar umweltschädigende Nitratverluste hervorzurufen. Dieses gilt unabhängig von ihrer jeweiligen Form praktisch für alle stickstoffhaltigen, einschließlich der wirtschaftseigenen Düngemittel.

Abgesehen von dieser Dosierproblematik kann jedoch festgestellt werden, daß die landwirtschaftlichen Böden als Nutzpflanzenstandorte auch durch überreichliche Düngergaben selten unmittelbar oder gar irreparabel geschädigt werden. Zumindest im Hinblick auf ihren Nährstoff- und Humushaushalt sind die meisten Böden seit dem Aufkommen der Mineraldüngung keinesfalls schlechter, sondern ganz im Gegenteil sogar wesentlich besser geworden, was selbst bei vorübergehender Einstellung der Düngerzufuhr noch als mehrjährige Nachwirkung deutlich zum Ausdruck kommt. Allerdings haben die landwirtschaftlichen Böden neben der Nutzpflanzenproduktion auch noch andere Funktionen im gesamten Ökosystem, die sich kurzgefaßt mit den Begriffen Umsetzungs-, Filter- und Puffervermögen bzw. mit ihrer Eignung als Lebensraum umschreiben lassen. Bis zu einem gewissen Grade sind zwar auch diese übergeordneten Funktionen mit den landbaulichen Fruchtbarkeitskriterien kongruent. Vor allem im Hinblick auf das Nitratproblem aber erhebt sich in jüngerer Zeit doch zunehmend die Frage, bis zu welchem Grade man die Bodenfruchtbarkeit durch den Einsatz von Düngemitteln steigern darf, ohne hierdurch, zwar

nicht unmittelbar die Böden selbst, wohl aber mittelbar andere, mit diesen Böden verbundene Umweltbereiche in langfristiger unzulässiger Weise zu überlasten.

### Wirtschaftsdünger

Diese Gefahr für die Umwelt droht ganz ohne Zweifel schon jetzt in bestimmten Gebieten mit bodenunabhängiger Intensiv-Tierproduktion, wo durch ein Übermaß an im Stallung enthaltenen Pflanzennährstoffen die Böden in durchaus besorgniserregender Weise „eutrophiert“ worden sind. Nur handelt es sich hierbei, von der im Gartenbau und bei Sonderkulturen sehr verbreiteten, aber aufs Ganze gesehen doch nur lokalen Überdüngung hier einmal abgesehen, gerade nicht um die prinzipiell gut dosierbaren und insofern zu Unrecht in Verruf geratenen Mineraldüngemittel, sondern um die im wahrsten Sinne des Wortes „berückichtigte“ Gülle. Einer der Hauptgründe hierfür ist, daß diese Gülle in Tierhaltungsbetrieben mehr oder minder kontinuierlich anfällt, aber aus Kapazitätsgründen nicht unbegrenzt aufbewahrt werden kann und deshalb häufig zur Unzeit „entsorgt“, d. h. unabhängig vom tatsächlichen Düngebedarf auf die gerade verfügbaren Nutzflächen ausgebracht werden muß.

An und für sich ist jedoch auch diese Gülle kein grundsätzlich bodenbelastender Stoff, sondern ein durchaus natürlicher organischer Dünger, der deshalb auch zur Aufrechterhaltung des Humushaushaltes von Böden zweifellos mehr beitragen kann als dies die reine Mineraldüngung tut. Andererseits jedoch läßt sich auch nicht leugnen, daß die stroharme vergorene Gülle als Humusdünger dem klassischen Stallmist unterlegen ist. Dies gilt allerdings nur auf der Basis vergleichbarer Tierzahlen pro Fläche, zumal auch nur dann die mit diesen betriebseigenen Düngemitteln anfallende Menge an Pflanzennährstoffen annähernd vergleichbar ist. Das in diesem Zusammenhang wirklich entscheidende Problem resultiert daher nicht aus der Gülleanwendung an sich, sondern aus der Tatsache, daß die moderne Gülletechnik es erstmals ermöglicht hat, sehr große Tierzahlen mit relativ geringem Arbeitsaufwand weitgehend flächenunabhängig zu halten.

Hierdurch entsteht bei begrenzter Betriebsfläche nicht allein das bereits erwähnte Problem einer nicht immer zeitgerechten Ausbringung dieser Gülle, sondern darüber hinaus auch noch das einer in Intensiv-Tierhaltungsbetrieben ganz konkret eintretenden Überdüngung, weil die Kulturpflanzen durchschnittlich nicht mehr als 160–200 kg N und etwa 50–70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha entziehen, was bei der Güllewirtschaft nur einer Tierzahl von ungefähr 1,5 Großvieh- bzw. sogenannten Dungeinheiten je Hektar entspricht. Im statistischen Durchschnitt der Bundesrepublik gibt es zwar nur einige wenige Landkreise mit mehr als zwei Großvieheinheiten pro Hektar, aber einzelbetrieblich bzw. lokal wird diese Zahl nicht nur dort, sondern auch anderwärts nicht selten erheblich überschritten.

Daß dieses den betreffenden Betrieben und Böden bislang noch nicht entscheidend geschadet hat, liegt einerseits an dem Überwiegen der in dieser Hinsicht besonders unempfindlichen Kulturpflanze Mais in solchen Gebieten, andererseits aber auch an der Tatsache, daß der Güllestickstoff im Gegensatz zu dem Stickstoff im Stallmist wesentlich leichter verfügbar und deshalb besonders auswaschungsgefährdet ist. Während man bei unmittelbar vor der Frühjahrssaat ausgebrachter Gülle mit einer N-Ausnutzung von ungefähr zwei Dritteln rechnen kann, sinkt diese Ertragswirksamkeit mit zunehmendem Zeitabstand bei Ausbringung im Spätsommer und Herbst oft auf nur 20–30 %. Dies bedeutet jedoch nichts anderes, als daß der zur Unzeit gegebene Güllestickstoff größtenteils ungenutzt verlorengeht, was dann

automatisch im Frühjahr zur nochmaligen Gülleausbringung bzw. zu einer ergänzenden Mineraldüngung zwingt.

Sieht man sich unter diesem Gesichtspunkt einmal die aus der Düngerezufuhr und den Entzügen errechneten Stickstoffbilanzen verschiedener Landkreise genauer an, so ergibt sich vor allem für die bekannten Intensiv-Tierhaltungsgebiete ein ganz eklatanter Überschuß, aber auch in den viehärmeren Betrieben anderer Regionen ist diese N-Bilanz häufig noch positiv. Ein gewisser N-Überschuß bei der Düngung ist wegen der natürlichen Ausbringungs-, Verteilungs-, Auswaschungs- und Denitrifikationsverluste zwar im Prinzip berechtigt, was auch und gerade für die bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern unvermeidlichen Ammoniakverluste gilt. Insofern darf man diese Bilanzdifferenzen zwischen N-Zufuhr und N-Entzug sicher nicht ausschließlich auf das Konto der Nitratauswaschung schreiben. Lokale Bilanzüberschüsse in Höhe von mehreren 100 kg N aber sind mit Sicherheit unerwünscht und zeugen von sehr mangelhafter Gülleausnutzung und entsprechend großen N-Verlusten.

Zumindest was diese Verluste zur Unzeit und die daraus resultierende schlechte Ausnutzung der Güllenährstoffe betrifft, kann das neuerdings in Gang gebrachte staatliche Förderungsprogramm für den Ausbau von zusätzlichen Güllelagerkapazitäten durchaus eine gewisse Erleichterung bringen. Wer die wirtschaftliche Situation der deutschen Landwirtschaft nüchtern und vorurteilslos überblickt, sollte in diesem Zusammenhang auch die Investitionseinsparungen durch den Betrieb feldnaher Güllelagunen nicht einfach in Bausch und Bogen verdammen. Bis zu einem gewissen Grade dürfte sich daneben nach holländischem Vorbild auch eine überbetriebliche Gülleverwertung auf Flächen von weniger tierintensiven Nachbargebieten verwirklichen lassen. Wenn man die Lage jedoch unter dem eingangs erwähnten Gesichtspunkt nicht nur der landwirtschaftlichen, sondern auch der ökosystemar ausgeglichenen Nährstoffbilanzen betrachtet, so erscheint der im Augenblick zulässige Tierbesatz von 3 Großvieh- bzw. Dungeinheiten je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche ganz einfach zu hoch, zumal derartige Gülleflächen bilanzmäßig nicht nur mit Stickstoff, sondern nachweislich auch mit Phosphor erheblich angereichert werden.

Letzteres hat bislang zwar nicht zu verbreiteten Auswaschungs-, wohl aber in hängigen Lagen zu Abschwemmungsproblemen und zu einer damit verbundenen Phosphateutrophierung von Oberflächengewässern geführt. Ältere Globaluntersuchungen weisen für die Landwirtschaft am Phosphateintrag in die Gewässer zwar nur einen im Vergleich zu den Fäkalien und Waschmitteln untergeordneten Beitrag von weniger als 10 % aus. Regional und im Einzelfall aber kann diese Verursacherrolle auch beträchtlich größer sein, weshalb mittlerweile auch die Düngung mit Phosphaten trotz deren fester Bindung im Boden nicht mehr einfach aus ökologischen Betrachtungen ausgeklammert werden kann. Was die mineralische P-Düngung anbetrifft, so sind neuerdings nicht nur die konkret aufgewendeten Mengen, sondern auch die entsprechenden Düngungsempfehlungen und vor allem die diesen zugrunde liegenden Einstufungsgrenzen der agrikulturchemischen Bodenuntersuchung recht beträchtlich zurückgenommen worden. In Güllebetrieben mit mehr als 1,5 Großvieheinheiten Tierbesatz aber könnte die mineralische Phosphatdüngung rein bilanzmäßig gesehen sogar ganz unterbleiben.

### Schwermetalle in Düngemitteln

Eine in der Umweltdiskussion mit dem Gülleproblem häufig allzu pauschal verknüpfte Frage ist außerdem auch noch die nach der Kupferanreicherung in den Böden von Güllegebiete-

ten. Im wesentlichen handelte es sich hierbei jedoch nur um die Schweinegülle, weil vor allem solche Handelsfuttermittel, die von Schweineaufzuchtbetrieben eingesetzt wurden, aus Gründen der Tiergesundheit und zur besseren Futtermittelverwertung teilweise sehr hohe Cu-Mengen enthielten. Naturgemäß gerät jedoch dieses Kupfer nach dem Futtermittelverzehr nahezu ausnahmslos in die Schweinegülle. Je nach Tierbesatz könnte dies rein bilanzmäßig gesehen schon binnen weniger Jahrzehnte zu einer Verdoppelung der natürlichen Cu-Gehalte in derartig begünstigten Böden führen. Da aber vor allem auf Sandböden das Kupfer schon bei Gehalten von weniger als 100 mg/kg schädlich werden kann, wurden die Cu-Mengen im käuflichen Fertigfutter inzwischen herabgesetzt. Ob dieses freilich auch langfristig gesehen zu einer vollständigen Entschärfung der genannten Probleme führt, müssen entsprechende Untersuchungen über die Cu-Bilanz landwirtschaftlich genutzter Böden erst noch genauer zeigen.

Neben dem Cu in der Gülle wird neuerdings auch das Cadmium in den mineralischsten Phosphatdüngemitteln als ein besonders toxisches Schwermetall sehr besorgt diskutiert. Im Gegensatz zu dem Schwermetall Kupfer ist dieses Cadmium jedoch nicht durch den Produktionsprozeß, sondern durch bio- bzw. geochemische Vorgänge in das natürliche Ausgangsmaterial hineingeraten. Diese Cd-Belastung der Rohphosphate unterscheidet sich je nach geologischer Entstehungsart und geographischer Herkunft ganz erheblich, so daß der jährliche Cadmiumeintrag durch die Phosphatdüngung theoretisch zwischen weniger als 1 und mehr als 25 g/ha/Jahr liegen kann. Praktisch sind jedoch die besonders Cd-reichen westafrikanischen Rohphosphate schon bisher nur in begrenztem Umfang bzw. nur in Mischungen mit anderen Herkünften zur Düngerherstellung verwendet worden. In jüngerer Zeit hat sich darüber hinaus eine Übereinkunft zwischen der Bundesregierung und der deutschen Düngemittelindustrie sehr bewährt, derzufolge die Rohphosphatherkünfte freiwillig offengelegt und die damit verbundenen Cd-Importe zumindest größenordnungsmäßig überschaubar werden. Tatsächlich hat der durchschnittliche Cd-Gehalt deutscher Phosphatdüngemittel seit dem Ende der 70er Jahre deutlich abgenommen, so daß heute mit den Phosphatdüngern nur noch äußerstenfalls 3—5 gCd/ha/Jahr in die Böden gelangen.

Dies aber sind, jedenfalls kurzfristig gesehen, keine unmittelbar gefahrbringenden Mengen. Erst im Verlaufe von mehr als 100 Jahren könnte sich hierdurch der natürliche Cd-Gehalt landwirtschaftlich genutzter Böden allmählich verdoppeln. Allerdings erreicht eine durchschnittlich gleiche bzw. lokal sogar wesentlich größere Cd-Menge den Boden auch als Verunreinigung aus der Luft, so daß regional, insbesondere in industrialisierten Ballungsgebieten mit erheblichem Staubbiederschlag, die genannte Verdoppelung auch schon im Verlaufe weniger Jahrzehnte eintreten kann. Die Cd-Einträge der Kulturpflanzen aus dem Boden sind demgegenüber jedenfalls in der Regel gering, zumal der größere Teil hiervon den Boden letztendlich doch in Form von Ernterückständen und organischen Düngemitteln wieder erreicht.

Aus diesem Grund gilt dem Schwermetall Cadmium auch in der Luftüberwachung zu Recht ganz besondere Aufmerksamkeit. Eine verbesserte Luftreinhaltung ist, ebenso wie bei vielen anderen Schadstoffen anthropogener Herkunft, ganz zweifellos auch der beste Bodenschutz. Die oft geforderte Eliminierung des Cadmiums aus den Phosphatdüngern scheitert dagegen in der industriellen Praxis bis auf weiteres noch an technischen Schwierigkeiten, wenngleich auch in dieser Hinsicht in jüngster Zeit konkrete Fortschritte gemacht worden sind. Durch den neuerdings ausgesprochenen Verzicht deutscher Phosphatdüngerhersteller auf Rohphosphate mit mehr als 90 g Cadmium je Tonne  $P_2O_5$  beträgt die Durchschnittsbelastung des Bodens durch 70 kg

Düngerphosphat heute nur noch etwa 3,7 g Cd/ha. Bei den Importdüngern weiß man hierüber freilich zur Zeit noch weniger gut Bescheid, und da die Cd-armen Rohphosphatherkünfte in Zukunft gewiß nicht reichlicher werden, muß man langfristig wohl doch eine technisch-chemische Cd-Abscheidung aus den Phosphatdüngemitteln ins Auge fassen.

### Siedlungsabfälle, Fluß- und Hafenschlämme

Daß auch die Verwendung von Siedlungsabfällen, und hier ganz besonders der Klärschlämme, als Dünger trotz der an sich wünschenswerten Rückführung organischer Substanzen und Nährstoffe wegen der gleichfalls darin enthaltenen Schadstoffe heute äußerst kritisch gesehen wird, ist zwar eine mancherorts etwas übertriebene Vorsicht, aber im Prinzip dennoch richtig. Solange noch schwermetallhaltige Fabrikationsabwässer in die öffentliche Kanalisation und von dort in die Abwasserklärschlämme gelangen, dürfen letztere nur unter sorgfältiger Überwachung in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Die in diesem Zusammenhang erlassene Klärschlammverordnung und die darin für Böden und Klärschlämme genannten Schwermetallgrenzwerte sind bekannt. Unglücklicherweise hat man jedoch aus diesen Präventiven, d. h. aus Vorsorgegründen ganz bewußt niedrig angesetzten Grenzwerten für klärschlammgedüngte Böden einerseits abzuleiten versucht, welche Schwermetallbelastung die Böden ganz allgemein noch wie lange ertragen könnten, andererseits aber diesen Grenzwerten eine konkrete toxikologische Bedeutung unterstellt, die sie in Wirklichkeit gar nicht haben. Tatsächlich darf man die in der Klärschlammverordnung als zulässig genannten Schwermetallgehalte jedoch weder weiträumig erreichen noch im Einzelfall überbewerten.

Sieht man sich nach den bislang vorliegenden Untersuchungsergebnissen die Ausmaße und Herkünfte der konkreten Schwermetallkontamination deutscher Böden einmal näher an, so sind nicht etwa 7 % der Bundesrepublik, wie oft fälschlich behauptet, sondern tatsächlich noch nicht einmal 1 % aller Flächen meßbar belastet, und nur 0,3 % erreichen Cadmiumgehalte oberhalb des genannten Verordnungswertes. Nach Kontaminationsursachen gegliedert stehen die Klärschlämme hierbei nach den Immissionen und den Fluß- bzw. Hafenschlämmen erst an dritter Stelle mit nur ungefähr 900 ha durch Klärschlammmanwendungen über den Grenzwert hinaus mit Cadmium verunreinigten Flächen. Dies aber sind nahezu durchweg besondere Fälle, wo durch stark Industrieabfall-verunreinigte Schlämme in zumeist grotesk überhöhten Gaben derartige Schwermetallanreicherungen eingetreten sind. Für die betroffenen Landwirte hat dieses zwar unstreitig schlimme Folgen, aber man darf solche Fälle im Blick auf das Klärschlammproblem dennoch nicht einfach verallgemeinern. Ähnliches wie für das Cadmium gilt grundsätzlich auch für die anderen in Siedlungsabfällen enthaltenen Schwermetalle.

Aus diesem Grund sollte man die Klärschlammmanwendung im Landbau auch nicht einfach generell ablehnen, sondern der damit verbundenen Rückführung von beträchtlichen Mengen an Pflanzennährstoffen wegen, soweit dieses nachgewiesenermaßen als unbedenklich gelten kann, weiterführen. Von stark industrialisierten Großstädten mit unkontrollierbaren Schwermetalleinleitern abgesehen, lassen die neuerdings angelaufenen Routinekontrollen, das auch im häuslichen Bereich relativ stark eingetragene, aber ökologisch gesehen doch weniger kritische Element Zink ausgenommen, für sehr viele untersuchte Klärschlammherkünfte nur eine für deren landwirtschaftliche Verwendung noch durchaus tolerierbare Schwermetallbelastung erkennen. Mit unrealistischen Maximalforderungen hinsichtlich ihrer Reinheit wird jedenfalls nichts gewonnen, sondern nur die

ökologisch erstrebenswerte Rezyklierung von Rest- und Abfallstoffen erschwert. Dies schließt jedoch die berechtigzte Forderung nach einer entsprechend sorgfältigen Kontrolle der Siedlungsabfälle aus Sicherheitsgründen keineswegs aus.

Auch die Fluß- und Hafenschlämme galten bislang zumeist als nützliche bzw. als düngende Bodenverbesserungsmittel, bevor erkannt worden ist, daß infolge der Einleitung von Industrieabwässern auch solche natürlichen Sedimente oft in erheblichem Umfange mit Schadstoffen verunreinigt worden sind. Allein der Rhein transportiert mit dem Sediment jährlich einige tausend Tonnen Schwermetalle. Die alljährlich als Folge dieses Materialtransportes im Hafen von Rotterdam anfallenden Baggerschlammmengen betragen z. B. rund 21 Millionen bzw. in den drei wichtigsten deutschen Seehäfen zusammen sogar 36 Millionen m<sup>3</sup>. Die Schwermetallgehalte im Hamburger Hafenschlamm aber liegen zumindest im Feinmaterial um das 2- bis 10fache über den nach der Klärschlammverordnung für Böden noch erlaubten Werten.

Dort wo dieses Material auf geeignete Flächen bis zu mehreren Metern hoch aufgespült worden ist, sind die so „verbesserten“ Schläge heute zur Nahrungs- bzw. Futterproduktion oft nur noch begrenzt geeignet. Die Tatsache, daß sich aus diesem Grunde eine weitere landwirtschaftliche Verwendung solcher Schlämme künftig verbietet, hat deren Beseitigung zu einem äußerst schwierig zu lösenden Problem gemacht. Hinzu kommt, daß man zwar durch eine bessere Abwasserüberwachung hinreichend „saubere“ Klärschlämme gewährleisten kann, daß aber einmal verunreinigte Fluß- und Hafenschlämme nur sehr allmählich durch weniger stark belastetes Material verdünnt bzw. überdeckt werden können.

### **Persistente organische Stoffe**

Daß man die Klärschlammanwendung heute nicht nur im Blick auf die Schwermetalle, sondern auch aus der Furcht vor darin enthaltenen organischen Schadstoffen in Frage stellt, ist angesichts der Ubiquität von fast zwanzigttausend synthetischen Substanzen in anthropogenen Abfällen durchaus verständlich. Tatsächlich erlaubt es die moderne Analytik, nahezu alle synthetischen Stoffklassen in zwar meist nur geringen, aber doch signifikanten Mengen in Siedlungsabfällen nachzuweisen. Ebenso wie die Schwermetalle reichern sich auch diese organischen Stoffe, sofern sie nicht schon im Wasser mikrobiell abgebaut werden, beim Abwasserklärprozeß in den dabei entstehenden Klärschlämmen an. Allerdings werden auch bei der anschließenden Schlammausfäulung noch viele leicht zersetzliche organische Substanzen abgebaut, so daß letzten Endes nur die besonders persistenten, nämlich die hoch kondensierten (Beispiel polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und die hoch chlorierten (Beispiel polychlorierte Biphenyle) organischen Fremdstoffe von ökologischer Bedeutung für den Boden sind.

Für die landwirtschaftliche Klärschlammanwendung entsteht in diesem Zusammenhang die bange Frage, ob sich solche organischen Schadstoffe in Böden oder möglicherweise sogar in den darauf gewachsenen Nutzpflanzen anreichern können. Dank der Vielzahl verschiedenster Umwandlungs- und Abbauprozesse in natürlichen Böden läßt sich diese Frage zum Glück weitgehend verneinen, vorausgesetzt, daß diese Stoffe nur in Raten den Boden erreichen,

die dessen natürliches Selbstreinigungsvermögen nicht übersteigen. Dies aber scheint nach den bisherigen Erkenntnissen bei der landwirtschaftlichen Anwendung von Klärschlämmen in den heute noch zulässigen Mengen tatsächlich der Fall zu sein. Sicher ist jedenfalls, daß die genannten Stoffgruppen von den auf terrestrischen Böden wachsenden Pflanzen kaum aufgenommen und schon gar nicht speziell angereichert werden, ganz im Gegensatz zu den aquatischen Ökosystemen, wo es zu einer sehr ausgeprägten Bioakkumulation kommen kann. Dennoch ist diese relativ optimistische Einschätzung der Sachlage für Böden auf längere Sicht sicher nur dann berechtigt, wenn der früher so sorglose Umgang mit derartigen organischen Stoffen eingeschränkt bzw. deren Beseitigung künftig strenger geregelt wird.

### **Schlußfolgerungen und Zusammenfassung**

Aus alledem läßt sich abschließend das Fazit ziehen, daß hinsichtlich der stofflichen Belastung des Bodens durch Düngungsmaßnahmen im Gegensatz zu manchen Schreckensmeldungen in der Presse bislang nur lokal bzw. regional eine konkrete Gefahr besteht. Das Wissen um diese Gefahren und die Maßnahmen zu deren Verminderung sind im Prinzip vorhanden. Sache der Wirtschafts- und Agrarpolitik sollte es daher sein, die z. Z. herrschenden agrarökonomischen Zwänge und Notwendigkeiten nicht so übermächtig werden zu lassen, daß hierdurch die ökologische Einsicht der grundsätzlich durchaus auf Erhaltung und Schonung des Bodens bedachten Landwirtschaft auf der Strecke bleibt.

Bezüglich des Schadstoffeintrages durch die landwirtschaftliche Verwendung von Siedlungsabfällen und Schlämmen erlaubt die moderne Analytik eine sehr weitgehende Überwachung, die im Verbund mit der geltenden Mengenbegrenzung vor schwerwiegenden Bodenbelastungen ausreichend schützen sollte. Auch hinsichtlich der Gefährdung durch organische Schadstoffe in Siedlungsabfällen sind aufgrund neuerer Erkenntnisse entsprechende Wandlungen im Gange, die den Einsatz von persistenten organischen Stoffen und die damit verbundenen Gefahren wesentlich vermindern werden.

Eine größtmögliche Minimierung aller problematischen Stoffeinträge ist nichtsdestoweniger für den Bodenschutz oberstes Gebot, wozu auch die Landwirtschaft selbst durch sparsamen und gezielten Betriebsmitteleinsatz ganz beußt und verstärkt beitragen muß.

### **Anmerkung**

Aus Platzgründen wurde beim Druck dieses Textes auf eine Wiedergabe des beim mündlichen Vortrag gezeigten Bildmaterials und auf entsprechende Literaturhinweise verzichtet. Weiterführende Angaben sind u. a. in den VDLUFA-Kongreßberichten „Moderne Landwirtschaft im Spannungsfeld der Ökologie“ (Braunschweig 1980, Frankfurt: J. D. Sauerländer's Verlag, 1981), „Nitrat“ (Karlsruhe 1984, Frankfurt: J. D. Sauerländer's Verlag, 1985), „Bodenbewirtschaftung, Bodenfruchtbarkeit, Bodenschutz“ (Gießen 1985, VDLUFA-Schriftenreihe Nr. 16, Darmstadt: VDLUFA-Verlag, 1986), dem SRU-Gutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ (Stuttgart, Mainz: Kohlhammer, 1985) und der Arbeit des Verfassers „Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrikulturnchemischer Sicht“ (Stuttgart, Mainz: Kohlhammer, 1985) zu finden.

## Stoffliche Belastung durch die Landwirtschaft (Pflanzenschutz)

(Kurzfassung)

Die Landwirtschaft verdankt einen Teil ihrer enormen Ertragssteigerungen dem gezielten Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln. So werden zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten Fungizide, zur Verhinderung von Insektenbefall Insektizide und zur Vermeidung von Unkrautkonkurrenz um Licht sowie Wasser und Nährstoffvorräte des Bodens Herbizide seit ca. 40 Jahren gezielt eingesetzt. Dabei handelt es sich insgesamt um ca. 325 organische Wirkstoffe, die in verschiedenen Kombinationen bei der intensiven Landbewirtschaftung entweder direkt auf oder in den Boden gelangen (z. B. Voraufspritzung mit Herbiziden, Beizapplikation von Fungiziden), nach der Behandlung durch Niederschläge von den Pflanzen abgewaschen werden bzw. mit behandelten Ernterückständen den Boden erreichen. Der Einsatz dieser Mittel ist besonders hoch in Obst- und Weinbaukulturen, erreicht aber auch in intensiven, engen Fruchtfolgen bis zu zehn verschiedene Applikationen je Vegetationsperiode (DIERCKS, 1984). Die insgesamt eingesetzten ca. 30 000 t Wirkstoffe (Anonym, IPS, 1985) werden damit vorwiegend auf ca. 8 Mill. ha, etwa einem Drittel der Fläche der Bundesrepublik, ausgebracht.

Über das Schicksal dieser Verbindungen und deren Einfluß im Agrarökosystem liegen umfangreiche Untersuchungsergebnisse auch unter Einschluß der gezielten <sup>14</sup>C-Markierung der organischen Moleküle vor (FÜHR, 1984 a / und 1984 b). Daraus ist zu schließen, daß diese organischen Verbindungen sich im Boden in der Regel nicht anders verhalten als die verschiedenen organischen Komponenten von pflanzlichen Rückständen, d. h. sie werden teilweise im Boden nur stark sorbiert, teilweise bis zum Endprodukt des Kohlenstoffgerüsts zu CO<sub>2</sub> mineralisiert. Viele Verbindungen verlieren während dieser Abbauprozesse ihre Identität und werden beim Aufbau von polymerisierten, stabilen Verbindungen in die Humusfraktion eingebunden (Abb. 1).

Die bodeneigenen organischen Verbindungen wie Humin- und Fulvosäuren sowie die stabilen Humine besitzen reakti-

ve Gruppen, die mit organischen Fremdchemikalien und deren Metaboliten stabile Bindungen eingehen können (STEVENSON, 1982). Daneben werden für viele organische Verbindungen starke Fixierungsreaktionen als Folge von unterschiedlichen Sorptionsprozessen mit Bodenkomponenten beobachtet.

Aus den Untersuchungen geht auch hervor, daß dann die biologische Verfügbarkeit dieser organischen Fremdchemikalien im Boden von vielen Faktoren beeinflusst ist und daß diese biologische Verfügbarkeit mit der Verweildauer im Boden stark reduziert wird (Abb. 1). Dabei lassen die Untersuchungen auch den Schluß zu, daß parallel zu einer möglichen Aufnahme durch die Wurzel mikrobielle Abbauprozesse für eine weitere Reduktion der Verbindungen im Boden sorgen (FREHSE und ANDERSON, 1983). Insgesamt werden Abbau, Fixierung, Verlagerung und biologische Verfügbarkeit von organischen Fremdchemikalien im Boden sehr wesentlich beeinflusst von

- dem physiko-chemischen Verhalten der organischen Verbindung
- Menge, Art und Zeitpunkt der Applikation/Spritzung
- physikalischen, chemischen und biochemischen Reaktionen im Boden und damit von Bodentyp und Bodeneigenschaften — Tonminerale, organische Masse, pH, Eh und Wasserführung
- Bodenbearbeitung und Kulturmaßnahmen wie Düngung
- klimatischen Faktoren — Niederschlag, Temperatur, Bodenfeuchte und Sonneneinstrahlung
- Pflanzenspezies — Wurzelentwicklung, Transpiration, Nährstoffstatus.

Je stärker die Bindung einer organischen Fremdchemikalie im Boden ist, um so geringer ist die Chance einer Aufnahme durch die Pflanzenwurzel und damit einer Weiterreichung in der Nahrungskette. Die umfangreichen Untersuchungen der letzten 30 Jahre über die Biochemie der Huminstoffbildung haben gezeigt, daß beim Aufbau von stabilen Strukturen der organischen Masse durch direkten mikrobiellen Abbau oder Co-Metabolismus viele organische Fremdverbindungen teilweise bis zu den Grundbausteinen abgebaut werden, daß aber auch unveränderte Fremdmoleküle und Molekülbruchstücke in stabilere Bindungen des Bodenhumus überführt werden können. Hier sei verwiesen auf die mittlerweile umfangreiche Literatur zur Frage der gebundenen Rückstände von bioziden Wirkstoffen (STEVENSON, 1982; FÜHR et al., 1985).

Eine Forschungslücke besteht noch bezüglich einer möglichen Grundwasserbeeinflussung durch eine wiederholte Anwendung von persistenten Pflanzenbehandlungsmitteln, wie gerade auf dem 5. Fachgespräch über Gewässer und Pflanzenbehandlungsmittel festgestellt wurde<sup>1)</sup>. Dabei darf nicht übersehen werden, daß als Folge der natürlichen Bodenbildungsprozesse organische Verbindungen allgemein in geringen Mengen auch in tiefe Bodenschichten gelangen, dabei aber genau wie in der Ackerkrume weiteren Abbau-

1) 5. Fachgespräch — Gewässer und Pflanzenbehandlungsmittel — Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e. V., Berlin, 21./22. November 1985

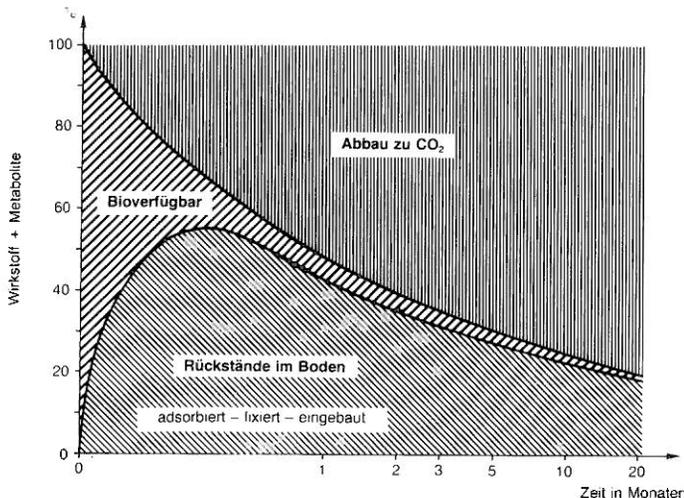


Abb. 1: Die generelle Situation von Pflanzenschutz-Wirkstoffen im Boden

und Mineralisierungsprozessen unterliegen. Wirkstoffe, die in Labortesten mit standardisierten Bodensäulen bei einer simulierten Intensivberegnung eine Verlagerungsneigung zeigen, werden für den praktischen Einsatz bereits mit entsprechenden Auflagen versehen (SCHUHMANN, 1985).

Der gesamte Themenkreis „Pflanzenschutzmittel im Boden“ — Eintrag und Bilanzierung bis hin zu Nebenwirkungen und Einflüssen auf Bodenflora und Bodenfauna — wurde gerade ausführlich von den auf diesem Arbeitsgebiet forschenden Wissenschaftlern in einem Sonderheft (Anonym, 1985) dargestellt.

Unter Berücksichtigung der in diesem Berichtsband diskutierten Ergebnisse kann festgestellt werden: abgesehen von Sonderfällen des Intensiveinsatzes in Sonderkulturen ist bei sachgemäßer Anwendung der Pflanzenbehandlungsmittel keine Gefährdung der ökologischen Funktion des Bodens als Filter und Pflanzenstandort gegeben (FÜHR et al., 1986).

## Literatur

Anonym: Jahresbericht 1984/85 des Industrieverbandes Pflanzenschutz e. V., Frankfurt, 1985.

Anonym: Pflanzenschutzmittel und Boden. Berichte über Landwirtschaft, 198. Sonderheft, Parey-Verlag, Hamburg — Berlin, 1985.

DIERCKS, R.: Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln und die dabei auftretenden Umweltprobleme. Kohlhammer-Verlag Stuttgart, Mainz, 1984.

FREHSE H., ANDERSON, J. P. E.: Pesticide residues in soil — problems between concept and concern. IUPAC-Pesticide Chemistry, Human Welfare and the Environment. J. Miyamoto et al. (Hrsg.), Pergamon Press, Oxford 23—32, 1983.

FÜHR, F.: Agricultural Pesticide Residues, In: Isotopes and Radiation in Agricultural Sciences, Vol. II, M. L'Annunziata and J. O. Legg (Hrsg.), 239—270, Academic Press, London, 1984 a.

FÜHR, F.: Praxisnahe Tracerversuche zum Verbleib von Pflanzenschutzwirkstoffen im Agrarökosystem. Rheinisch-Westfälische Akademie der Wissenschaften, Vorträge N 326, Westdeutscher Verlag, Opladen, 5—35, 1984 b.

FÜHR, F., KLOSKOWSKI, R., BURAUDEL, P. W.: Bedeutung der gebundenen Rückstände. 198. Sonderheft der Berichte über Landwirtschaft, Pflanzenschutzmittel im Boden, 106—116, Parey-Verlag, Hamburg — Berlin, 1985.

FÜHR, F., SCHEELE, B., KLOSTER, G.: Schadstoffeinträge in den Boden durch Industrie, Besiedlung, Verkehr und Landwirtschaft (organische Stoffe). VDLUFA-Schriftenreihe 16, Kongreßband 1985 (im Druck).

SCHUHMANN, G.: Wie sicher sind unsere Pflanzenschutzmittel? Chemie und Ernährung, Heft 21, 3—16, 1985.

STEVENSON, F. J.: Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. J. Wiley & Sons, New York, 1985.



Durch Schafhaltung verkarstete und mit Wacholderheide bestandene Landschaft in der Schwäbischen Alb; der Halbtrockenrasen birgt eine vielfältige Flora. Foto: G. Olschow

## Neuere Bodenbearbeitungsverfahren in ihrer Wechselwirkung auf Bodenstruktur und Pflanzenertrag

Auf dem Sektor der mechanischen Bodenbearbeitung finden verstärkt Maschinenkonzeptionen Beachtung, die in ihrer Funktion der reduzierten konservierenden oder pfluglosen Bodenbearbeitung bis hin zum System des non-tillage (Direktsaat) zuzuordnen sind. Obwohl über die Notwendigkeit einer Bodenbearbeitung überwiegend Einigkeit besteht, gibt es Meinungsverschiedenheiten über das „Wie“. Eine der Ursachen ist die unsichere Kenntnis über den Einfluß und die langfristige Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf das Bodengefüge.

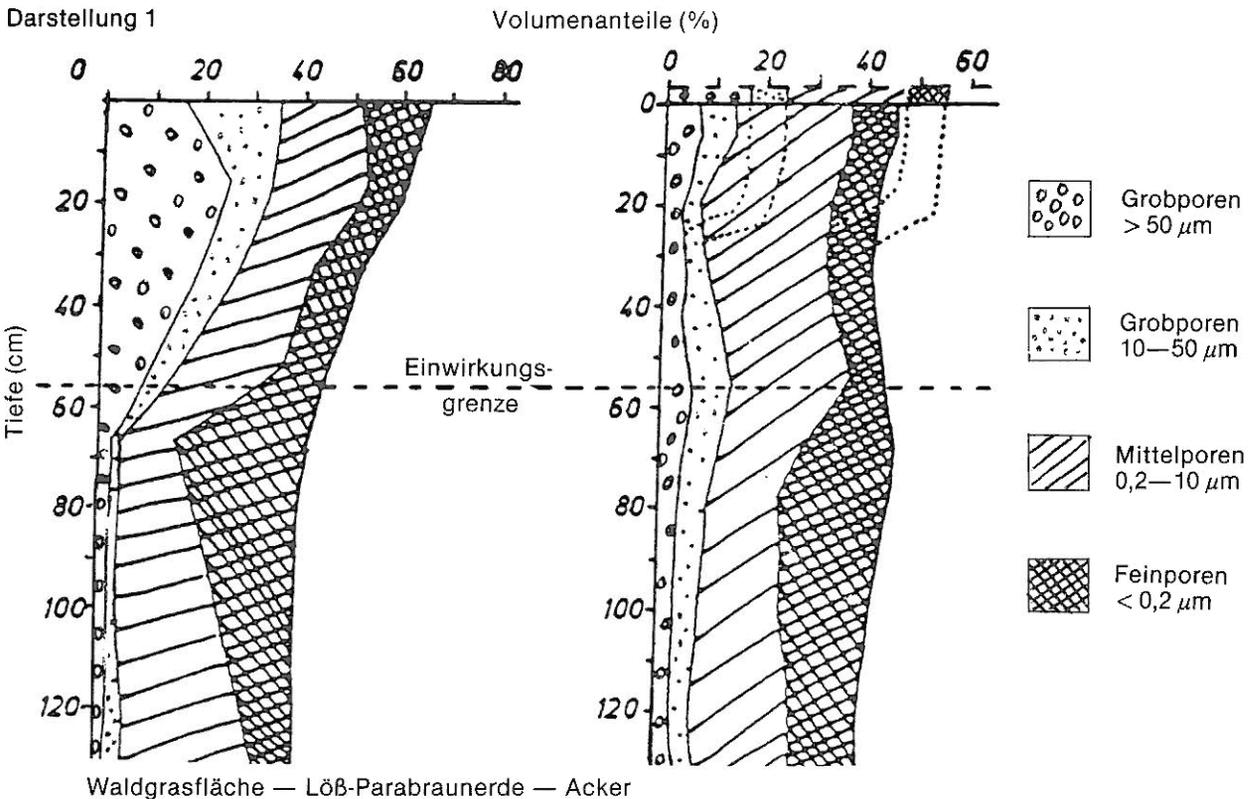
Der Zwang, Bodenbearbeitung zu betreiben, leitet sich primär aus der Instabilität der Bodenstruktur auf Grund von Bewirtschaftungsmaßnahmen ab, zu denen u. a. auch der Eingriff von Werkzeugen in den Boden zu zählen ist. Die Darstellung 1 (n. HARTGE) verdeutlicht dies als Vergleich des Gesamtporenvolumens und der Porengrößenverteilung bei zwei Löß-Parabraunerden. Durch Anhebung der Bodenoberfläche kann zwar eine bis zur Eingriffstiefe des Werkzeuges reichende Vergrößerung des Volumens erreicht werden, welches aber wegen des sukzessiven Verlustes von Grobporen außerordentlich instabil ist. Des weiteren wird sichtbar, daß im Übergangsbereich der Arbeitstiefe des Werkzeuges zum unbearbeiteten Boden wie zum natürlich gelagerten Boden die Homogenität der Bodenstruktur gestört ist und sich Bewirtschaftungsmaßnahmen bis zu einer Tiefe von ca.

60 cm auswirken, da erst in diesem Bereich wieder gleiche Gesamtporenvolumina vorhanden sind.

Hieraus läßt sich ebenfalls ableiten, daß durch rein mechanische Bearbeitungsmaßnahmen eine Regeneration der Bodenstruktur insbesondere unterhalb des Ap-Horizontes kurzfristig bzw. mit ausreichender Stabilität nicht möglich sein wird, es sei denn, daß geeignete mechanische Maßnahmen wie auch u. U. der Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung bei ausreichender Bodenbedeckung und Durchwurzelung in einer Art Initialwirkung dazu beitragen, die physikalisch-biologisch-dynamischen Prozesse der Bodenstruktur-bildung in Gang zu setzen und zu fördern.

Die Untersuchung des Einflusses von Bodenbearbeitungsverfahren setzt eine geeignete Geräteauswahl aus dem umfangreichen Angebot voraus. Teilt man die Bodenarbeitsgeräte nach ihrer Werkzeugform und deren Funktion ein, so kristallisieren sich wenige Bodenbearbeitungsverfahren heraus (Darst. 2), die sich durch Eingriffsintensität, Eingriffstiefe und Einsatzspektrum klar voneinander unterscheiden.

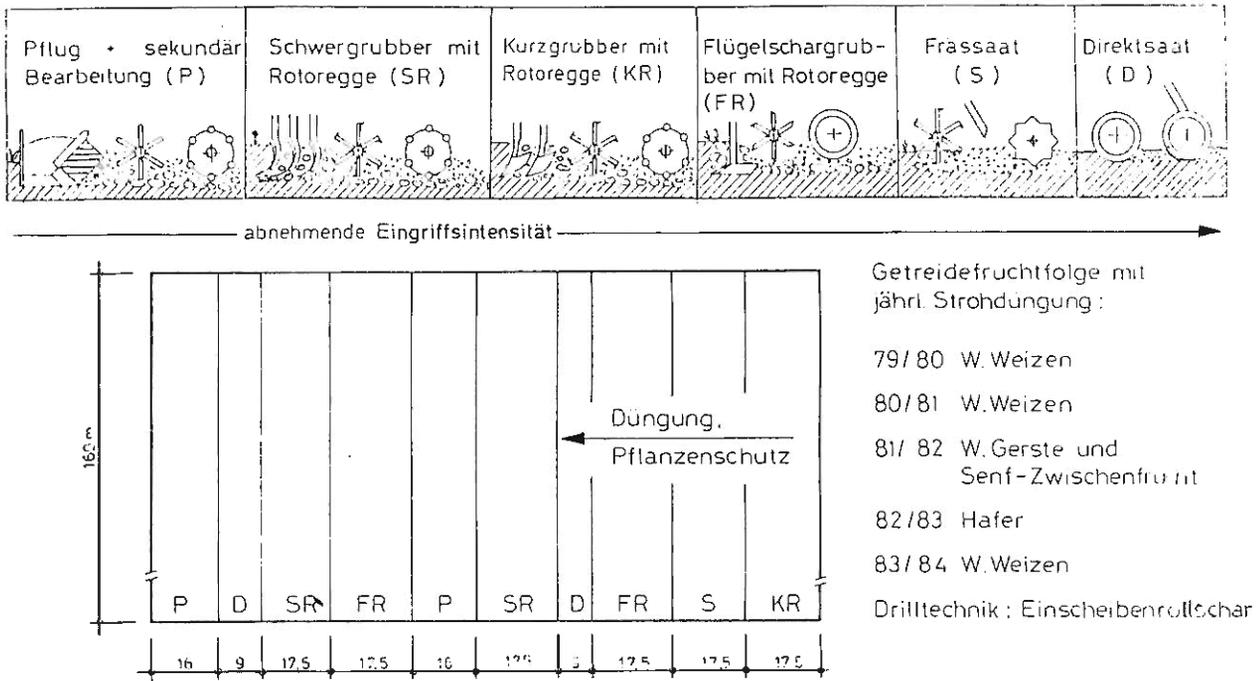
Nach wie vor fehlen für den Praktiker geeignete Methoden, die es ihm gestatten würden, schnell und zuverlässig den Strukturzustand seines Bodens zu beurteilen. Bei Vergleichsversuchen ist dies einfacher, da hier schon durch



Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung (n. Hartge)

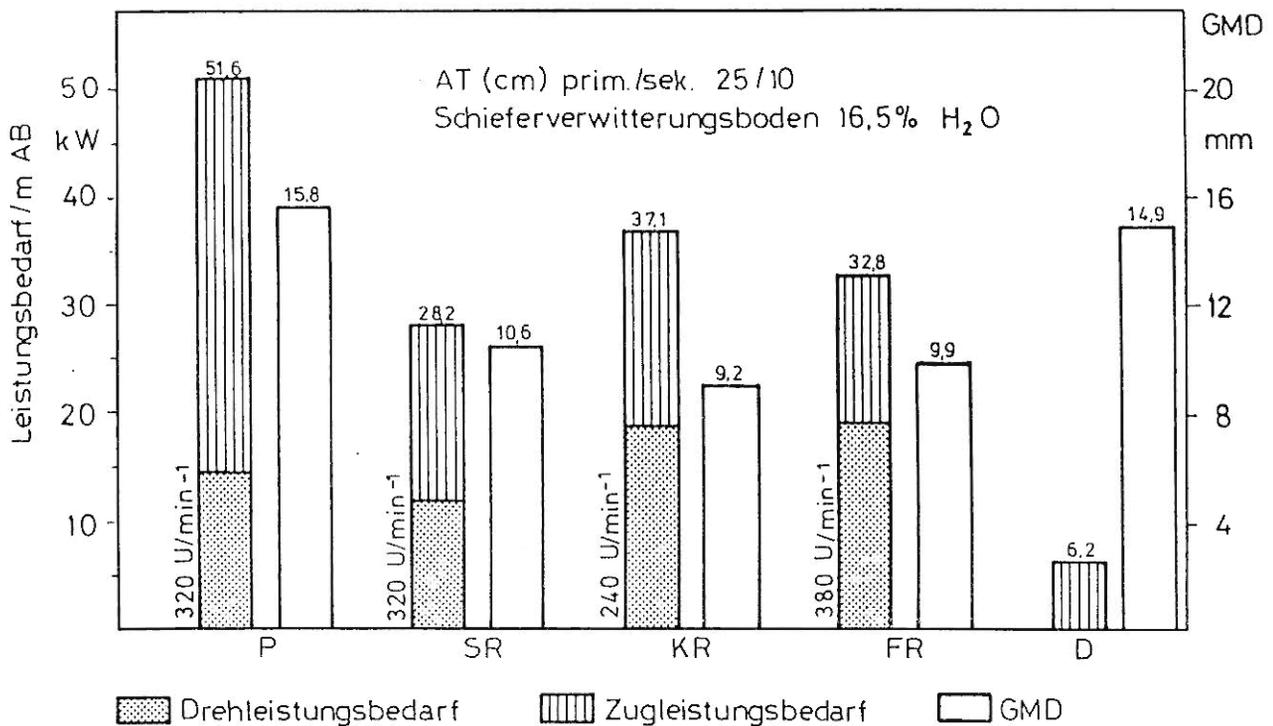
Darstellung 2

Versuchsanlage und Bodenbearbeitungssysteme Wernborn/Taunus



Darstellung 3

Leistungsbedarf der Primär- und Sekundärwerkzeuge



von Hand entnommene Bodenblöcke (Spatendiagnose) eine Beurteilung hinsichtlich Durchwurzelung, Bioturbation, Einmischung und Rottegrad der pflanzlichen Rückstände und aufgrund der Zerfallsneigung eine Beurteilung des Verfestigungsgrades (DIN 19 682) möglich ist.

Als ein Maßstab für die Eingriffsintensität kann neben dem

Aggregierungserfolg, der in der Regel als Gewogener Mittlerer Durchmesser (GMD) der Bodenaggregate dargestellt wird, der Energieaufwand herangezogen werden.

Die Darstellung 3 veranschaulicht den Anspruch der Primärwerkzeuge als Zugleistungs- und der Sekundärwerkzeuge als Drehleistungsbedarf je Meter Arbeitsbreite, wobei der

Gewogene Mittlere Durchmesser der erzeugten Bodenaggregate für den Bearbeitungshorizont 0—10 cm, entsprechend der Arbeitstiefe der sek. Werkzeuge, ermittelt wurde.

Trotz des deutlich höheren Energieaufwandes für die Pflugvariante mit anschließender rotierender Sekundärbearbeitung weist das Aggregatgemisch nach der Bearbeitung mit einem Gewogenen Mittleren Durchmesser von 15,8 mm einen deutlich höheren Wert gegenüber den drei Grubervarianten mit jeweils ca. 10 mm auf. Die Ursachen hierfür liegen in der wendenden Pflugarbeit, bei der eine grobschollige Bodenstruktur aus einer Tiefe von 15—20 cm an die Oberfläche geholt wird.

Hervorzuheben ist der ermittelte Wert für die Direktsaatvariante. Sieht man von dem außerordentlich geringen Leistungsbedarf ab, der primär durch das Anlegen der Saatschlitze verursacht wird, also nicht aggregierungswirksam ist, weist der Bodenhorizont von 0—10 cm dennoch einen mittleren Aggregierungswert von 14,9 mm auf und liegt damit, obwohl seit nunmehr 5 Jahren keinerlei mechanischer Eingriff auf den Direktsaatparzellen stattgefunden hat, auf dem Niveau der Pflugvariante.

Daraus kann eigentlich nur gefolgert werden, daß sich unter den vorliegenden Standortverhältnissen auf den Direktsaatparzellen eine vergleichsweise stabile Krümelstruktur entwickelt hat.

Die im Boden ablaufenden Austauschvorgänge (Wasser, Wärme, Luft, Nährstoffverfügbarkeit) werden maßgeblich von der spezifischen Oberfläche der Aggregate beeinflusst, die nach der Rosin-Ramier-Sperling-Bennet-Methode (aus der Zerkleinerungstechnik stammend) durch Ermittlung der oberen und unteren Grenzdurchmesser (n. HERBERG) berechnet werden kann (Darst. 4). Aus diesen Werten (nach

KLEIN) ist ersichtlich, daß mit einem Bestimmtheitsmaß von 90,34 % bzw. 92,5 % ein Zusammenhang zwischen dem GMD und der spez. Oberfläche gegeben ist (Darst. 5 und 6).

Als weiterer Maßstab für die Ansprache der Strukturverhältnisse kann der Eindringwiderstand (N/cm<sup>2</sup>) des Bodens angesehen werden (Darst. 7).

Die Meßwerte verdeutlichen zunächst generell den zunehmenden Eindringwiderstand insbesondere unterhalb des Eingriffshorizontes der Sekundärbodenbearbeitungsgeräte von 10 cm. Dennoch liegt auch in diesem Bereich die Pflugvariante (sieht man von der D-Variante zunächst einmal ab) über der Grubervariante. Gründe hierfür sind neben den zuvor aufgezeigten Strukturunterschieden auch in der Einmischqualität des organischen Materials zu suchen.

Besonders auffällig ist der fast gradlinige Verlauf der Widerstandswerte für die Direktsaatvariante, die im Bereich von 15 cm den Verlauf der Pflugvariante bzw. von 22 cm den der Grubervariante unterschneidet. Aus dem Gesamtverlauf der D-Variante ist zu erkennen, daß sich über Jahre hinweg ein gleichmäßiges stabiles Bodengefüge entwickelt hat. Daß dies bei der Pflugvariante nicht gegeben war, mag der Vergleich der Tiefenfunktionen zu zwei Terminen exemplarisch aufzeigen.

Die zunächst relativ niedrigen Widerstandswerte im September bei der P-Variante erhöhen sich bereits bis zum November mit deutlichem Abstand über die Bodenwiderstandswerte der Grubber- und Direktsaatvariante. Hieraus ist zu folgern, daß mit der Pflugarbeit zunächst eine Überlockerung einhergeht und diese in sich außerordentlich instabil ist. Es sei daher die Anmerkung erlaubt, daß es wenig sinnvoll erscheint, mit hohem Energieaufwand Bodenbearbeitung zu betreiben, ohne damit einen spezifischen Strukturvorteil zu erlangen. Die höhere Bodenfestigkeit im Ober-

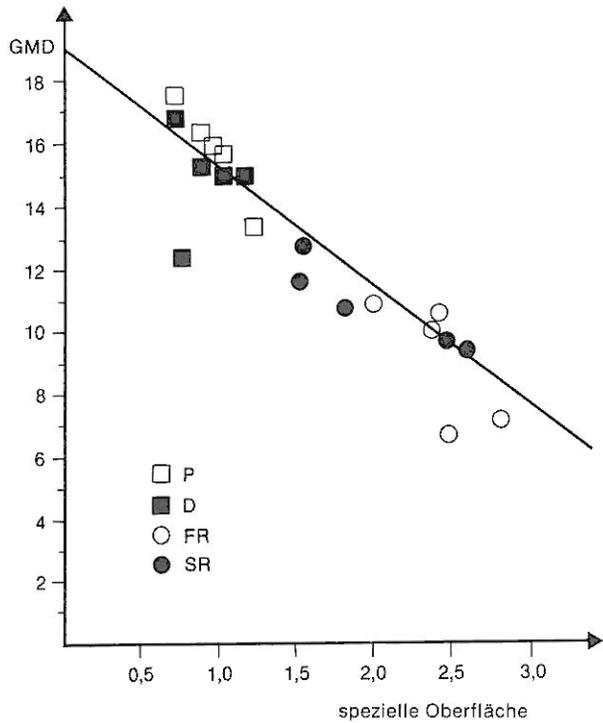
#### Aggregatgrößenverteilung

Standort Wernborn

Darstellung 4

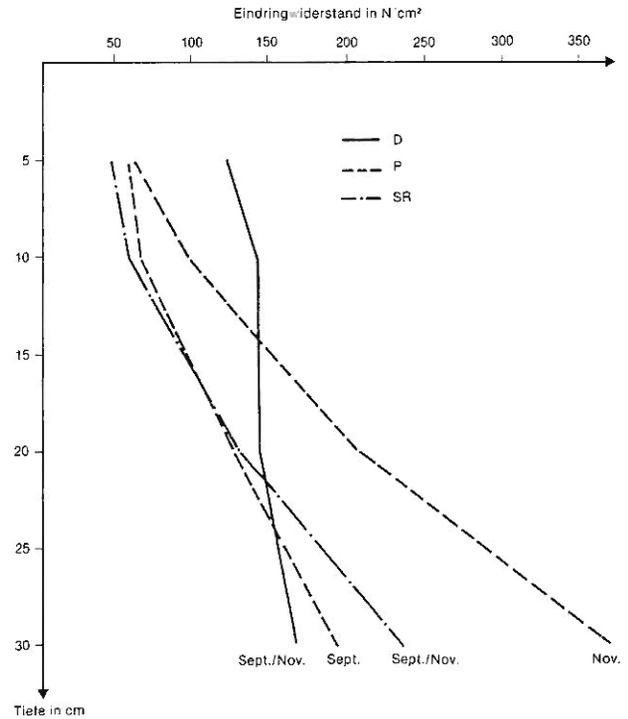
	cm Lage + Tiefen- bereich	m <sup>2</sup> /litr Spezifische Oberfläche	Standard- abweichung	mm GMD Mittelwert	% Mittelwert < 0,25 mm	% Standard- abweichung	% Mittelwert > 40 mm	% Standard- abweichung
FR	0—10 u	2,36	0,348	9,89	2,32	1,028	1,00	1,20
	0—10 o	2,16	0,364	—	3,62	0,943	4,05	5,39
	10—25 u	1,76	0,641	—	2,20	1,152	15,20	10,84
	10—25 o	1,56	0,602	—	1,88	0,785	16,00	18,92
SR	0—10 u	2,04	0,571	10,63	2,75	0,436	8,48	10,50
	0—10 o	2,08	0,270	—	3,23	0,759	5,65	8,892
	10—25 u	1,58	0,20	—	2,25	0,557	10,73	6,809
	10—25 o	2,10	0,63	—	3,52	1,144	9,93	8,84
SR—2	0—10 u	2,65	0,192	—	5,20	0,942	1,13	1,305
	0—10 o	2,81	0,467	—	4,88	1,292	1,78	1,42
	10—25 u	2,16	0,37	—	3,95	0,971	8,5	5,95
	10—25 o	1,93	0,293	—	3,55	0,785	13,00	6,414
P	0—10 u	0,96	0,198	15,79	1,68	0,386	32,68	7,75
	0—10 o	1,41	0,416	—	1,88	0,873	12,50	2,15
	10—25 u	0,95	0,28	—	1,75	0,794	34,55	10,67
	10—25 o	1,26	0,177	—	1,98	0,171	7,98	5,795
D+P	0—10 u	1,22	0,442	—	2,05	0,573	22,21	18,15
	10—25 u	1,28	0,43	—	2,14	0,85	15,91	9,56
D	0—10 u	1,07	0,269	14,92	2,06	0,778	21,44	10,66
	10—25 u	1,16	0,138	—	1,88	0,506	16,65	3,973
S	0—10 u	1,32	0,203	—	2,75	0,428	4,81	4,74
	10—25 u	1,1	0,217	—	2,18	0,69	17,20	10,45

Darstellung 5



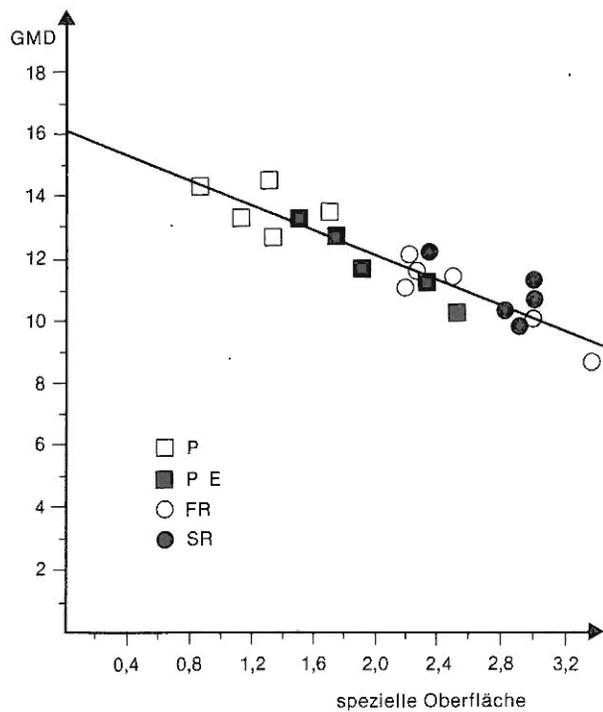
Regressionsgrade zwischen GMD (mm)/  
spezifischer Oberfläche (m<sup>2</sup>/ltr)  
Standort Wernborn

Darstellung 7



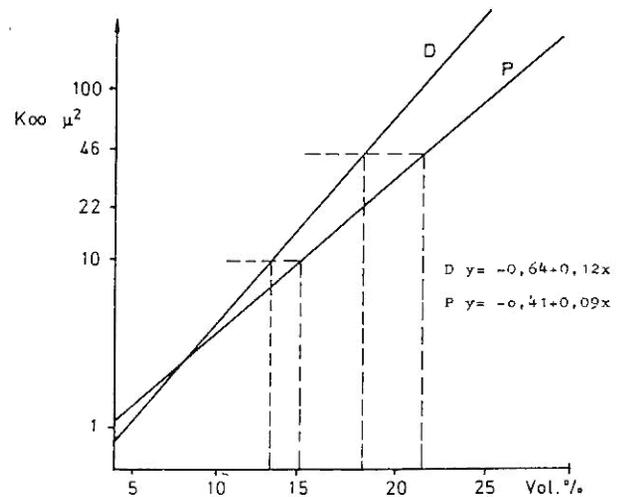
Tiefenfunktion des Bodenwiderstandes (25% H<sub>2</sub>O)  
nach 6jähriger unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Darstellung 6



Regressionsgrade zwischen GMD (mm)/  
spezifischer Oberfläche (m<sup>2</sup>/ltr)  
Standort Ossenheim

Darstellung 8



Luftdurchlässigkeit (in μ<sup>2</sup>) in Abhängigkeit  
der Grobporen > 50 μm (n., Vorderbügge)

krumenbereich der D-Variante dagegen kann durchaus als positiv bewertet werden, denn der Boden kann meist ohne Gefahr für größere Druckschäden befahren werden. Dieser Aspekt wird bei Versuchsanstellungen oftmals nicht berücksichtigt.

Die am meisten verbreiteten Methoden, Folgen unterschiedlicher Bearbeitungssysteme auf das Bodengefüge zu erfassen, sind die Bestimmung der Lagerungsdichte, hier ausge-

drückt als Trockenraumgewicht (TRG bei 105°C), sowie der Anteil an Grobporen größer 50 µ. Tab. 1 zeigt diese Werte für die Systeme FR, P und D aus dem Jahr 1984 (VORDERBRÜGGE).

Tabelle 1

cm Tiefe	FR		P		D	
	TRG g/cm	Vol.-% 50 µm	TRG g/cm	Vol.-% 50 µm	TRG g/cm	Vol.-% 50 µm
0—4	1,34	12,6	1,28	17,6	1,36	13,0
12—16	1,33	16,9	1,31	17,8	1,47	12,0
20—24	1,36	14,2	1,36	18,0	1,44	14,0

Die gefundenen Lagerungsdichten von 1,28 bis 1,77 g/cm<sup>3</sup> sind aufgrund der Bodenart uL als gering bis mittel zu bezeichnen.

Es fällt auf, daß das System ohne Bearbeitung (D) gegenüber der P-Variante über die gesamte Tiefe die höheren Dichtewerte sowie die geringeren Porenvolumina aufweisen.

Für die Funktion der Grobporen ist aber nicht nur ihr Anteil am Bodenvolumen wichtig, sondern vor allem ihre Kontinuität. Ein Maß für die Kontinuität der Poren ist die Luftdurchlässigkeit, gemessen wurde nach der Methode KMOCH bei unterschiedlichen Wassergehalten (Entnahme pF 1,4; 1,8 und 2,0). Dieses Verfahren bietet die Möglichkeit, die Bedeutung der einzelnen Porengrößenklassen zu erfassen.

Die Auswertung (VORDERBRÜGGE) von jeweils 40 Einzelwerten ergab die in Darst. 8 aufgezeichneten Regressionsgeraden. Auf der Abszisse wurde der Anteil der Grobporen < 50 µm, auf der Ordinate die Klassen der Luftdurchlässigkeit Koo nach KMOCH im entlogarithmierten Maßstab abgetragen:

< 10 µ	sehr gering
10 — 22 µ	gering
22 — 46 µ	mittel
46 — 100 µ	gut
> 100 µ	sehr gut

Die gezeigte Darstellung ist in Ihrer Transparenz typisch. Gleiche Luftdurchlässigkeitswerte wurden in der D-Variante bei deutlich geringeren Grobporenanteilen als in der Pflug-Variante gemessen.

Ein Maßstab zur Beurteilung des Bodenzustandes ist die Bodenfestigkeit. Sie läßt Rückschlüsse auf die Bearbeitbarkeit zu, ferner können zumindest grobe Aussagen über die Setzungenvorgänge und Verdichtungen im Boden gegeben werden. Das Maß hierbei ist die Scherspannung, gemessen in N/cm<sup>2</sup>. Der Standort wurde direkt nach der Ernte und anschließender 25 cm tiefer Bearbeitung mit einem Abscherflügel untersucht. Nach der Ernte zeigten die Varianten SR und FR in allen Horizonten deutlich geringere Widerstandswerte als die Pflugvariante. Nach der Bearbeitung war in der Pflugvariante wegen zu lockeren Bodens keine Messung möglich. Bei den anderen Varianten ergab die Bodenbearbeitung eine ähnliche Lockerungswirkung in den Horizonten 10—20 und 20—30 cm. Im Horizont 0—10 dagegen weist die FR-Variante einen fast doppelt so hohen Wert wie die SR-Variante auf. Nach den vorgenommenen Zugkraftmessungen ist hierfür die rückverdichtende Walzenarbeit verantwortlich, denn das Gerätegewicht wird bei dieser Vollkombination über die Walze abgestützt (Darst. 9).

Darstellung 9

**Bodenfestigkeitswerte (Scherspannung und Regenverdaulichkeit) unter der Wirkung verschiedener Bodenbearbeitung im August 1982, Parabraunerde, Bodenfeuchte 10 %**

		Bearbeitungsvariante		
		P	SR	FR
Regenverdaulichkeit l/m <sup>2</sup> in min.	7,5 15,0	46 —	— 2,5—10,5	— 1,5—11,5
Scherspannung nach der Ernte N/cm <sup>2</sup>	Bodenhoriz.			
	0—10	6,05	3,93	3,48
	10—20	7,56	4,48	4,84
	20—30	10,65	5,81	7,14
nach 25 cm tiefer Bearbeitung N/cm <sup>2</sup>	0—10	—	0,8	1,5
	10—20	—	2,9	3,1
	12—30	—	5,0	5,4

Um die optisch gut erkennbare Verschlammung dieses Standortes zu erfassen, wurde eine Methode entwickelt, die geeignet erscheint, das kurzfristige Wasseraufnahmevermögen, wie z. B. bei einem Starkregen, beurteilen zu können. Hierzu wurde ein Eisenrohr von 15 cm Ø 20 cm tief in den Boden getrieben und eine definierte Wassermenge in einem Guß aufgegeben. Die Zeit bis zum völligen Versickern des Wassers dient als Maß der Regenverdaulichkeit. Während auf der Pflugparzelle zum Erntetermin eine simulierte Regenmenge von 7,5 l/m<sup>2</sup> zum Versickern 46 Minuten benötigte, konnte die doppelte Wassermenge bei den anderen Varianten bereits in einer wesentlich kürzeren Zeitspanne aufgenommen werden. Daraus kann gefolgert werden, daß nicht wendend arbeitende Geräte, die die Ernterückstände oberflächennah einbringen, bezüglich Wasserhaushalt, Erosion und Verschlammung im Vergleich zur Pflugarbeit positiv zu beurteilen sind (Darst. 9, 10, 11). Auch das Porenvolumen und die Porengrößenverteilung auf diesem Standort weisen in die gleiche Richtung und lassen Rückschlüsse auf die Luft- und Wasserverhältnisse derart bearbeiteter Böden zu. So weisen die Kombinationen SR und FR zum Erntetermin gegenüber dem Pflug ein höheres Gesamtporenvolumen auf; für die Pflanzen bedeutender aber sind die anteiligen Grob- und Mittelporen, deren Kennzeichen Gasaustausch, Infiltrationsrate und pflanzenverfügbares Wasserangebot darstellen. Hier erreichen die Gerätekombinationen im Bereich 50 µ (luftführend) und im Bereich 0,2 bis 10 µ (Kapillarwasser) höhere Anteile (Darst. 12).

Die zunehmende Masse aus organischen Rückständen verlangt eine gleichmäßige Verteilung und Einarbeitung, um die Abbau- und Rotteprozesse zu gewährleisten. Aus diesem Grunde ist die Qualität der Einarbeitung und Verteilung der organischen Massen für einen Verfahrensvergleich von besonderer Bedeutung. Die wendend arbeitende Pflugfurche legt die Masse der organischen Substanz — selbst bei vorhergehender Stoppelbearbeitung mit dem Grubber — in einer Tiefe von 15—25 cm schichtweise ab. Dadurch entstehende Strohpackete verrotten sehr schlecht, können wachstumshemmende Substanzen aufgrund des vorherrschend reduktiven Milieus bilden, verhindern oft den nötigen Wurzeltiefgang, unterbinden bei Trockenheit den kapillaren Wasseraufstieg in den Saathorizont, führen zu Staunässebildung bei anhaltenden Regenfällen und bilden keinen wirksamen Erosions- und Verschlammungsschutz. Zur genauen Bestimmung der Verteilung wurden dem Boden mit einem Bodenhobel Schichten von 5 cm entnommen und durch Abschwemmen die organische Substanz ermittelt.

Im Arbeitsbereich der zapfwellenangetriebenen Rotoren bis 10 cm Eingriffstiefe lassen sich bei den Varianten FR und SR 90 % bzw. 75 % der Gesamtmenge der organischen Masse nachweisen, auf der Pflugparzelle sind es nur 17 %.

Der größte Anteil der pflanzlichen Rückstände mit über 60 % liegt hier im Bereich 15–25 cm vergraben.

Zur Ermittlung der Abbaurates wurde der Boden im Frühjahr erneut schichtweise entnommen. Bei der Pflugvariante lag die Abbauleistung nur bei 26 %. Die Grubberkombinationen (SR und FR) lagen mit 45 % bzw. 36 % deutlich darüber, während bei der Direktsaat bis zu diesem Stadium so gut wie keine Abbauleistung festzustellen war (Darst. 13).

Die oberflächennahe Einarbeitung und homogenere Verteilung führt zu höheren Abbauraten und Zersetzungsgraden des organischen Materials. Nach fünfjähriger regelmäßiger Stroheinarbeitung von insgesamt 352 dt/ha bei der Variante P bzw. von ca. 379 dt/ha bei SR und FR betrug die Abbauleistung der Variante P 52 %, der SR 92 % und der FR 94 %.

Auch die Entnahme von Bodenblöcken zum Erntetermin läßt in 25 cm Tiefe, dies entspricht dem Bearbeitungshorizont, ebenfalls die Strukturunterschiede erkennen. Während bei der P-Variante noch ein Großteil unverrotteten Materials zu erkennen ist und die Probe ein kantiges plattiges Gefüge mit geringer Durchwurzelungsintensität aufweist, zeigen die beiden anderen Varianten krümelige Struktur mit guter Durchwurzelung und ausgeprägter Porenkontinuität durch Bioturbation.

Zahlreiche Untersuchungen verdeutlichen, daß durch ein möglichst homogenes Einarbeiten der Pflanzenrückstände in den oberen Krumbereich nicht nur der Gefahr von Ero-

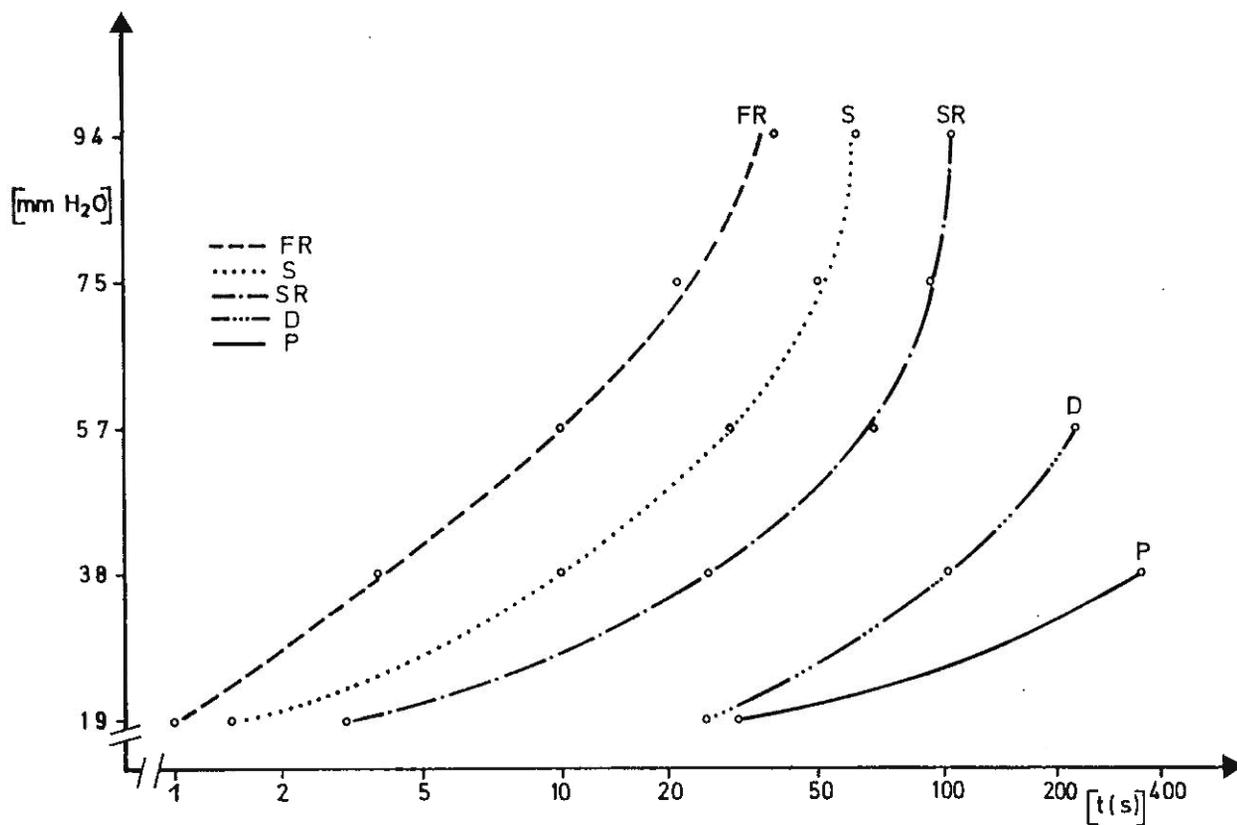
sion und Verschlammung entgegengewirkt werden kann, sondern dies auch die Lebensbedingungen der an der Umsetzung des organischen Materials beteiligten Organismen in erheblichem Umfang fördert, in deren Folge der Um- und Abbauprozess der Pflanzenrückstände und damit die sog. Lebendverbauung begünstigt wird.

Ein wichtiger Parameter für die Abbauintensität der Mikroorganismen stellt die Atmungsmessung dar. Auch hier zeigten die Varianten SR und FR über die beiden Bodenhorizonte wie über die Zeit eine deutlich höhere Atmungsaktivität. So lag eine  $\text{CO}_2$ - Abgabe dieser beiden Varianten noch nach 72 h auf dem Niveau der Pflugvariante zu Beginn der titrimetrischen Bestimmung (Darst. 14).

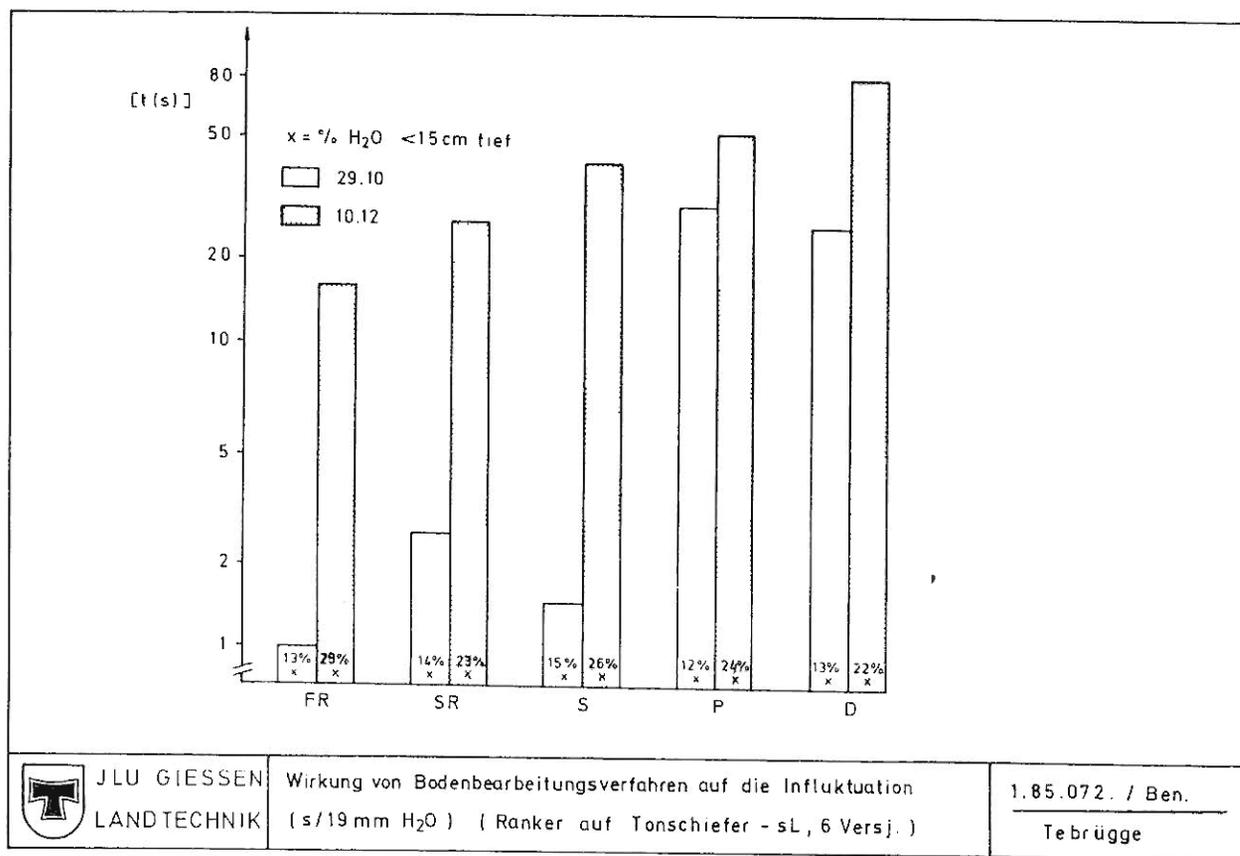
Optimalerträge hinsichtlich der ökonomischen wie ökologischen Gesamtbilanzen stehen nicht selten im Widerstreit. Dennoch sind die Bodentiere, wie schon angedeutet, maßgeblich an der Erhaltung und der heute verstärkt geforderten Bodenfruchtbarkeit beteiligt. Bodentiere verbessern die Bodenstruktur, wobei die grabenden Formen wie z. B. Regenwürmer, kontinuierlich stabile Hohlräume schaffen, die der Infiltration und Durchlüftung dienen.

Vor diesem Hintergrund galt es zu untersuchen, welche Wirkung von den verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren bei Daueranwendung auf die Regenwurmpopulation ausgehen kann. Die Ergebnisse im 5. Versuchsjahr verdeutlichen diesen Zusammenhang (Darst. 15). Sowohl in der aufgetragenen Biomasse, der Individuenzahl, dem Nahrungsbedarf und dem Röhrenvolumen läßt sich ableiten, daß mit abnehmender Bearbeitungsintensität und oberflächennaher Stroheinarbeitung bzw. Strohaufgabe die Entwicklung der Lumbriciden in erheblichem Umfang gefördert wird. Sicher-

Darstellung 10 Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf die Infiltration ( $\text{mm H}_2\text{O} - \text{s}^{-1}$ ) (Ranker auf Tonschiefer —sL, 6. Versj. — 29. 10. 85, 13 %  $\text{H}_2\text{O}$ )



Darstellung 11



JLU GIESSEN  
LANDTECHNIK

Wirkung von Bodenbearbeitungsverfahren auf die Infiltration  
(s/19 mm H<sub>2</sub>O) (Ranker auf Tonschiefer - sL, 6 Vers.j.)

1.85.072. / Ben.  
Tebrügge

Darstellung 12

Porengrößenverteilung unter dem Einfluß verschiedener Bodenbearbeitung

(Parabraunerde August 1982, 2. Vers.j., n = 7)

Porengrößenverteilung in % (Dichte d. Festsubstanz 2,67)						
Variante	Bodenhorizont	GPV	> 50 μ	10-50 μ	0,2-10 μ	< 0,2 μ
P	0-10	45,5	9,66	5,9	17,5	12,5
	10-20	44,7	9,5	4,9	17,7	12,7
SR	0-10	47,9	12,6	5,0	19,6	10,7
	10-20	46,1	9,5	4,5	21,1	11,0
FR	0-10	48,6	14,4	4,9	17,9	11,5
	10-20	48,2	14,4	4,2	18,0	11,6

Darstellung 14

Bodenbiologische Untersuchungen

— Parabraunerde, suL, Bp. 60 —

Biologische Atmungsaktivität in mg CO <sub>2</sub> /20 g Boden					
Variante	Bodenhorizont	24 h	48 h	72 h	Summe
P	0-12,5	18,887	17,035	10,739	46,661
	12,5-25	18,146	17,035	12,221	47,402
SR	0-12,5	24,442	25,182	18,516	68,140
	12,5-25	19,998	21,479	14,443	55,920
FR	0-12,5	24,442	24,442	19,627	68,511
	12,5-25	21,479	19,998	17,405	58,882

Darstellung 13

Strohverteilung über die Horizonte in % (Herbst) und Abbaurate bis Frühjahr in %

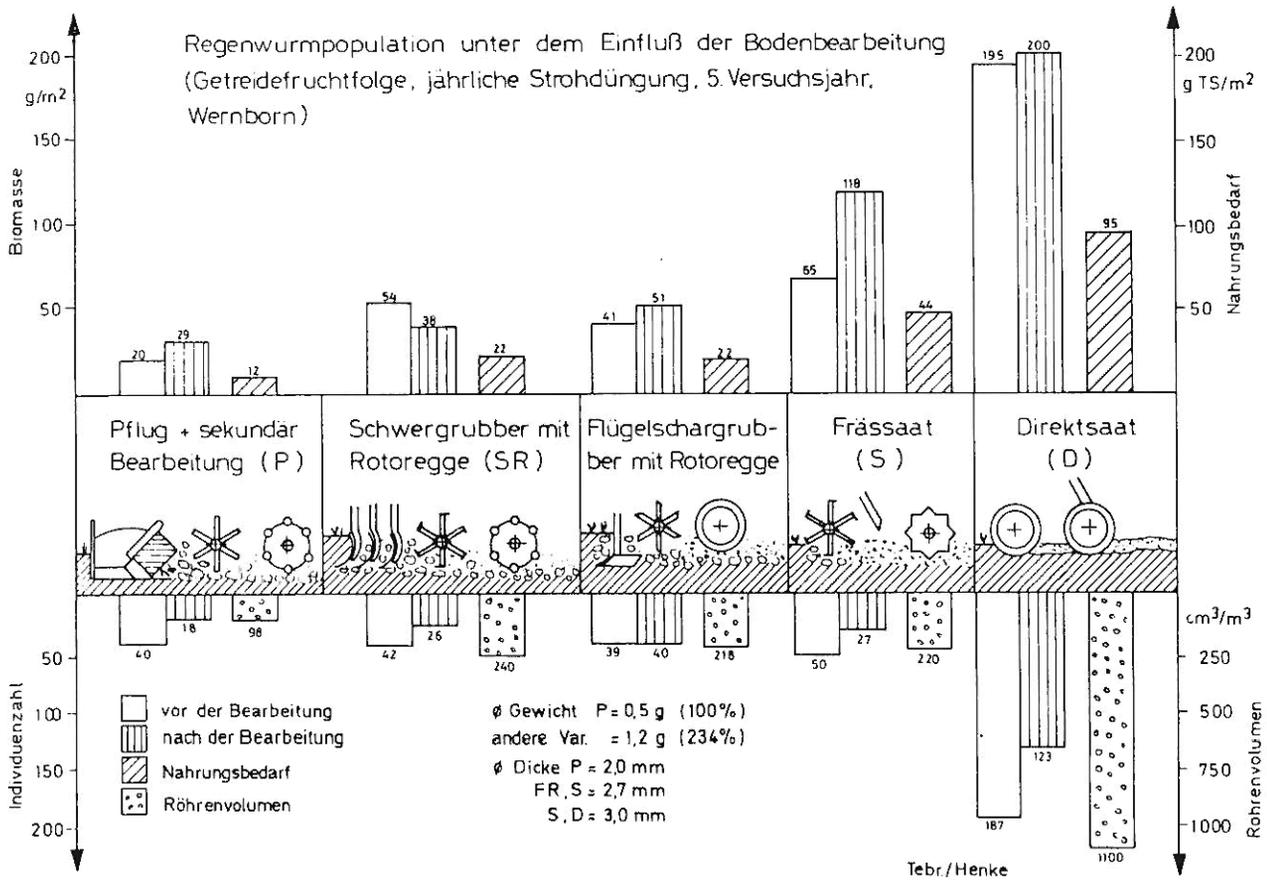
Variante	Horizonte						Abbau in %
	0-5 cm	5-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	20-25 cm	Abbau in %	
P	9,1	8,3	17,4	16,3	32,6	33,7	26,0
SR	51,4	23,3	74,7	16,5	4,8	4,0	44,6
FR	59,8	29,3	89,1	5,0	2,7	3,2	36,2
D	91,7	4,2	95,9	2,0	1,0	1,1	1,9

lich ließen sich, sofern finanzielle Mittel vorhanden wären, ähnliche Tendenzen auch für andere Mikro- und Makroorganismen nachweisen.

Die extrem hohe Biomasse auf den Direktsaatparzellen mit 200 g/m<sup>2</sup> kann meist nur unter sehr guten Dauergrünland nachgewiesen werden. Dies zeigt, daß durch Bodenruhe auch in reiner Getreidefruchtfolge eine erhebliche Strukturverbesserung insbesondere hinsichtlich deren Homogenität erreicht werden kann. Das Röhrenvolumen, wie die aufgezeigten Bodenwiderstandswerte, mögen hierfür als Indiz angesehen werden.

Biomasse wie Individuenzahl bestimmen den Nahrungsbedarf, der bei der D-Variante mit 95 g/TS m<sup>2</sup> und Jahr nach

Darstellung 15



Werten von BAUCHHENSS berechnet wurde. Der vergleichsweise hohe Bedarf der D-Variante erklärt aber auch die Feststellung, daß selbst nach jährlicher Strohaufgabe keine Akkumulation von Ernterückständen auf Direktsaatparzellen stattfindet.

Geräte mit nicht wendender Arbeitsweise belassen die organischen Rückstände auf bzw. nahe an der Bodenoberfläche. Dies fördert zwar einerseits die Verrottung und verhindert auf gefährdeten Standorten weitgehend die Erosion durch Wind und Niederschläge, stellt aber andererseits die Aussaattechnik vor erhebliche Probleme. Denn es ist nicht die Bodenbearbeitung, die die Drilltechnik bestimmt, sondern vielmehr setzte die unzulängliche Drilltechnik bislang

überwiegend die Maßstäbe für die Bodenbearbeitung im Sinne des aufgeräumten sauberen Tisches.

Tabelle 2 und 3 geben die Pflanzenerträge über die Versuchsjahre von zwei Standorten mit jährlicher Strohdüngung wieder. Eine Umstellung der Ablagetechnik erfolgte im zweiten bzw. dritten Versuchsjahr.

Zur Beurteilung verschiedener Saattechniken unter dem Aspekt veränderter Bearbeitungsmethoden ist es zwangsläufig notwendig, jene innerhalb eines Bodenbearbeitungsverfahrens zu vergleichen, um damit die Wirkung, die von der Art und Intensität der Bodenbearbeitung ausgehen kann, zu eliminieren.

Tabelle 2

Einfluß der Bodenbearbeitung und Bestellung auf den Ertrag (dt/ha) — jährl. Strohdüngung — Standort: Hassenhausen-Ebsdorfer Grund (sul)

	W. W. 79/80 <sup>1</sup>	W. G. 80/81 <sup>1</sup>	Hafer 81/82 <sup>1</sup>	W. W. 82/83 <sup>2</sup>	W. G. 83/84 <sup>2</sup>	Raps 84/85 <sup>2</sup>	∅ in %
Stoppelgrubber mit Nachläufer Pflug gez. Saatbettkomb.	56,8	46,0	61,9	85,1	70,0	39,3	100
3-balkiger Grubber mit Mulchrotor	68,8	51,4	61,0	90,4	73,0	36,8	106
Flügelschargrubber mit Zinkenrotor	69,0	51,3	63,0	92,8	81,0	37,4	110

1 Aussaat mit Schleppscharen  
 2 mit Scheiben-Bandsärscharen

Tabelle 3

**Einfluß der Bodenbearbeitung und Bestellung auf den Ertrag (dt/ha) — jährl. Strohdüngung —**  
 Standort: Wernborn-Taunus (Schieferverw.)

	W.W. 80/81 <sup>1</sup>	W.G. 81/82 <sup>2</sup>	Hafer 82/83 <sup>2</sup>	W.W. 83/84 <sup>2</sup>	S.G. 85 <sup>2</sup>	Ø in %
Stoppelgrubber mit Nachläufer Pflug Zapfw.-Egge mit Packer	37,9	65,8	48,7	66,9	68,8	100
3-balkiger Grubber mit Mulchrotor	39,7	73,7	54,4	66,0	71,2	106
Flügelschargrubber mit Zinkenrotor	37,4	72,1	58,1	70,8	73,7	108
3-Scheiben-Direktsaatmaschine (vor Saat Spritzung mit Gramoxone)	36,0	66,5	49,5	67,2	69,0	100
Frässaatmaschine (Sänavator)			48,0	51,1	72,6	93

- 1 Aussaat mit Schleppscharen  
 2 mit Scheiben-Bandsäscharen

Die Darstellung 16 verdeutlicht, daß durch eine gezielte Anpassung der Ablagetechnik an die oberflächennahe Einarbeitung der organischen Substanz (70 dt/ha gehäckseltes Stroh) die Höhe des Pflanzenertrages deutlich zu beeinflussen ist. Darüber hinaus ist zu erkennen, daß gleiche Saatechniken bei unterschiedlicher Bodenbearbeitung zu unterschiedlichen Ertragsleistungen führen können, wenn sich im Saathorizont unterschiedliche Mengen an organischem Material befinden.

Faßt man die Ausführungen zusammen, so lassen sich folgende zu- bzw. abnehmende Tendenzen und Hypothesen bei Anwendung reduzierter konservierender Verfahren erkennen (Darst. 17).

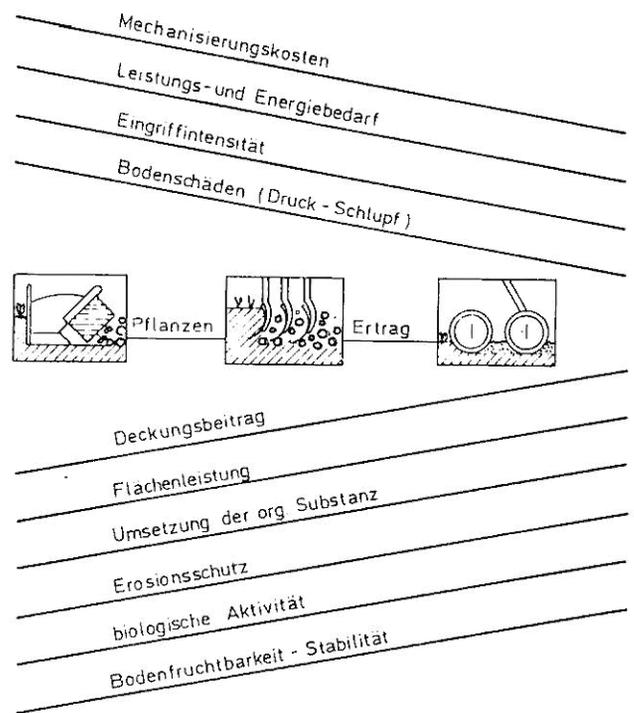
Die Mechanisierungskosten für Schlepper, Gerät und Lohn nehmen ab. Der Leistungs- und Energiebedarf sinkt mit abnehmender Eingriffintensität, wobei Bodenschäden durch Druck und Schlupf reduziert werden.

Bei sachgerechter Anwendung, und hier sollte auch an eine überbetriebliche Nutzung gedacht werden, kann der Deckungsbeitrag erhöht werden. Die Flächenleistung liegt bis zu 100 % über derjenigen der konventionellen Verfahren. Dies schafft Raum für dispositive Entscheidungen im Sinne der schlagkräftigen Ausnutzung optimaler Bestelltermine.

Durch die homogene Einmischung der organischen Restsubstanzen kann der Erosionsschutz auf gefährdeten Standorten erheblich verbessert, die Umsetzung dieser Sub-

Darstellung 17

Tendenzen von Bodenbearbeitungssystemen



Darstellung 16

**Wirkung angepaßter Saatechnik an das Bodenbearbeitungssystem (4. Vers.j. Hafer dt/ha)**

Säverfahren	Bodenbearbeitung	Ertrag (dt/ha)
Rollschar	1-balkiger Flügelschargrubber mit Rotoregge und Packerwalze (60% Stroh im Bodenhoriz. 0—5 cm)	50,3
Im Erdstrom Bandsaat		58,4
Breitsaat		61,5
Rollschar	3-balkiger Doppelherzchargrubber mit Mulchrotor (50% Stroh im Bodenhoriz. 0—5 cm)	56,5

stanzen beschleunigt, die biologische Aktivität gesteigert und durch diese Wechselwirkungen die natürliche Bodenfruchtbarkeit und Gefügestabilität erhöht werden.

Rationelle, schonende Bodenbearbeitung dient als stützende Funktion der Erhaltung oder Entfaltung einer dauerhaften Bodengare. Das Sprichwort „Weniger ist oft mehr“ kann in übertragenem Sinne auch für die Bodenbearbeitung zutreffend sein und ist im Sinne des ökonomisch erzielbaren Gewinns zu nutzen. Die Verfahren der nicht wendenden Bodenbearbeitung werden an Bedeutung zunehmen, sofern die Saatgutablagetechnik diesen spezifischen Bedingungen gerecht wird.

## Ausmaß und Ursachen der Bodenerosion

### Vorbemerkung

Im folgenden ist ausschließlich von der Bodenerosion durch Wasser im Bereich intensiv landwirtschaftlich genutzter Böden des gemäßigt humiden Klimabereichs die Rede, obwohl in solchen Gebieten die Bodenverluste durch oberflächlich abfließendes Wasser im allgemeinen deutlich geringer sind als in tropischen Gebieten, da in diesen die Intensität der Starkregen meist höher ist. Zur Besorgnis gibt jedoch Anlaß, daß auch in gemäßigt-humiden Gebieten bei hoher Bodennutzungsintensität der Bodenabtrag in der letzten Zeit zugenommen hat. Vom Ausmaß und den Ursachen des Bodenabtrags solcher Gebiete ist im folgenden die Rede.

### 1 Ausmaß der Bodenerosion

Repräsentative Werte für den Bodenabtrag sind deswegen erst aus langjährigen Messungen zu bekommen, weil das Starkregengeschehen sehr großen zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Häufig wird der Bodenabtrag mehrerer Jahre durch ein oder wenige katastrophale Ereignisse bestimmt. Leider gibt es nur sehr wenig solcher langfristigen Messungen. An ihre Stelle sind daher Messungen der Stoffverteilungen an Hängen getreten, aus denen man auf die laterale Bodenverlagerung rückgeschlossen hat. Solche Messungen wurden z. B. mit dem aus Spritzmitteln stammenden Kupfer im Hopfenanbaugebiet der Hallertau in Bayern durchgeführt. Sie haben bei einer Hopfennutzung bis zu 45 Jahren an 6 Hängen Abträge bis zu 60 t pro Jahr und ha ergeben.

Eine Bodenkartierung in einer bayrischen Lößlandschaft hat gezeigt, daß weit mehr als die Hälfte der Lößbodenprofile in dieser Landschaft stark bis sehr stark erodiert (geköpft) sind. Erosion tritt also schon seit Beginn der Ackernutzung auf.

Die jährlichen Bodenverluste in den meisten dieser Gegenden sind deutlich größer als die jährliche Bodenneubildungsrate, die je nach den Bodenbildungsbedingungen zwischen 0,01 und 0,2 mm angesetzt werden kann. Demgegenüber entspricht der Verlust von 13—15 t Boden bereits einem Millimeter Boden.

### 2 Auswirkungen der Bodenerosion

Im erodierten Teil der Hänge lassen sich z. T. erhebliche Ertragsdepressionen durch Bodenabtrag feststellen. Dies gilt insbesondere für solche Bodenprofile, deren tiefere Teile aus einem ökologisch deutlich minderwertigeren Material bestehen. Die Ursachen für die Ertragseinbußen liegen einerseits im Nährstoff- und Humusverlust durch die Erosion, stärker jedoch noch in der Abnahme der Wasserspeicherung in solchen erodierten Profilen, in denen eine geringmächtige Schluffdecke über Kiesen und Sanden liegt.

Neben dem Verlust an langfristiger Ertragskapazität an den erodierten Teilen der Hänge kommt es im Bereich der Akku-

mulation zu Schädigungen des Pflanzenbestandes, zur Zerstörung oder Blockierung von Verkehrswegen und zum Nährstoffeintrag in Vorfluter. Es ist insbesondere diese stoffliche Kommunikation zwischen den beiden Ökosystemkompartimenten Böden und Gewässer, über die kaum Messungen vorliegen.

### 3 Ursachen der Bodenerosion

Die Ursachen werden am besten aus dem Mechanismus der Erosion verständlich. Der Erosionsprozeß besteht aus 2 Teilprozessen, nämlich der Applikation von kinetischer Energie der Regentropfen auf die Bodenoberfläche, bei der Bodenmaterial losgeschlagen wird, und dem Transport lockeren Materials mit oberflächlich abfließendem Wasser hangabwärts. Hierbei wird durch die Scherkräfte des fließenden Wassers weiteres Bodenmaterial losgerissen. Die notwendigen Voraussetzungen für die Bodenerosion sind also Regentropfenenergie, unbedeckte Oberfläche, transportierbares Material, Oberflächenabfluß und Gefälle. Von diesen Faktoren lassen sich die Regentropfenenergie nicht und das Gefälle kaum beeinflussen. Dagegen kann man stärkeren Einfluß nehmen auf die Bedeckung der Oberfläche, die Menge an transportierbarem Material und den Oberflächenabfluß. Und es sind diese Faktoren, bei denen Schutzmaßnahmen in der Regel ansetzen.

Die Bedeckung der Oberfläche wird im wesentlichen durch die Vegetation (einschl. Unkraut) bestimmt. Die verschiedenen Kulturpflanzen haben einen sehr unterschiedlichen zeitlichen Verlauf der Oberflächenbedeckung während des Wachstums. Während Futterpflanzen, Getreide und Raps im allgemeinen während der Hauptstarkregenzeit (Mai bis August) eine gut geschützte Oberfläche garantieren, bedecken Zuckerrüben und insbesondere Mais die Oberfläche zu Beginn dieser Periode noch ungenügend. Dies hat zur Folge, daß dann, wenn Mitte Mai die Intensität der Gewitter zunimmt, Getreideschläge meistens schon gut geschützt sind, während Zuckerrüben und insbesondere Mais die Bodenoberfläche kaum gegen den aufprallenden Regen schützen. Der Mais bietet also innerhalb der verbreiteten Fruchtfolgen den geringsten Erosionsschutz.

Dieser Tatbestand ist insofern gravierend, als von 1968—1985 die Anbaufläche von Mais in der Bundesrepublik von etwa 200 000 ha auf 1,1 Mio. ha zugenommen hat. Daher läßt sich aus den Anbauverhältnissen ableiten, daß allein durch Fruchtfolgeänderungen die Erosionsgefahr in der BRD um ca. 30 % und in Bayern sogar um 60 % angestiegen ist.

Die Menge an transportierbarem Bodenmaterial und die Menge des oberflächlich abfließenden Wassers sind sehr stark von dem Strukturzustand der obersten Zentimeter des Bodens abhängig. Jede Schwächung der Aggregation führt dazu, daß die Regentropfen mehr Feinmaterial produzieren, das mit dem Oberflächenabfluß den Hang heruntertransportiert werden kann. Gefügeschwächung führt aber auch dazu, daß der oberste Zentimeter des Bodens während des

Regens verschlämmt und damit die Infiltrationskapazität herabgesetzt wird. Dieses fördert den Oberflächenabfluß. Gefügeschonende Bodenbearbeitung, Humuszufuhr durch organische Dünger und Zwischenfrüchte sowie Lockerung von Fahrspuren sind daher Maßnahmen, die durch Senkung des Oberflächenabflusses auch den Bodenverlust reduzieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Vergrößerung des Bodenabtrags liegt in der Verlängerung der Schläge in Gefällerrichtung. In der Vergangenheit ist es im Rahmen der Flurneuordnung häufig zu einer solchen Verlängerung gekommen, weil hierbei generell die Flurstückgrößen anwuchsen und die Hangauf- Hangabbearbeitung dadurch gefördert wurde, daß die jeweils größte Hanglänge in Richtung des Gefälles verlief. Die Ursache hierfür war die wechselnde Bodenqualität entlang eines Hanges.

Es ist daher notwendig, daß bei der Flurneuordnung die Gefahr einer Erhöhung der Bodenerosion des Bodenabtrages sorgfältig erwogen wird. Dies ist in jüngster Vergangenheit an einem Beispiel im Bereich der Flurbereinigungsdirektion München in der Weise erfolgt, daß der potentielle Bodenabtrag jeder einzelnen Fläche berechnet wurde und die Neuzuteilung dann so erfolgte, daß der Bodenabtrag möglichst nicht erhöht wird. Dabei werden vorhandene Terrassen (sog. Ranken) weitgehend erhalten, in einzelnen Fällen sogar neu angelegt.



Eine falsche Einteilung der Feldflur, in der die Ackererschläge mit dem Gefälle der Hangflächen verlaufen, muß zwangsläufig zur Bodenerosion durch Oberflächenwasser führen. Foto: G. Olschowy



Eine sorgfältig mit Terrassenabsätzen gegliederte, ackerbaulich genutzte Landschaft im Marokko, die in Richtung der Höhenlinien bearbeitet wird, so daß ein Bodenabtrag weitgehend verhindert wird. Foto: G. Olschowy

## Schlußbemerkung

Der Bodenabtrag sollte nicht als hinzunehmende Naturkatastrophe betrachtet werden. Es war nicht das Ziel dieses Referats, Schutzmaßnahmen gegen die Bodenerosion zu erörtern. Diese stehen jedoch reichlich zur Verfügung. Die Basis für eine sinnvolle Auswahl solcher Maßnahmen ist die existierende Möglichkeit, den Bodenabtrag hinreichend genau zu quantifizieren. Diese Quantifizierungsmöglichkeit besteht auch für die Wirkung von Schutzmaßnahmen aller Art.

## Literatur

- AUERSWALD, K. (1985): Erosionsgefährdung unter Zuckerrüben und Sommergerste. Z. Acker- u. Pfl.-bau 155, 34—42.
- AUERSWALD, K.; KAINZ, M. u. VOGL, W. (1985): Vergleich der Erosionsgefährdung durch Maisfruchtfolgen (C-Faktoren). Bayer. Landw. Jahrbuch (im Druck).
- SCHWERTMANN, U. (und Mitarbeiter) (1981): Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser in Bayern (Handbuch zur Bodenerosion). Bayer. Staatsministerium ELF.
- SCHWERTMANN, U. (1985): Soil erosion-extent, prediction and protection in Bavaria. Workshop on land degradation due to hydrological phenomena in hilly areas. Cesena, Italien (im Druck).
- SCHWERTMANN U. u. VOGL, W. (1986): Landwirtschaft und Bodenerosion. VDLUFA-Schriftenreihe, 16. Kongreßband 1985, 7—17.

## Maßnahmen gegen Bodenerosionen

Wort und Begriff „Kultur“ bedeuten ursprünglich soviel wie „geordneter Landbau“. Doch der Mensch, der in der Lage ist, eine Landschaft fruchtbar zu machen und geordnet zu erhalten, ist auch fähig, sie zu zerstören. Die Geschichte vieler Völker lehrt, daß Blüte und Bestand einer Kultur wesentlich davon abhängen, ob es gelingt, den Boden und seine Fruchtbarkeit zu erhalten. Es seien hier nur erwähnt die blühenden Kulturen im paradiesischen Zweistromland zwischen Euphrat und Tigris, die hohe chinesische Kultur in den fruchtbaren Lößlandschaften, die Kultur der indianischen Mayas auf der Halbinsel Yucatan/Mexiko und in Guatemala, die ägyptische Kultur im fruchtbaren Tal des Nils und die zahlreichen Kulturen um das Mittelmeer, die sich auf den guten Böden entfalten konnten.

Mit der Vernichtung der Böden und der fruchtbaren Landschaften sanken auch diese Kulturen dahin. In neuerer Zeit gibt uns der nordamerikanische Kontinent ein warnendes Beispiel. In wenigen Jahrzehnten wurden hier große Teile Wald- und Weideland zur Wüste, „man made desert“ — von Menschen gemachte Wüste. Der aus der Not geborene staatliche Bodenerhaltungsdienst, der „Soil Conservation Service“, hat seitdem wertvollste Arbeit geleistet. Auch in Europa können wir eine menschlich bedingte Bodenzerstörung antreffen. Wir finden sie auf dem Balkan am Rande der Adria, in der Toskana und im Apennin, auf der Iberischen Halbinsel sowie im Dongebiet und in der Ukraine in der Sowjetunion. So sind z. B. in Italien 1,8 Mio ha Fläche mit pliozänen Tonböden bedeckt, die der Erosion verstärkt unterliegen. Weitere 6,5 Mio ha tragen Tonböden, die in ihren Eigenschaften etwa zwischen pliozänen und miozänen Tonen liegen, so daß zusammen rund 20 % der Oberfläche Italiens mit Bodenarten bedeckt sind, die im besonderen Maße durch Wassererosion geschädigt oder gefährdet sind. Auch Spanien sei vergleichsweise erwähnt. Die Waldvernichtung geht sicher weit zurück und hat bereits bei den seefahrenden Phöniziern und Karthagern begonnen, die das Holz zum Bau ihrer Schiffe benötigten. Der Abbau des Waldes aber ging durch Jahrhunderte weiter und wurde zum Schicksal von Land und Volk. Das örtliche und bedingt auch das überörtliche Klima, das Wasser und der Boden wurden beeinträchtigt. Spanien war einstmals eines der blühendsten Länder Europas, die Kornkammer des Römischen Reiches. Heute ist die Hälfte seines Bodens nicht mehr anbauwürdig. Der Anteil des Waldes ist auf 9,9 % der Gesamtfläche zusammengeschrunft.

Aber auch in unserem eigenen Lande dürfen die Augen vor dem Abtrag des Bodens in der Vergangenheit wie auch in der Gegenwart nicht verschlossen werden, auch wenn in den vergangenen Jahren — allein aus Gründen der Ertragsüberschüsse in der Landwirtschaft — das Problem unterbewertet wurde, wie es leider auch in der Fachliteratur der Fall ist. Vor allem wird der Bodenerosion durch Oberflächenwasser in der Bundesrepublik Deutschland zu wenig Beachtung geschenkt, weil die Abtragsvorgänge nicht immer offensichtlich sind. Aus wissenschaftlichen Arbeiten geht jedoch eindeutig hervor, daß z. B. früher viele unserer Mittelgebirge mit Löß bedeckt waren, der inzwischen abgetragen ist und hier nur noch in Senken und kleinen, zusammenhanglosen Lößinseln anzutreffen ist. WANDEL und MÜCKENHAUSEN (1950) haben dies z. B. für die Eifel und das ganze Rheini-

sche Schiefergebirge nachgewiesen. Während der Weg von der Naturlandschaft zur Kulturlandschaft lang war und sich über viele Generationen hinzog, kann der Weg von der Kulturlandschaft zur zerstörten Landschaft ein sehr kurzer sein.

Seit der ersten Zeit der bäuerlichen Landnahme, seitdem der Bauer den Wald rodete und das Land unter seinen Pflug nahm, bestimmt er maßgeblich das Gesicht und die Struktur vieler Landschaften. Es sind dies unsere bäuerlichen Kulturlandschaften. Wir empfinden diese Kulturlandschaften heute als harmonisch und schön und wissen doch, daß sie vom bäuerlichen Menschen nicht bewußt ästhetisch gestaltet worden sind. Vielmehr hatte hier alles seinen Sinn und seinen Wert, nichts war unnütz. Der Bauer hatte jedoch ein aktives Verhältnis zur Natur. Er handelte nicht gegen ihre Gesetze und nahm die natürlichen Faktoren der Landschaft — Boden, Wasser, Klima, Tier- und Pflanzenwelt — „in die Hand“, die er für Siedlungs- und Nahrungszwecke formte und nutzte. Er war im Sinne des Wortes noch ein „Bauender“. Er baute Terrassen, wo die Hangflächen zu stark geneigt waren, um sie zu ebenen. Tatsächlich sind viele ackerbauliche Kulturlandschaften von der Pflugfurche her entwickelt worden, d. h. die Zugkraft der Gespanne bestimmte die Schlägeinteilung und Schlaglänge und damit die Gliederung der Landschaft.

Während in der Vergangenheit der Bauer mit Recht auch als „Landschaftsgestalter“ tätig war, kann das für die moderne Intensivlandwirtschaft nicht mehr gelten. Die deutsche Landwirtschaft hat sich unter dem Druck der veränderten institutionellen Rahmenbedingungen einer Spezialisierung unterziehen müssen, um mithalten zu können. Der stürmische Strukturwandel wurde in der Zeit nach dem 2. Weltkrieg von einer regen Investitionstätigkeit begleitet. Die moderne Technisierung von Arbeitsvorgängen und damit Produktivitätssteigerung der Arbeitskräfte liefen parallel zu dieser Entwicklung. Die tierische Zugkraft ist von unseren Feldern verschwunden. Maschinen sind aus dem landwirtschaftlichen Produktionsprozeß nicht mehr wegzudenken. Das Erfordernis zum Ausbau des landwirtschaftlichen Wegenetzes steht in direktem Zusammenhang mit der Notwendigkeit zur Technisierung. Hinzu treten wasserbauliche Maßnahmen, Ausweisung großer Ackerschläge, verstärkter Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln und eine Änderung der Siedlungs- und Baustruktur, was sich alles auf Naturhaushalt und Bild der Landschaft auswirkt.

Die zunehmende Beseitigung von Flurgehölzen, naturnahen Landschaftsbestandteilen und Naturelementen verläuft parallel mit der zunehmenden Intensivierung der Landbewirtschaftung. Dieser Vorgang vollzog sich in Gebieten mit guten Böden besonders rasch, weil man diese Flächen unbedingt vollständig nutzen und unter den Pflug nehmen wollte. In besonderem Maße sind hiervon die Bördellandschaften betroffen, die in den vergangenen 100 Jahren weitgehend von Baum und Strauch ausgeräumt wurden, so z. B. am Niederrhein, in der Hildesheimer Börde und in der Wetterau. Nicht selten vollzog sich dies in der Vergangenheit im Zuge der Flurbereinigung, die es als ihre vornehmliche Aufgabe ansah, die durch die Realteilung bedingte Gemengelage und die zersplitterten Parzellen zu großen Flurstücken zusammenzulegen, die ohne Hindernisse mit modernen Ma-

schinen bearbeitet werden können. So sind in vielen Fällen Terrassen mit ihren bepflanzten Absätzen, Feldhecken und Knicks, Restwälder und Vogelschutzgehölze, Baumgruppen und Einzelbäume beseitigt und Feuchtgebiete entwässert, Wassergräben verlegt und Feldraine aufgehoben worden.

Art und Ausmaß der Bodenerosion durch Oberflächenwasser stehen in ursächlichem Zusammenhang mit den geologisch-bodenkundlichen und reliefmäßigen Gegebenheiten sowie dem Klima eines Landes, und hier vornehmlich den Niederschlagsverhältnissen. Diesen Faktoren kommt, wenn sie in ungünstiger Form vorliegen, eine wesentliche Bedeutung zu. Sie sind die Voraussetzung für den Bodenabtrag und beeinflussen den Grad der Degradation. Entscheidend bleibt jedoch — jedenfalls für den hier in Betracht kommenden Klimabereich — das Verhalten des Menschen, insbesondere die Art seiner Bodennutzung. Werden die genannten Faktoren in der Nutzung von Wald, Weide und Acker außer acht gelassen, so wird die Bodenerosion ausgelöst, sie wird durch die natürlichen Gegebenheiten begünstigt und kann schließlich zur Zerstörung weiter Landschaften und Beeinträchtigung des biologischen Potentials ganzer Länder führen.

An dem *Bodenabtrag durch Oberflächenwasser* ist maßgeblich eine falsche Bearbeitung der ackerbaulich genutzten Flächen, vor allem eine Bearbeitung senkrecht zu den Höhenlinien, beteiligt. Die mit hohen Mutterbodenschichten bedeckten Grenzsteine am Fuß von ackerbaulich bearbeiteten Hangflächen — diese Steine müssen im Zuge der Flurbereinigung freigelegt werden — sind Zeugen dieses Vor-

ganges. Der Abtrag wird weiter begünstigt durch die Beseitigung von Hangterrassen und Schutzpflanzungen, wodurch große Wassereinzugsgebiete geschaffen werden, die auch die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenwassers erhöhen. Die Wassererosion steht in ursächlichem Zusammenhang mit

1. Art und Struktur des Bodens,
2. Art des Niederschlags,
3. Hangneigung und Größe des Einzugsgebietes,
4. Schlageinteilung,
5. Bodennutzung und -bedeckung.

Als erosionsgefährdet gelten Lößlehme, verlehmtter Sandlöß, Flottsande, Buntsandsteinböden und schluffige Verwitterungsböden. Die mittelschweren Bodenarten sind der Wassererosion am meisten ausgesetzt. Böden, die aufgrund ihres Ton- und Humusgehaltes, einer guten Humusform und eines guten Basenzustandes eine günstige Krümelstruktur besitzen, lassen das Wasser schnell eindringen und verfügen über einen guten Zusammenhalt der Bodenteilchen. Häufigkeit und Intensität von Starkregen sind für das Ausmaß der Erosion ebenso bestimmend wie der Grad der Hangneigung. Im allgemeinen kann von 5 % Gefälle an mit Bodenerosion gerechnet werden, bei empfindlichen Böden auch bereits bei 3 %. Besonders gefährdet sind auch Hohlhänge (Hangmulden), in denen das Oberflächenwasser zusammenströmen kann. In weiten Hohlhängen ist das Horizontalsystem, beginnend mit der Lage der Ackerschläge in



Eine fünfreihige Schutzpflanzung auf einem erosionsgefährdeten Boden im Emslandmoor in Norddeutschland, die auf der Grundlage eines Landschaftsplanes angelegt worden ist.

Foto: G. Olschow

Richtung der Höhenlinien, besonders sorgfältig auszubilden. Steile und lange Hohlhänge sind in Grünland zu legen. Alle Wege sind mit Fang- bzw. Ableitungsgräben zu versehen.

Große Wassereinzugsgebiete sind durch Bodenschutzpflanzungen, Kulturterrassen, Wasserfanggräben und Konturfurchen zu untergliedern. Schutzpflanzungen sollen außerdem die Terrassenabsätze befestigen, abgespülten Boden auffangen, die Fließgeschwindigkeit des Wassers herabsetzen und das Wasser in ihrem Wurzelhorizont zum Versickern bringen. Terrassen sollen das Hanggefälle verringern, damit dem Wasser die hohe Schleppkraft nehmen und die Bodenbearbeitung in horizontaler Richtung erleichtern. Die Bearbeitung des Bodens in Hangrichtung beschleunigt den Abfluß des Wassers und fördert den Abtrag des Bodens, weshalb grundsätzlich die Ackerschläge in Richtung der Höhenlinien verlaufen sollen. Die Bearbeitungsmöglichkeiten mit motorischer Zugkraft in Richtung der Höhenlinien hört jedoch bei 18–20 % Hangneigung auf, aus betriebswirtschaftlichen Gründen aber schon früher.

Allgemein dürfte auch hier gelten, vorbeugen ist besser als heilen. Entsprechende Maßnahmen sind: Strukturverbesserungen des Bodens, Auswahl geeigneter Fruchtfolgen, verstärkter Zwischenfruchtanbau und Bevorzugung mehrjähriger Futterpflanzen. In den USA werden grundsätzlich gefährdete Hänge den Höhenlinien entlang gepflügt (contour ploughing), in gleicher Richtung Drillspuren, Furchen und Dämme gezogen und Ackerschläge im Wechsel mit mehrjährigen Futterpflanzen oder Gehölzstreifen quer zum Hanggefälle angelegt (stripe farming). Nach diesen Verfahren sollten sich auch unsere Bauern bei der Landnutzung richten. In besonders erosionsgefährdeten Landschaften sollten nicht unbedingt traditionelle Kleinparzellierungen aufgegeben, nicht jede alte Terrasse oder jeder mit Sträuchern bestandene Hochrain eingeebnet werden (ROSCHKE 1980).

Der *Bodenabtrag durch Wind* nimmt ständig zu und erreicht in trockenen Jahren beachtliche Ausmaße. In Niedersachsen werden die verwehungsgeschädigten Flächen mit 67 500 ha angegeben, und die Ertragsminderung wird auf diesen Flächen mit etwa 10 % angenommen. In Schleswig-Holstein wird die Ertragsminderung im Landesdurchschnitt auf 20 % geschätzt.

Entstehung und Ausmaß der Bodenerosion durch Wind sind im wesentlichen von folgenden Faktoren abhängig:

1. Art des Windes,
2. Art und Struktur des Bodens,
3. Relief und Größe des Einzugsgebietes,
4. Bodennutzung und -bedeckung.

Besonders gefährlich können sich lang andauernde Winde aus gleicher Richtung auswirken, sofern sie ohne Niederschläge auftreten. Sie trocknen den Boden stark aus und entziehen ihm das Wasser als wichtigstes Bindemittel.

Im allgemeinen sind leichte Bodenarten, denen bindige Tonanteile fehlen, besonders gefährdet. Böden der mittleren Korngrößenfraktion von 0,1 bis 0,5 mm sind stark an der Erosion beteiligt. Ein großer Teil unserer nordwestdeutschen Sandböden besteht überwiegend aus Korngruppen unter 0,5 mm Größe. Ausreichender Humusanteil im Boden wirkt erosionshemmend.

Das Einzugsgebiet des Windes wird bestimmt durch das Relief und die in der Landschaft verteilten Wälder, Waldstreifen, Feldhecken, sonstigen Feldgehölze, Siedlungen und dergl. mehr. Auf Höhen und in Tälern kann es zu einer Verdichtung der Strömungslinien kommen. In einer von Baum und Strauch ausgeräumten Landschaft findet der

Wind freie Anlaufflächen und kann sich erodierend auswirken. Das wirksamste Mittel, das Einzugsgebiet des Windes zu untergliedern und den Abtrag zu verhindern, ist in der Anlage von Windschutzpflanzungen gegeben. Sie vermindern die Windgeschwindigkeit besonders in Bodennähe und nehmen dem Wind die Angriffskraft auf den Boden.

Windschutzpflanzungen wirken sich besonders vorteilhaft auf den Wasserhaushalt des Bodens aus. Sie schützen gegen zu starke Wasserabgabe (Verdunstung) des Bodens und der Kulturpflanzen, erhöhen die Taubildung und die relative Luftfeuchtigkeit. Außerdem werden durch die Herabminderung der Windgeschwindigkeit die Faktoren Kohlensäure, Luft- und Bodenwärme vorteilhaft beeinflusst. Die Summe der einzelnen verbesserten Klimafaktoren ergibt eine Verbesserung der gesamten Wachstumsbedingungen. Der Ertrag der Kulturen und die Ertragssicherheit werden erhöht. Wissenschaftliche Ertragsversuche haben den Nachweis für viele landwirtschaftliche Kulturen und Gemüsekulturen erbracht. Den Einfluß von Windschutzanlagen auf das Kleinklima und den Boden hat vor allem KREUTZ (1963) gründlich erforscht. Er hat festgestellt, daß die Strömung an einem Hindernis angehoben und beschleunigt wird, um nach einer gewissen Entfernung abgeschwächt wieder die Grundfläche zu erreichen. Dadurch entstehen längs der Hecken im Luv schmale, im Lee breitere windgeschützte Zonen. Die gesamte Breite der Schutzzone ist abhängig sowohl von der Durchlässigkeit und der Höhe des einzelnen Hindernisses als auch von der Heftigkeit der Böen. Je dichter ein Hindernis ist, desto weniger wird es durchströmt, um so schmaler sind auch die geschützten Streifen. Bei geringer Durchlässigkeit ergeben sich günstigere Schutzzonen, deren Breite im Luv etwa die fünffache Höhe, im Lee etwa die fünfundzwanzigfache Höhe des Hindernisses beträgt.

Aufgrund seiner Forschungsergebnisse empfiehlt KREUTZ,

- die Schutzstreifen möglichst senkrecht zur vorherrschenden Windrichtung anzulegen, durch Querstreifen zusätzlichen Schutz nach allen Seiten sicherzustellen (wie bei den norddeutschen Knicks), die Schutzstreifen den Hügeln und Höhen, also dem Gelände, anzupassen und
- nur Gehölze anzupflanzen, die sich später als sturmfest erweisen (ROSCHKE 1980).

## Literatur

- WANDEL, G. u. MÜCKENHAUSEN, E., 1950: Neue vergleichende Untersuchungen über den Bodenabtrag an bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen im Nordrheinland. Geolog. Jahrb., Bd. 65, Hannover—Celle.
- MÜCKENHAUSEN, E., 1953: Der Bodenabtrag durch Wasser an bewaldeten und unbewaldeten Hangflächen im Nordrheinland. In: Unser Wald, H. 3.
- OLSCHOWY, G., 1962: Bodenerosion und Bodenschutz auf tertiären Tonböden unter besonderer Berücksichtigung italienischer Erosionsgebiete. Beiträge zur Landespflege, Bd. 1 (Festschrift für Heinrich Friedrich Wiepking); S. 147—169; Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KREUTZ, W., 1963: Windschutz als klimasteuernendes Element und Wirtschaftsfaktor. In: Beiträge zur Landespflege, Bd. 1, S. 251—273, Stuttgart.
- OLSCHOWY, G., 1976: Natur- und Umweltschutz in fünf Kontinenten. 251 S., Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin.
- RICHTER, G., 1978: Bodenerosion und Bodenschutz. In: OLSCHOWY, G.: Natur- und Umweltschutz in der Bundesrepublik Deutschland; S. 98—111; Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin.
- ROSCHKE, G., 1974: Land- und Bodenabtrag durch böigen Wind. In: Zeitschrift f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, H. 15, S. 6—20; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- ROSCHKE, G., 1980: Lineare Bodenerosion. In: Zeitschrift f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, H. 21, S. 171—181; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

## Die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung

Im Rahmen der zur Zeit laufenden Grünen Woche hat der Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten seine diesjährige Sonderschau in Halle 9c dem Thema Boden gewidmet. Bei der Auswahl und Festlegung dieses Themas haben die folgenden Überlegungen im Vordergrund gestanden:

1. Der Schutz des Bodens ist eine vorrangige umweltpolitische Aufgabe. Die Gefährdungen des Bodens sind mannigfaltig und unübersehbar. Im Gegensatz zu der früher landläufig geltenden Meinung, Boden sei unzerstörbar, gilt heute die Feststellung, daß Boden ein zu schützendes Gut, etwa wie Wasser, Luft, Tiere oder Pflanzen darstellt, dessen pflegliche und verantwortungsbewußte Behandlung lebensnotwendig ist und dessen Schutzbedürfnis einer breiten Öffentlichkeit eindringlich demonstriert werden soll.
2. Die Landwirtschaft trägt in diesem Zusammenhang eine besondere Verantwortung; einmal deshalb, weil Landwirtschaft etwa die Hälfte der Fläche der Bundesrepublik Deutschland bewirtschaftet — zusammen mit der Forstwirtschaft sind es etwa 80 %.

Zum anderen auch deshalb, weil Landwirtschaft unter Umständen mit zu den Belastungen des Bodens beitragen kann, sei es durch unsachgemäßen Einsatz von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln, sei es durch ein bestimmtes Verhalten, das zu Erosionen und Bodenverdichtungen führen kann. Schließlich und ganz besonders auch deshalb, weil der Öffentlichkeit gegenüber deutlich gemacht werden soll, daß die Landwirtschaft als einziger Wirtschaftszweig einen ständigen, unersetzlichen, aktiven Beitrag zum Schutz des Bodens leistet durch Förderung und Stabilisierung der Bodenfruchtbarkeit.

Soweit Sie noch nicht Gelegenheit hatten, diese Sonderschau zu besuchen, möchte ich Sie ermutigen, dieses nachzuholen.

Der Schutz der Umwelt ist eine der wichtigsten Aufgaben unserer Zeit. Zu den klassischen Bereichen der Umweltschutzpolitik gehörten bis zu Beginn dieser Legislaturperiode die Luftreinhaltung, die Lärmbekämpfung, die Abfallbeseitigung, die Sicherung des Wasserhaushaltes, Naturschutz- und Landschaftspflege. Der Schutz des Bodens war dabei zwar mitbeinhaltet, aber stand und steht nicht eigentlich im Vordergrund. Aufgrund der offensichtlich dem Boden drohenden Gefahren hat die Bundesregierung deshalb zu Beginn dieser Legislaturperiode beschlossen, eine umfassende Bodenschutzkonzeption zu erarbeiten. Im Februar des vergangenen Jahres hat das Kabinett die Bodenschutzkonzeption verabschiedet. Ich möchte hier auf die wichtigsten Inhalte der Bodenschutzkonzeption hinweisen und anschließend einige Anmerkungen dazu machen, welche Konsequenzen aus den Überlegungen der Bodenschutzkonzeption und den entsprechenden Ausarbeitungen der Länder im Hinblick auf erforderliche Maßnahmen zum Schutz des Bodens abgeleitet werden können. Dabei will ich das Schwergewicht auf die für die Land- und Forstwirtschaft und für Naturschutz prioritären Aspekte legen.

Die wesentlichen Inhalte der Bodenschutzkonzeption lassen sich wie folgt charakterisieren:

1. Die Bundesregierung versteht Bodenschutzpolitik ressortübergreifend und fachübergreifend als einen Ansatz, der sich auf die lebensnotwendigen und unersetzlichen Funktionen des Bodens bezieht, insbesondere also auf die Funktionen des Bodens als Produktionsgrundlage für die Land- und Forstwirtschaft, Lebensraum und Standort für wildlebende Pflanzen und Tiere, Speicher und Filter für den Wasserhaushalt, Träger von Bodenschätzen, Siedlungs- und Wirtschaftsfläche, besonders aber die Rolle des Bodens als Regelungsfaktor im Naturhaushalt, auf die der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) in seinem Gutachten „Umweltprobleme der Landwirtschaft“ deutlich hingewiesen hat.

Es gibt nach Auffassung der Bundesregierung dabei keine Vorrangstellung der einen Funktion des Bodens gegenüber anderen Funktionen.

2. Die wichtigsten Gefahrenpotentiale, die die Funktionen des Bodens bedrohen, sind:

— die Einträge von Schadstoffen aus Industrien, Kraftwerken, Verkehr, Haushalten und aus der Landwirtschaft

— der anhaltende Landverbrauch durch Überbauung, Versiegelung und Zerschneidung von Freiflächen.

3. Maßnahmen zum Schutz des Bodens sind dringend geboten. Entsprechend der Mannigfaltigkeit der Gefährdungen sind solche Maßnahmen in einer Vielzahl von Bereichen notwendig. Im Vordergrund stehen dabei Luftreinhaltung, Abwasserbehandlung, Siedlungsabfälle, Altlasten, Flächeninanspruchnahme. Aber auch Düngung, Pflanzenschutz, Erosion und Bodenverdichtungen. Besondere Aufmerksamkeit gebührt den Maßnahmen, die geeignet sind, Einträge persistenter Schadstoffe in den Boden zu reduzieren. Langfristig ist dabei ein Gleichgewicht auf möglichst niedrigem Niveau anzustreben zwischen Stoffeintrag einerseits und Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Bodens andererseits.

4. Die Kenntnisse über Art und Umfang des Eintrags von Stoffen in Böden sind begrenzt. Flächendeckende Informationen liegen nicht vor. Wissensdefizite bestehen auch im Hinblick auf die Schädigung unterschiedlicher Stoffe in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Nutzungsformen. Eine ausreichende Beurteilung der Gefährdungen lebensnotwendiger Bodenfunktionen durch Stoffeinträge ist derzeit nicht möglich.

5. Aufgrund der Irreversibilität verschiedener Bodenschädigungen hat für Maßnahmen zum Schutz des Bodens das Vorsorgeprinzip einen hervorgehobenen Stellenwert.

Für die Land- und Forstwirtschaft, die zusammen den weit überwiegenden Teil des Bodens bei uns bewirtschaften, und auch für den Naturschutz, zu dessen ersten Zielen es zählt, die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts und die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter als Lebensgrundlagen des Menschen nachhaltig zu sichern, ist ein gesunder, funktionsfähiger Boden von zentraler Bedeutung.

Moderne und erfolgreiche Landwirtschaft ist sehr häufig intensive Landwirtschaft.

Die Bodenschutzkonzeption macht deutlich, daß damit besondere Gefahren für den Boden verbunden sein können. Im Vordergrund stehen 2 Komplexe:

- Der Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln kann nachteilige Wirkungen haben auf den Boden selbst, auf das Grundwasser und auf den Arten- und Biotopschutz. Im Verlauf dieses Kolloquiums ist darauf ausführlich eingegangen worden.
- Erosion und Bodenverdichtungen können einen Umfang einnehmen, der gezielte Gegenmaßnahmen notwendig macht.

Dazu die folgenden Anmerkungen: Düngemittel sind zunächst natürlich nicht Schadstoffe, sondern Pflanzennährstoffe. Sie sind deshalb nicht in einem Atemzug zu nennen mit den für den Boden besonders relevanten Schadstoffen aus anderen Bereichen.

Zum Problem für den Bodenschutz werden sie allerdings unter bestimmten Voraussetzungen bzw. bei unsachgemäßem Einsatz bzw. im Falle der Verunreinigung mit anderen Schadstoffen; hierher gehört z. B. die Frage der Cd-Kontamination in Phosphatdüngemitteln. Zum anderen: Pflanzenschutzmittel und Düngemittel sind unentbehrliche Betriebsmittel für eine effiziente Landwirtschaft. Im Unterschied zu anderen Stoffeinträgen ist deshalb hier das Ziel *nicht* die Reduzierung der Stoffeinträge schlechthin, sondern hier geht es um die Verhinderung von Schadwirkungen im Zusammenhang mit unsachgemäßer Verwendung dieser Betriebsmittel.

Bei der Verabschiedung der Bodenschutzkonzeption im Februar 1985 hat die Bundesregierung beschlossen, „... in Abstimmung mit den Ländern auf der Grundlage der Bodenschutzkonzeption die Erfordernisse des Bodenschutzes zu konkretisieren und die notwendigen Schutzmaßnahmen nach Inhalten, Prioritäten, Zeit- und Kostenrahmen festzulegen“.

Einen entsprechenden Beschluß hat im April 1985 die Umweltministerkonferenz gefaßt und zur Ausarbeitung eines Maßnahmenkatalogs eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe eingesetzt.

Inzwischen ist die Bund-Länder-Abstimmung so weit fortgeschritten, daß mit der Vorlage eines Vorschlages für einen Maßnahmenkatalog im Frühjahr dieses Jahres gerechnet werden kann. In diesen Abstimmungsprozeß sind auch die hier relevanten Überlegungen und Forderungen des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen in seinem vorhin erwähnten Sondergutachten miteinbezogen worden.

Zu erwarten sind Maßnahmenvorschläge auf folgenden Ebenen:

- Forschung
- Schaffung von Informationsgrundlagen
- Landwirtschaftliche Beratung
- Verwaltungshandel
- Rechtliche Regelungen.

Dem Ergebnis der Bund-Länder-Abstimmung kann und will ich hier nicht vorgreifen. Das wäre auch gar nicht möglich, da infolge der Vielzahl der im einzelnen diskutierten Ansätze (allein für den Verantwortungsbereich Land- und Forstwirtschaft und Naturschutz sind das weit über 200) für einen Überblick eine prioritätensetzende Wertung erforderlich wäre. Gerade darüber muß zwischen Bund und Ländern

noch eingehend diskutiert werden. Ich will an dieser Stelle aber darauf hinweisen, daß selbstverständlich der Schutz des Bodens nicht durch *eine* oder *wenige* Maßnahmen in dem einen oder anderen Bereich nachhaltig verbessert werden kann. Wer hier spektakuläre Patentlösungen vermutet hätte, wäre enttäuscht. Vielmehr entspricht es dem fachübergreifenden Verständnis für Bodenschutz, daß Maßnahmen auf allen genannten Handlungsebenen, in allen erwähnten Politikbereichen im Zusammenwirken erst den gewünschten Erfolg haben können und haben werden. So verstanden ist Bodenschutz ein umfassender neuer Politikansatz, der aber zur Realisierung kein grundsätzlich neues Maßnahmenpaket erfordert. Die Bodenschutzpolitik wird sich deshalb zukünftig auch nicht an einer oder an wenigen Maßnahmen wie etwa Verbesserung im Immissionsschutzrecht, beim Naturschutzrecht, im Bereich der Klärschlammverordnung, im Bereich der Raumbeanspruchung bzw. des Freiraumschutzes, bei der Landschaftsplanung, bei der Flurbereinigung, im Bereich des Pflanzenschutzes, der Düngung, des Wasserschutzes, der Altlasten oder in einem anderen Bereich messen und bewerten lassen. Dies wird nur in der Gesamtschau sämtlicher wichtiger Ansätze gemeinsam möglich sein.

Der Wert des zu erwartenden Maßnahmenkatalogs ist gerade in der Vielfältigkeit und Detailliertheit der Vorschläge zu sehen — seine Wirksamkeit wird sich erst im Zusammenwirken der Einzelinstrumente entfalten können.

Auf einen Aspekt will ich dennoch hier deutlich hinweisen, weil er für die zukünftige Politik im Bodenschutzbereich einen Querschnittscharakter aufweist, d. h. bei allen Überlegungen mitberücksichtigt werden muß:

Ich hatte schon darauf hingewiesen, daß die verfügbaren Informationen über Art, Ausmaß und Entwicklung stofflicher Belastungen des Bodens sowie die Kenntnisse über die dadurch verursachten Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen unzureichend sind. Zur Schaffung objektiver Grundlagen für entsprechende fachliche und politische Entscheidungen ist es daher erforderlich, die Anforderungen an ein Bodenbeobachtungssystem zu präzisieren und ein Informationssystem einzurichten; das flächendeckende Aussagen ermöglicht über stoffliche Belastungen des Bodens in Agrar- und Forstökosystemen sowie in natürlichen und naturnah genutzten Ökosystemen.

Für unverzichtbare Elemente eines Bodenbeobachtungssystems halte ich:

- Bodenkataster
- Dauerbeobachtungsflächen
- Umweltprobenbank.

Ergänzend dazu sind erforderlich:

- Entwicklung von Beurteilungskriterien für die Schädigung von Stoffen im Hinblick auf die Beeinträchtigung von Bodenleben, Nährstoffhaushalt, Transfer Boden — Pflanze, Transfer Boden — Grundwasser.
- Entwicklung von Richt- und Grenzwerten für stoffliche Belastungen von Böden in Abhängigkeit von Bodenart, Standortverhältnissen und Nutzungsform.

Abschließend will ich versuchen, das Thema Bodenschutz aus der Sicht der Landwirtschaft zu bewerten:

Durchgängige Leitlinie in der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung und im Abstimmungsprozeß mit den Bundesländern ist die Erkenntnis, daß erfolgreicher Bodenschutz nur *mit* der Landwirtschaft, nicht gegen sie, praktiziert werden kann. Das bedeutet:

- Vorrang für Information und Beratung
- Miteinbeziehung der Landwirtschaft in die Verantwortung für die Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Böden
- Staatliche Reglementierungen nur dann, wenn andere Lösungsmöglichkeiten nicht gegeben sind.

Der Schutz des Bodens erfordert, daß die Landwirtschaft ihr Verhalten in den Problembereichen Düngung und Pflanzenschutz überprüft und zur Diskussion stellt. Bodenschutz ist insofern für die Landwirtschaft eine Herausforderung. Aber mehr noch ist der Bodenschutz in seiner ganzen Breite, über den landwirtschaftlichen Bereich hinaus, eine Verpflichtung, deren Erfüllung dem Landwirt, dem Forstwirt und insbesondere dem Naturschutz außerordentlich nützt und die

deshalb gerade aus der Sicht der Landwirtschaft zur unabdingbaren Forderung gemacht werden muß. Weniger Schadstoffimmissionen auf den Boden, aus der Abluft von Industrieanlagen und Kraftwerken und aus dem Verkehr, mindern die Gefahren für die Bodenfruchtbarkeit und mindern die Belastungen natürlicher und naturnaher Ökosysteme, Tiere und Pflanzen.

In den Bemühungen um die Erreichung dieses Ziels hat die Bodenschutzkonzeption einen entscheidenden Anstoß gegeben. Vor dem Hintergrund der Erfahrungen, die man seither auf administrativer Ebene in der Koordinierung zwischen Bund und Ländern sammeln konnte, und unter Berücksichtigung des hohen politischen Stellenwertes dieses Themenkomplexes bin ich sicher, daß greifbare Erfolge dieser Bemühungen nicht ausbleiben werden.



Die Pflanzfläche dieser Bodenschutzpflanzung ist vorbildlich gemulcht, wodurch Bodenfeuchtigkeit und Bodengare verbessert und Pflanzausfälle vermindert werden. Foto: G. Olschowy



Eine reich mit Feldgehölzen, Siedlungsgrün, Straßenbäumen und Waldresten gegliederte Kulturlandschaft im Weserbergland. Foto: G. Olschowy

## Rechtliche Grundlagen des Bodenschutzes und Vorschläge für gesetzliche Maßnahmen

### 1 Problemlage und Stand der Diskussion

Der Hinweis auf das Schutzbedürfnis des Bodens als drittem (Umwelt-)Medium — neben Luft und Wasser — ist so neu nicht mehr<sup>1)</sup>. Die Phase der Sichtung und Ordnung der hiermit zusammenhängenden Fragenkreise ist aus naturwissenschaftlicher wie juristischer Sicht weitgehend abgeschlossen<sup>2)</sup>. So besteht ganz überwiegend Einigkeit dahingehend, daß der Boden wegen seiner Funktionen als Speicher bzw. Filter, als Standort und Lebensraum für Flora und Fauna und als Produktionsgrundlage für Nahrungs- und Futtermittel sowie für regenerierbare Rohstoffe zu schützen ist<sup>3)</sup>. Die teilweise zusätzlich geforderte Sicherung des Bodens als Rohstofflagerstätte und als Baugrund ist zwar sachlich gerechtfertigt, gehört jedoch nicht zum Bodenschutz als Teil des ökologisch orientierten Umweltschutzes; denn hierbei geht es um ökonomische Zielsetzungen<sup>4)</sup>.

An Gefährdungsbereichen werden überwiegend genannt:

— Belastungen der Bodenfläche und der Bodenstruktur, nämlich erstere durch Landschafts- und Bodenverbrauch, letztere durch Maßnahmen, die Erosions- und Verdichtungserscheinungen fördern,

sowie

— Belastungen der Bodensubstanz durch — qualitativ bzw. quantitativ schädlichen — Schadstoffeintrag<sup>5)</sup>.

Anhand der Gefährdungspotentiale ist das geltende Recht auf bodenschützende Inhalte hin untersucht und damit zugleich das Grundgerüst eines Bodenschutzrechts aufgedeckt worden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt skizzieren<sup>6)</sup>:

Bodenschutz ist schwergewichtig nicht Regelungsgegenstand des Zivil- oder Strafrechts, sondern des öffentlichen Rechts — und hier vor allem des Umweltverwaltungsrechts. Insoweit lassen sich Normbereiche des unmittelbaren Bodenschutzes, deren Schutzgut der Boden als gesetzliches Haupt- oder Nebenziel ist, von solchen sondern, die andere Güter schützen, dem Boden daher nur mittelbar Rechnung tragen (können).

Vor diesem Hintergrund finden sich an Rechtsnormen, die Schadstoffeinträgen in den Boden entgegenwirken sollen, in erster Linie diejenigen über

- den Gewässerschutz,
- die Abfallbeseitigung,
- den Immissionsschutz,

insbesondere aber jene des kausalen, d. h. an der Quelle ansetzenden Umweltrechts, nämlich des Chemikalien-, Pflanzenschutz- sowie des Lebensmittel- und Futtermittelrechts.

Nicht-stoffliches Bodenschutzrecht, also solches, das die Bodenfläche und die Bodenstruktur sichert, hat seinen Schwerpunkt in den Normbereichen des Naturschutzes und der Landschaftspflege — kurz: Landespflege. Eine komplementäre Funktion übernehmen insofern die Regelungskreise der Raumordnung/Landesplanung, der Bauleitplanung, einzelner Fachplanungen, wie derjenigen des Wasserstraßen- oder des Luftverkehrsrechts, und das Agrar- wie Bergrecht.

So verdienstvoll diese, hier nur grob umrissenen Systematisierungsbemühungen im Bodenschutzrecht auch sind, sie geraten in die Gefahr, über Details formaler Einordnungs- und Differenzierungsfragen das eigentliche sachinhaltliche Anliegen und die umweltrechtliche Grundproblematik des Bodenschutzes aus dem Auge zu verlieren.

Beim Boden geht es nicht allein um den notwendigen, über lange Zeit vernachlässigten Schutz des dritten Umweltmediums. Vielmehr hat der Bodenschutz paradigmatische Bedeutung für die Erkenntnis, daß der bisher weitgehend medial und sektoral orientierte Umweltschutz einer die Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Umweltbereichen Luft, Wasser, Boden berücksichtigenden Sichtweise, mithin einer mehrmedialen Umweltpflege weichen muß, wenn Umweltschutz überhaupt — noch — effektiv betrieben werden soll<sup>7)</sup>.

Des weiteren hat gerade die Diskussion um den Zustand der Böden deutlich werden lassen, daß hier wie in anderen Bereichen der Umweltpflege ein reaktives, gefahrenabwehrendes Handeln des Staates ungeeignet ist, den teilweise bereits eingetretenen Schädigungen der natürlichen Umwelt zu begegnen. Geboten ist vielmehr eine dem Vorsorgeprinzip verpflichtete, längerfristige und zukunftsgerichtete Steuerung der Inanspruchnahme dieser natürlichen Ressource<sup>8)</sup>, mithin seine planerische Bewirtschaftung. Dem Instrumen-

1) Vgl. nur v. LERSNER, Das dritte Medium, NuR 1982, 201; STORM, Bodenschutzrecht, Agrarrecht 1983, 233; ders., Bodenschutzrecht, DVBl. 1985, 317; ERGUTH, Rechtsfragen des Bodenschutzes, UPR 1984, 241; ausführliche Darstellungen zuletzt in: Heft 1/2. 1985 der Informationen zur Raumentwicklung, Konzeptionen zum Bodenschutz, dort insbesondere BACHMANN, Regionalisierung umweltpolitischer Ziele für den Boden auf der Ebene der Landes- und Regionalplanung, a. a. O., 39; BOOK, Bodenschutz im geltenden Recht von Bund und Ländern, a. a. O., 55; des weiteren die Beiträge in Nr. 27 der Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin (Landschaftsentwicklung und Umweltforschung), Bodenschutz als Gegenstand der Umweltpolitik, Berlin 1985, insbesondere HÜBLER, Bodenschutz als Ausgangspunkt für eine koordinierte und integrierte Umweltpolitik? — Grenzen und Möglichkeiten der oder einer Umweltplanung, a. a. O., 205; HOPPE/ERGUTH, Geltendes Recht der Landschaftspflege, Landschaftsplanung, Heft 45 Dez. 1984, 446, 466 ff.; EBERSBACH, Rechtliche Aspekte des Landschaftsverbrauchs am ökologisch falschen Platz, Berichte 1/85 des Umweltbundesamts, Berlin 1985; HÜBLER/BACHMANN et al., Zur Regionalisierung umweltpolitischer Ziele, Beispiel Boden, Umweltbundesamt, Texte 6/83, vgl. auch Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Umweltprobleme der Landwirtschaft, Sondergutachten März 1985, Stuttgart und Mainz 1985, S. 179 ff.

2) Vgl. insoweit STORM, DVBl. 1985 (Fn. 1), 318 ff.

3) Zusammenfassend BOOK, IzR 1985 (Fn. 1), 55.

4) HOPPE/ERGUTH, Deutscher Rat für Landespflege (Fn. 1), 467; BOOK, IzR 1985 (Fn. 1), 55 f.

5) Auch insoweit BOOK, IzR 1985 (Fn. 1), 56.

6) STORM, DVBl. 1985 (Fn. 1), 318 ff.; ERGUTH, UPR 1984 (Fn. 1), 242 ff.

7) Vgl. nur HOHNSTOCK, IzR 1985 (Fn. 1), 1, 3 f. am Beispiel der Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung.

8) HOHNSTOCK, IzR 1985 (Fn. 7), 4 f.

tarium der Planung und dessen Einsatzmöglichkeiten kommt daher — auch und gerade — aus rechtlicher Sicht hoher Stellenwert für einen vorsorgenden Bodenschutz zu<sup>9)</sup>.

Anhand dieser Anforderungen eines sowohl mehrmedial ausgerichteten als auch dem Vorsorgeprinzip verpflichteten Schutzes des Bodens soll im folgenden der Frage nachgegangen werden, ob die Handlungsmittel des geltenden Rechts dem hinreichend Rechnung tragen oder ob es ihrer Fortentwicklung bedarf.

Die nur begrenzt zur Verfügung stehende Zeit zwingt dazu, die Überlegungen auf raumbedeutsame Regelungskreise zu beschränken. Angesichts der Problemfülle in diesem wohl wichtigsten Teil des Umweltrechts<sup>10)</sup> müssen die Ausführungen freilich auch insoweit exemplarisch und fragmentarisch bleiben.

## 2 Hauptteil

In dem so verbleibenden Rahmen ist an Instrumenten zwischen solchen der Planung und jenen der direkten Verhaltenssteuerung zu unterscheiden<sup>11)</sup>. Planerische Mittel sind beispielsweise die Landschaftsplanung oder die Landesentwicklungsplanung. Zu den Einzelinstrumenten der Verhaltenssteuerung zählen Erlaubnisse, Bewilligungen und sonstige Zulassungstatbestände.

### 2.1 Bodenschutz und Planungsrecht

Bei den planerischen Instrumenten handelt es sich um die zentralen Handlungsmittel vorsorgenden Umweltschutzes<sup>12)</sup>. Darüber hinaus wird zu zeigen sein, daß bestimmten Planungsformen mehrmediale, mithin synergistische Aufgabencharakteristika zukommen bzw. zugewiesen werden sollten.

Hierzu ist bereits andernorts grundsätzlich Stellung bezogen worden<sup>13)</sup>. Thesenartig lassen sich jene Darlegungen dahingehend zusammenfassen, daß der Landschaftsplanung wichtige Aufgaben gegenüber bodenverbrauchenden Maßnahmen zukommen, sie aber der Ergänzung und Absicherung durch die Programme und Pläne der Raumordnung und Landesplanung wie auch durch die Bauleitplanung bedarf. Denn nur die Planinhalte der Raumordnung/Landesplanung äußern eine umfassende Bindung staatlicher und gemeindlicher Stellen im Rahmen ihres raumrelevanten Handelns, diejenigen der Bebauungspläne sind zudem für den Bürger verbindlich. Demgegenüber ist die Bindungswirkung der Landschaftspläne überörtlicher wie örtlicher Stufe recht unterschiedlich ausgestaltet<sup>14)</sup>.

Der Überprüfung und — ggf. — Fortentwicklung dieser Ergebnisse ist, um Mißverständnissen vorzubeugen, folgendes der Klarstellung halber vorzuschicken: In der — auch — rechtlichen Diskussion planerischen Bodenschutzes wird vielfach ein Argumentationspfad beschritten, der unzureichend zwischen der Gesetzeslage und Unzulänglichkeiten im Gesetzesvollzug unterscheidet. So wird unter Hinweis auf die bei jeglicher Planung gebotene Abwägung widerstreitender Belange herausgestellt, umweltschützende Gesichtspunkte und damit auch solche des Bodenschutzes würden erfahrungsgemäß meist hintangestellt, d. h. zugunsten kollidierender, meist ökonomischer Belange überwunden. Daraus wird dann die Forderung abgeleitet, der Gesetzgeber müsse explizit die Bedeutung des Bodenschutzes hervorheben, ihm möglicherweise einen Vorrang im Abwägungsvorgang und dessen Ergebnis einräumen<sup>15)</sup>. Eine solche Gedankenführung übersieht, daß die constitutione lata in der planerischen Abwägung als Ausdruck des grundge-

setzlichen Rechtsstaatsprinzips<sup>16)</sup> keinem der betroffenen Belange von vornherein, gleichsam generell, ein Vorrang vor anderen Interessen eingeräumt worden ist. Das Gewicht bzw. Übergewicht bestimmter Belange ergibt sich vielmehr allein nach Maßgabe des Einzelfalls oder besser: anhand des Umfangs der Betroffenheit des jeweiligen Interesses<sup>17)</sup>. Wollte man hingegen eine generelle Vorrangigkeit des Bodenschutzes in der Abwägung einfachgesetzlich einführen, so dürfte dies gegen das höherrangige Verfassungsrecht verstoßen.

Damit soll nicht bestritten werden, daß — zumindest in der Vergangenheit — dem Umweltschutz bzw. Bodenschutz zu wenig Gewicht beigemessen worden ist, daß er planerisch zugunsten anderer Belange zurückgestellt worden ist. Das mag jedoch in vielen Fällen daran gelegen haben, daß aufgrund unzureichender Datenbasis das Ausmaß der Gefährdung des Bodens nicht belegbar, folglich das „Gewicht“ des Bodenschutzes in der planerischen Abwägung nicht meßbar war. Wo eine solche Konstellation ausschied, der Umweltschutz also zu Unrecht hintangestellt worden ist, lag bzw. liegt eine rechtswidrige Abwägung vor. Der Fehler ist dann aber dem Gesetzesvollzug, nicht dem Gesetz selbst anzulasten. Das hieraus abzuleitende Postulat richtet sich demnach auf eine bessere Kontrolle bei der verwaltungsmäßigen Umsetzung der Gesetze, etwa im Wege der Aufsicht. Hieraus die Notwendigkeit einer gesetzlichen Neufassung oder ähnliches ableiten zu wollen, ist demnach verfehlt; dies auch deshalb, weil damit Gesetzesverletzungen im Verwaltungsvollzug wenn nicht honoriert, so doch hingenommen würden.

#### 2.1.1 Die Rolle der Raumordnung und Landesplanung im Rahmen des Bodenschutzes

In Anbetracht dessen kann die Raumordnung und Landesplanung trotz ihrer großen Bedeutung für den Bodenschutz nicht als reine Umweltschutzplanung verstanden werden — wie umgekehrt die Einschätzung irreführend wäre, ihr komme die Rolle eines „Quartiermachers“ für herkömmliche fachplanerische Ansprüche an den Raum zu. Als Querschnitts- bzw. Gesamtplanung hat die Raumordnung und Landesplanung vielmehr die vielfältigen, oftmals in Konflikt stehenden Raumanprüche staatlicher wie kommunaler Stellen abwägend zu koordinieren und in ein räumliches Gesamtkonzept einzupassen<sup>18)</sup>. Ihrem planerischen Abstimmungsauftrag unterfallen damit sowohl ökonomisch wie ökologisch raumrelevante Belange. Weder den einen noch den anderen ist im Abwägungsprozeß bei der Aufstellung von Landesentwicklungs- und Regionalplänen von vornherein ein wie auch immer gearteter Vorrang eingeräumt. Das

9) Dazu etwa BACHMANN, IZR 1985 (Fn. 1), 41 f.

10) Eingehend ERBGUTH, Raumbedeutsames Umweltrecht, Beiträge zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung, Bd. 102, Münster 1986, S. 1 f.

11) Zu dieser Unterscheidung ERBGUTH, Weiterentwicklung (Fn. 10), S. 123 ff.

12) ERBGUTH, Weiterentwicklung (Fn. 10), S. 2 f.

13) ERBGUTH, UPR 1984 (Fn. 1).

14) Hierzu die Übersicht bei HOPPE/ERBGUTH, Deutscher Rat für Landespflege (Fn. 1), 462.

15) Etwa HÜBLER, Bodenschutzkonzepte (Fn. 1), 205, 212 ff.

16) Eingehend HOPPE, in: Ernst/Hoppe, Das öffentliche Bau- und Bodenrecht, Raumplanungsrecht, 2. Aufl., München 1981, Rdn. 283.

17) Hierzu m. w. N. ERBGUTH, Immissionsschutz und Landesplanung, Aktuelle Fragen im Verhältnis beider Rechtsgebiete, Beiträge zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung (SWR), Bd. 77, Münster 1982, S. 77 f.

18) ERNST, in: Ernst/Hoppe, ÖffBauBoR (Fn. 16), Rdn. 1 f.

Gewicht, d. h. die potentielle Durchsetzungsfähigkeit des jeweiligen Interesses gegenüber sonstigen Belangen bemißt sich auch hier anhand seiner Betroffenheit im Einzelfall<sup>19)</sup>.

Trotz dieser prinzipiell neutralen Stellung der Raumordnung/Landesplanung kommt ihr ein nicht zu unterschätzender Stellenwert unter bodenschützenden Gesichtspunkten zu. Zum einen wird sich der Belang Bodenschutz in der raumordnerischen Abwägung dann durchsetzen und etwa zu flächenfreihaltenden landesplanerischen Ausweisungen führen, wenn in concreto eine hohe Schutzbedürftigkeit bestimmter Gebiete aus Gründen des Bodenverbrauchs oder der Gefährdung der Bodenstruktur belegbar bzw. nachweisbar ist<sup>20)</sup> — beispielsweise anhand von Bodenkartierungen bzw. Bodenkatastern.

Zum anderen ist der weitgesteckte Koordinierungsauftrag der Raumordnung und Landesplanung deshalb für den Bodenschutz von Relevanz, weil hier der Ausgleich mit anderen öffentlichen Interessen nicht umweltschutzbezogener Art herbeigeführt wird. Der Landesentwicklungsplanung kommt damit eine Art Gelenkfunktion zwischen dem planerischen Umweltschutz und sonstigen staatlichen Fachplanungen zu.

Schließlich eröffnet der räumliche Zuschnitt der Raumordnungsplanung am ehesten die Möglichkeit effizienten vorsorgenden Bodenschutzes. Denn Gefährdungen des Bodens durch Bodenverbrauch oder Schädigungen der Bodenstruktur, aber auch Vorgänge des Schadstoffeintrags, werden sich in ihren Wirkungen räumlich gesehen nicht im rein örtlichen Bereich der jeweiligen Gemeinde halten, sondern überörtliche Konsequenzen zeitigen und damit eine großräumige planerische Einflußnahme erfordern<sup>21)</sup>. Das aber ist der Landesentwicklungs- und Regionalplanung wegen ihres hochstufigen bzw. regionalen Bezugsrahmens möglich.

Freilich vermag die Raumordnung von ihrer Aufgabenstruktur her nicht selbst der für den Umweltschutz allgemein und für den Bodenschutz im besonderen gebotenen synergistischen, d. h. mehrmedialen Sichtweise Rechnung zu tragen. Raumordnerisch werden zwar heterogenste Interessen einem Abgleich zugeführt; die — wenn der Ausdruck erlaubt ist — „Einspeisung“ der Belange in den Planungsvorgang der Raumordnung und Landesplanung ist indes ein fachlicher Vorgang, gehört folglich nicht zur raumordnerischen Aufgabenwahrnehmung. Demzufolge beschäftigt sich die Raumordnung/Landesplanung mit dem Umweltschutz- bzw. Bodenschutzbelang so, wie er von den dafür zuständigen Behörden aufbereitet in den planerischen Prozeß eingebracht wird. Die synergistisch ausgerichtete Beurteilung und Bewertung umweltrelevanter Vorhaben muß folglich im Umweltbereich selbst erfolgen, kann nicht raumordnerisch bewältigt werden.

Das leitet zu der Frage über, welches umweltplanerische Instrumentarium geeignet ist, den Boden aus mehrmedialer Sicht zu schützen.

### 2.1.2 Die Rolle der Landschaftsplanung im Rahmen des Bodenschutzes

Zum Recht der Landespflege ist bereits verschiedentlich bemerkt worden, seine mehrmediale Ausrichtung sei im Verhältnis zu den übrigen Normwerken des Umweltrechts besonders stark ausgeprägt<sup>22)</sup>. Tatsächlich läßt sich das anhand der Zielbestimmungen des § 1 BNatSchG, insbesondere aber aufgrund der sämtliche Umweltmedien ansprechenden Grundsatzbestimmungen des § 2 BNatSchG belegen.

Da zu diesen Grundsätzen auch der Schutz des Bodens zählt und die Landschaftsplanung nach §§ 5 f. BNatSchG

den Ziel- und Grundsatzbestimmungen des Gesetzes Rechnung zu tragen hat, liegt es nahe, die Landschaftsplanung als mehrmedial orientierte, die synergistischen Wirkungszusammenhänge erfassende Leitplanung des Bodenschutzes anzusehen<sup>23)</sup>.

Dem könnte freilich entgegengehalten werden, das Bundesnaturschutzgesetz wolle zwar den Boden schützen, aber — nach der Genese des Gesetzes und seiner in § 1 BNatSchG zum Ausdruck kommenden generellen Ausrichtung — als Teil von Natur und Landschaft und nicht in seiner eigenständigen ökologischen Bedeutung. In diesem Sinne hat auch das Bundesverwaltungsgericht dem Recht des Naturschutzes primär ästhetische Aufgaben der Landespflege zugeordnet<sup>24)</sup>.

Die Rechtsprechung dürfte indes, wie anderweitig näher dargelegt, durch die Fortentwicklung des Naturschutz- und Landschaftspflegerechts überholt sein<sup>25)</sup>. Ähnliches gilt hinsichtlich der Zweck- und Grundsatzbestimmungen nach dem Bundesnaturschutzgesetz. Mögen bei Erlaß des Bundesnaturschutzgesetzes visuelle und ästhetische Zielrichtungen eine nicht unerhebliche Rolle gespielt haben, so ist angesichts neuer naturwissenschaftlicher Erkenntnisse inzwischen das substantielle Schutzbedürfnis des Bodens als wichtige Grundlage des Naturkreislaufs, eben als drittes Medium, konturierter hervorgetreten. Dieser Wandel beeinflußt die Auslegung der Ziel- und Grundsatzbestimmungen des Bundesnaturschutzgesetzes und steht damit einem einengenden Verständnis ihres Anwendungsbereichs entgegen<sup>26)</sup>.

Ohne auf die damit im weiteren zusammenhängende Frage nach einem vom Gesetz favorisierten anthropozentrischen oder ökozentrischen Naturschutz eingehen zu wollen<sup>27)</sup>, sehe ich daher keinen Anlaß, von der bereits früher vertretenen Annahme abzugehen, daß ein ökologisch orientierter Bodenschutz aufgrund des geltenden Landespflegerechts möglich und zulässig ist; es bedarf also insofern keiner gesetzlichen Fortschreibung, weil eine systematische sowie an Sinn und Zweck der Vorschriften ausgerichtete Interpretation den hier fraglichen planerischen Handlungsauftrag ergibt<sup>28)</sup>.

Folgt man dem nicht, so wird allerdings eine Neufassung der §§ 1, 2 BNatSchG erforderlich, die klarstellt, daß Bodenschutz als Ziel bzw. Grundsatz des Gesetzes den Boden als ökologischen Wert sichern soll. Unvereinbarkeiten einer solchen Regelung mit der Kompetenzbestimmung des Art. 75 Nr. 3 GG sind nicht ersichtlich. Denn der beschriebene tatsächliche Wandel im Aufgabenverständnis der Landespflege

19) ERBGUTH, Immissionsschutz (Fn. 17), S. 70 ff.

20) SHOENEGER, Umweltverträglichkeitsprüfung und Raumordnungsverfahren, Beiträge SWR, Bd. 96, Münster 1984, S. 118 ff. m. w. N.

21) HÜBLER, Bodenschutzkonzepte (Fn. 1), 212.

22) SHOENEGER, Umweltverträglichkeitsprüfung (Fn. 20), S. 116.

23) HOPPE/ERBGUTH, Deutscher Rat für Landespflege 1984 (Fn. 1), 468.

24) BVerwG, Urt. v. 24. 02. 1978 — 4 C 12.76 —, BVerwGE 55, 272 ff.

25) STEINBERG, Baumschutzsatzungen und -verordnungen, NJW 1981, 550, 552; auch GROOTERHORST, Die Aufstellung von Bauungsplänen zur Verwirklichung freiraumschützender Ziele der Raumordnung und Landesplanung, NuR 1985, 222, 223 ff.

26) HOPPE/ERBGUTH, Deutscher Rat für Landespflege 1984 (Fn. 1), 468.

27) Hierzu SHOENEGER, Umweltverträglichkeitsprüfung (Fn. 20), S. 87 m. w. N.

28) HOPPE/ERBGUTH, Deutscher Rat für Landespflege (Fn. 1), 468 f. m. w. N.

ge ist bei der Auslegung des verfassungsrechtlichen Begriffs „Naturschutz und Landespflege“ i. S. d. Art. 75 Nr. 3 GG nach den Grundsätzen der Verfassungsinterpretation beachtlich, weil er die Grenze der Wortbedeutung der kompetenziellen Zuweisung an den Bundesgesetzgeber nicht überschreitet<sup>29)</sup>.

Rechtlich gesehen könnte die Landschaftsplanung demnach die Aufgaben einer mehrmedial-synergistisch ausgerichteten Leitplanung des Bodenschutzes und — zugleich — des Umweltschutzes wahrnehmen.

Ihre raumbedeutsamen Planinhalte gingen sodann (wie beschrieben) in den planerischen Abwägungsvorgang der Raumordnung/Landesplanung sowie — was die örtliche Landschaftsplanung anbelangt — in die Bauleitplanung ein. Solcher Art käme der Landschaftsplanung die Funktion einer planerischen Umweltverträglichkeitsprüfung zu, die zwar von der EG-Richtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung nicht zwingend gefordert wird, deren Einführung gleichwohl nach weitverbreiteter und m. E. zutreffender Auffassung aus Gründen effektiven Umweltschutzes geboten ist<sup>29a)</sup>. Auf die andernorts näher begründete Kritik an der nach dem Recht der Länder teilweise vorgesehenen völligen Integration der Landschaftsplanung in die örtliche wie überörtliche Gesamtplanung sei an dieser Stelle lediglich hingewiesen<sup>30)</sup>.

Zu betonen bleibt, daß die hier vorgeschlagene Weiterentwicklung der Landschaftsplanung zur Leitplanung des Bodenschutzes und ihre Teilintegration in die Raumordnung/Landesplanung und Bauleitplanung nicht nur dem planerischen Schutz vor Landverbrauch dient; die zunehmende Verflechtung und Überlagerung der bodenbezogenen Gefährdungstatbestände zieht vielmehr die Notwendigkeit einer räumlich-planenden Koppelung des schadstoffbezogenen und des flächenbezogenen Bodenschutzes wie auch der Pflege der Bodenstruktur nach sich<sup>31)</sup>.

## 2.2 Bodenschutz auf der Zulassungsebene

Abschließend einige Anmerkungen zum Bodenschutz im Rahmen der Mittel direkter Verhaltenssteuerung. Wie erwähnt, zählen hierzu die regelmäßig der Planung nachgelagerten Tatbestände der Erlaubnis, Bewilligung etc. Neben diesen zusammenfassend als Kontrollerlaubnisse bezeichneten Zulassungsformen sollen dem auch Planfeststellungstatbestände zugerechnet werden<sup>32)</sup>, obschon den dafür zuständigen Stellen nach ganz überwiegender Auffassung bei ihrer Entscheidungsfindung ein planerischer Gestaltungsspielraum zusteht. Der Unterschied zur Planung im eigentlichen Sinne liegt darin, daß der Planfeststellungsbeschuß über die Durchführung des Vorhabens entscheidet, was ansonsten der gesonderten Ebene des Planvollzugs vorbehalten ist, mit anderen Worten: Die „Feinsteuerung“ des Vorhabens erfolgt unmittelbar durch die Planfeststellung selbst.

Das so umrissene öffentlich-rechtliche Zulassungsinstrumentarium kann anders als die Planungsmittel keine vorsorgend-umweltschützenden Aufgaben im eigentlichen Sinne unternehmen. Unbeschadet des immer noch nicht ausgestandenen Meinungsstreites über den Gehalt des Vorsorgeprinzips<sup>33)</sup> zeigt dies der im Gegensatz zur Planung projektbezogene und punktuelle Einsatz des Zulassungsrechts, der keine raum- und flächenbezogenen (Gesamt-)Strategien zur Vermeidung von Gefährdungen des Bodens ermöglicht. Nicht aber ist im Rahmen der Zulassungsverfahren eine die Umweltmedien übergreifende, die beschriebenen Wirkungszusammenhänge berücksichtigende, mithin synergistisch orientierte Prüfung ausgeschlossen.

## 2.2.1 Zum mehrmedialen Prüfungsansatz im Zulassungsrecht

Insoweit findet sich vielfach der Hinweis auf das den Planfeststellungstatbeständen eigentümliche, schon durch das allgemeine Verwaltungsverfahrenrecht abgesicherte Konzentrationsprinzip<sup>34)</sup>. Hiernach wird in einem Verfahren über sämtliche rechtlichen Anforderungen an das Projekt entschieden. Ansonsten gesondert einzuholende Genehmigungen, Zustimmungen u. a. m. des Umweltrechts entfallen. Deren sachliche Voraussetzungen werden — gleichsam gebündelt — im Planfeststellungsverfahren geprüft und einer einheitlichen Entscheidung zugeführt.

Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, bei Vorhaben, deren Zulassung ohne Planfeststellung eröffnet ist, de lege ferenda eine der dann erforderlichen Kontrollerlaubnisse — über einzelne spezialgesetzliche Ansätze hinaus — generell mit Konzentrationswirkung auszustatten.

Ob ein solches Vorgehen mit der rechtlichen Verfaßtheit der Kontrolltatbestände, insbesondere mit den Grundrechtspositionen auf der Betreiberseite, zu vereinbaren ist, muß hier dahinstehen<sup>35)</sup>. Auch soll der Frage nicht nachgegangen werden, ob ein derartig erweiterter Einsatz des Konzentrationsgedankens als Konsequenz der EG-Richtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung, die grundsätzlich auf Zulassungsebene eine mehrmediale umweltschutzbezogene Prüfung fordert, zwingend vorgegeben ist<sup>36)</sup>.

Vielmehr ist anzuknüpfen an den synergistisch ausgerichteten Aufgabengehalt des Rechts der Landespflege: Wenn §§ 1, 2 BNatSchG in diesem Sinne den Schutz des Bodens als ökologischen Wert gebieten, dann teilt sich das dem Eingriffstatbestand des § 8 BNatSchG mit. Anders gewendet: Wann immer aufgrund projektbezogener Zulassungstatbestände Gefährdungen des Bodens in dem mitgeteilten Sinne — möglicherweise — verwirklicht werden, liegt ein Fall des § 8 BNatSchG vor und dieses sog. „Huckepackverfahren“ wird in Gang gesetzt. Dergestalt kommt es zu einer landschaftspflegerischen, folglich mehrmedialen Prüfung, so daß auch auf der Zulassungsebene den synergistischen Anforderungen des Bodenschutzes Rechnung getragen wird.

Freilich soll nicht verkannt werden, daß die Regelung des § 8 BNatSchG aus verschiedenen Gesichtspunkten novellierungsbedürftig ist<sup>37)</sup>, so insbesondere mit Blick auf fachge-

29) Dazu am Beispiel des Bodenrechts nach Art. 74 Nr. 18 GG ERBGUTH, Rechtliche Abgrenzungsfragen bei der Stadterhaltung, DVBl. 1985, 1352, 1356.

29a) Zum Fragenkomplex der Umweltverträglichkeitsprüfung jüngst umfassend CUPEL, Die Richtlinie des Rates über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten, NuR 1985, 297.

30) ERBGUTH, Das rechtssystematische Verhältnis von überörtlicher Landschaftsplanung und Landesplanung, UPR 1983, 137, 140 ff.

31) BACHMANN, Regionalisierung, IzR 1985 (Fn. 1), 40 f., 43.

32) Näher ERBGUTH, Weiterentwicklung (Fn. 10), S. 114.

33) Hierzu zuletzt das Hauptreferat und die Diskussion auf der 7. umweltrechtlichen Fachtagung der Gesellschaft für Umweltrecht im November 1985.

34) Eingehend KOPP, Verwaltungsverfahrensgesetz mit Erläuterungen, 3. Aufl., München 1983, § 75 Rdn. 3 ff.

35) Hierzu ERBGUTH, Weiterentwicklung (Fn. 10), S. 218 ff. m. w. N.

36) Dazu näher ERBGUTH/SCHOENEBERG, Die Umsetzung der EG-Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung vor dem Hintergrund rechtssystematischer Grundlagen der raumbezogenen Zulassungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland, WiVerw 1985, 102, 113 ff.

37) Näher EBERSBACH, Landschaftsverbrauch (Fn. 1), a. a. O.; zur Eignung des Verfahrens als (EG-)Umweltverträglichkeitsprüfung CUPEL, NuR 1985 (Fn. 29a), 305 ff.

setzung zulassungsfreie Vorgänge. Da es sich dabei, sofern es nicht um die Landwirtschaftsklausel geht, im wesentlichen um keine genuin bodenschützenden Gründe handelt, sind jene Fortentwicklungsvorschläge indes im vorliegenden Zusammenhang nicht weiter vertiefungsbedürftig.

### 2.2.2 Zum Eigentumsschutz auf der Zulassungsebene

Ein Letztes zum immer wieder beschworenen Abwehr- bzw. Entschädigungsrecht aus Art 14 GG gegenüber landespflegerischen Maßnahmen, vornehmlich im Hinblick auf Schutzgebietsausweisungen. Trotz der weit gefächerten, kaum noch zu überblickenden Diskussion über den Eigentumsschutz ist eine für den Umwelt- und Bodenschutz sehr wichtige Aussage des Bundesverfassungsgerichts in seinem vielbeachteten Naßauskiesungsbeschuß<sup>38)</sup> scheinbar in Vergessenheit geraten — und dies offensichtlich auch in der Spruchpraxis des Bundesgerichtshofs und des Bundesverwaltungsgerichts.

Das Bundesverfassungsgericht hat in seiner bezeichneten Entscheidung deutlich hervorgehoben, daß enteignungsfähige Rechtsstellungen, deren Entzug oder Beschränkung Entschädigungspflichten gem. Art. 14 Abs. 3 S. 2 GG nach sich ziehen kann, nur sog. „konkrete“ Eigentümerpositionen sind. Als solcherart konkretes Recht sieht das Gericht nicht den vom Bundesverwaltungsgericht und in ähnlicher Weise vom Bundesgerichtshof entwickelten Topos der eigentumsrechtlich verfestigten Anspruchsposition<sup>39)</sup>, also den Fall der sich anbietenden bzw. sich aufdrängenden Nutzungsmöglichkeit des Grundeigentums, auf die ein öffentlich-rechtlicher Anspruch besteht, an. Vielmehr sind Rechtspositionen nach der bundesverfassungsgerichtlichen Diktion nur dann konkret, wenn sie vom Eigentümer bereits realisiert, d. h. ins Werk gesetzt worden sind<sup>40)</sup>.

Damit reduzieren sich nun aber die entschädigungsrechtlichen Konsequenzen von Unterschützstellungen nach dem Landespflegerecht, auch bei Festlegung sog. Bodenschutzgebiete, beträchtlich: Enteignend wirken sie nur dann, wenn der Eigentümer eine bislang zulässige Nutzung auch tatsächlich umgesetzt hat. Andernfalls liegt lediglich eine Inhalts- und Schrankenbestimmung i. S. d. Art. 14 Abs. 1 S. 2 GG vor, die zwar verfassungswidrig sein kann, nicht aber — von dem eng umgrenzten Ausnahmefall der Ausgleichszah-

lungspflicht abgesehen<sup>41)</sup> — Entschädigungsansprüche des Betroffenen nach sich zieht.

### 3 Resümee

Bodenschutz läßt sich nach alledem weitgehend auf der Grundlage des geltenden Rechts betreiben<sup>42)</sup>. Mehrmediales und vorsorgend ausgerichtetes planerisches Mittel ist insofern die Landschaftsplanung, die zur bodenschützenden Leitplanung ausgebildet werden sollte. Im Wege der Einbindung ihrer raumrelevanten Inhalte in die Raumordnung/Landesplanung und in die Bauleitplanung kommt den landespflegerisch-bodenschützenden Festsetzungen eine umfassende Verbindlichkeit zu. Auf der Zulassungsebene gewährleistet das i. e. fortzuentwickelnde Verfahren nach § 8 BNatSchG den erforderlichen synergistisch orientierten Bodenschutz. Die eigentums- bzw. enteignungsrechtliche Problematik bei Schutzmaßnahmen gewinnt klare und begrenzte(re) Konturen unter Beachtung der jüngeren verfassungsgerichtlichen Rechtsprechung.

Angesichts dessen läßt sich verallgemeinernd sagen, daß die eigentlichen Problemstellungen des Bodenschutzes naturwissenschaftlich-technischer Art sind, insbesondere im Hinblick auf die weiter bestehende Notwendigkeit einer Verbesserung der Datenlage — und dies vornehmlich durch Erfassung umweltmedialer Wirkungszusammenhänge<sup>43)</sup>.

38) BVerfG, Beschl. v. 15. 07. 1981 — 1 BvL 77/78 —, BVerfGE 58, 300.

39) Hierzu PAPIER, in: Maunz/Dürig/Herzog/Scholz, Grundgesetz, Loseblatt, München, Stand Sept. 1983, Art. 14 Rdn. 333, 338 ff.

40) BVerfG, v. 15. 07. 1981 (Fn. 38), 331; kritisch PAPIER, in: Maunz/Dürig/Herzog/Scholz (Fn. 39), Rdn. 353.

41) BVerfG, Beschl. v. 14. 07. 1981 — 1 BvL 24/78 —, BVerfGE 58, 137, 157.

42) Zu Modifizierungen der Vorschriften über Schutzgebietsausweisungen zugunsten der Ausweisung von Bodenbelastungsgebieten HENNERKES, Konzeptionelle Überlegungen der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Bodenschutzprogramm“ der Umweltministerkonferenz, IzR 1985 (Fn. 1), 14.

43) Dazu HENNERKES, Konzeptionelle Überlegungen (Fn. 42), 9, 13 f.



Ein durch den Ausbau der Straße angeschnittener Hang muß hier mit Hilfe von Faschinen befestigt werden, um einen weiteren Bodenabtrag zu verhindern und eine Wiederbepflanzung zu ermöglichen. Foto: G. Olschow

## Bodenschutz — eine notwendige Voraussetzung für die Ernährung der Menschheit

Nach vorliegenden Prognosen wird die Weltbevölkerung von derzeit 4,5 Mrd. auf 10 bis 12 Mrd. im Jahre 2050 zunehmen (Abb. 1).

Die Nahrungsmittelproduktion müßte folglich innerhalb von zwei Dekaden annähernd verdoppelt werden, um mit dieser Bevölkerungsentwicklung Schritt zu halten.

Ein besonders hohes Bevölkerungswachstum ist in den Ländern der Dritten Welt zu verzeichnen. Nach Angaben der FAO bleiben aber in über der Hälfte gerade dieser Länder die Wachstumsraten der Agrarproduktion bereits seit geraumer Zeit hinter der Bevölkerungszunahme zurück (1).

Dieser Ländergruppe wird für das Jahr 1990 ein Nahrungsgetreidedefizit von 120—145 Millionen Tonnen vorausgesagt.

Dies würde gegenüber dem Import von 37 Millionen Tonnen Getreide derselben Länder im Jahre 1975 eine enorme Bedarfssteigerung bedeuten (1a). Es besteht somit Grund zur Sorge, daß sich die weltweite Nahrungsmittelversorgung langfristig eher verschlechtern wird. Landwirtschaftlich genutzte Fläche ist die Hauptquelle menschlicher Nahrung. Allein vier Fünftel der Grundnahrungsmittel in den Ländern der Dritten Welt bestehen aus Getreide oder Getreideverarbeitungsprodukten (2).

Das Angebot an Fischprodukten als der zweitwichtigsten Stütze der Nahrungsmittelversorgung wird aufgrund der begrenzten Seefischvorkommen nach Einschätzung von Fachleuten langfristig nur in geringem Umfang steigerungsfähig sein (2a).

Die Erhaltung der global für landwirtschaftliche Nutzung geeigneten Fläche ist somit eine elementare Voraussetzung zur Sicherung der Ernährung der Menschheit.

Parallel zum steigenden Nahrungsmittelbedarf ist aber eine fortschreitende Zerstörung land- und forstwirtschaftlich nutzbarer Flächen zu verzeichnen. Der weltweit zu beobachtenden Überlastung, Gefährdung und Vernichtung von Böden liegen unterschiedliche Ursachen zugrunde.

Zu den wichtigsten bodendegradierenden Prozessen zählen die Wind- und Wassererosion, die Desertifikation, die Versalzung, der Eintrag anorganischer und organischer Schadstoffe, der Abbau organischer Substanz mit den damit verbundenen nachteiligen bodenphysikalischen und bodenchemischen Veränderungen und fortschreitende Nährstoffverarmung.

Der durch diese Prozesse bedingte Verlust an landwirtschaftlich genutzter Fläche wird weltweit auf 600—900 ha/ Stunde oder 5—8 Millionen Hektar/Jahr geschätzt (3).

Hinzu kommt ein Flächenverbrauch für Wohngebäude, Industrie, Gewerbe und Verkehr, der im Zunehmen begriffen ist. Nach Schätzungen der UN werden allein städtebauliche Maßnahmen bis zum Jahr 2000 weitere 54 Millionen Hektar Fläche beanspruchen (4).

Einige Aspekte der fortschreitenden weltweiten Bodendegradierung sind von besonderer Bedeutung; sie werden nachfolgend kurz besprochen.

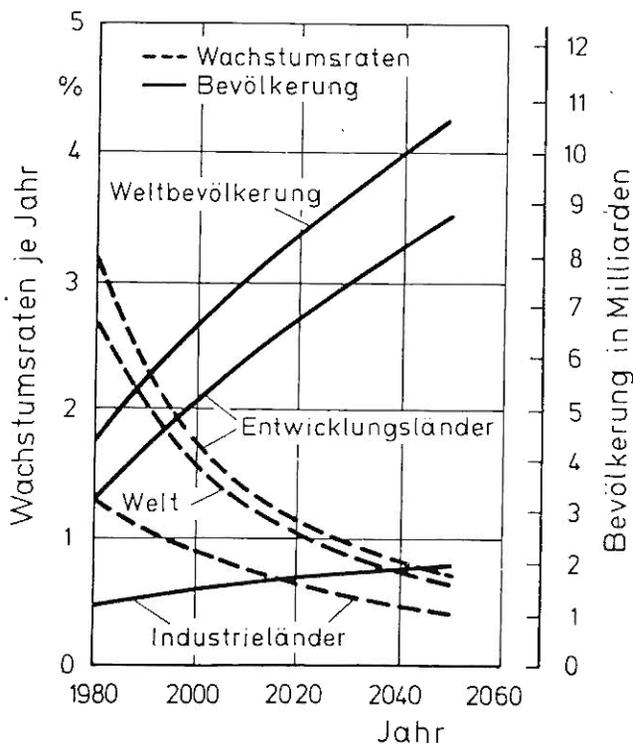


Abb. 1: Entwicklung der Weltbevölkerung (VDI-Nachrichten 1984)

### Bodenerosion auf landwirtschaftlich genutzter Fläche

Bodenerosion ist ein natürlicher Vorgang, der auch auf Grünland oder unter Wald beobachtet werden kann. Auf ein Fünftel (womöglich sogar ein Drittel) der weltweit landwirtschaftlich genutzten Fläche hat der Abtrag des Oberbodens durch Wind- und Wassererosion allerdings solche Ausmaße angenommen, daß die langfristige Produktivität ernsthaft gefährdet erscheint (5).

Dies trifft auf 43 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Australiens und 33 % des Ackerlandes der USA zu (6).

Extreme Erosionsraten werden auch aus Pakistan (7), Nepal (8), Indonesien (9), Spanien (6) und Äthiopien (10) berichtet.

### Abbau organischer Substanz und Nährstoffverarmung

Weltweit ist eine Abnahme des Gehalts an organischer Substanz in landwirtschaftlich genutzten Böden zu beobachten (2b). Als Ursachen dafür werden ein verminderter Humuseratz und bzw. oder veränderte landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken angegeben (Verkürzung der Brache, nicht angepaßte Bodenbearbeitung).

Infolge der klimatischen Gegebenheiten erfolgt der Humusabbau in kultivierten tropischen Böden besonders rasch. Bei unzureichendem Ersatz der organischen Substanz ist die damit verbundene Abnahme der Kationenaustauschkapazität bei vielen dieser Böden mangels ausreichenden Vorhandenseins mineralischer Austauscher gravierend. Eine Verminderung des Gehalts an organischer Substanz führt darüber hinaus zu nachteiligen Veränderungen der physikalischen Eigenschaften der Böden. Daneben ist die organische Substanz im Boden auch ein Nährstoffträger. Eine Abnahme der organischen Substanz führt in landwirtschaftlich genutzten Böden somit auch zu einem reduzierten Nährstoffangebot, wenn nicht durch Mineraldüngung ausgeglichen wird. Tatsächlich ist global betrachtet eine fortschreitende Nährstoffverarmung der Böden zu beobachten (2c).

Dies gilt in besonderem Maß für Stickstoff. Aber auch eine von BENTLEY et al. vorgenommene Gegenüberstellung von globalem Entzug und Ersatz des Nährelements Phosphor, dessen Gehalte in vielen Böden schon heute auf ein stark ertragslimitierend wirkendes Niveau abgesunken ist, ergab eine deutlich defizitäre Bilanz (2c).

### Entwaldung

In vielen Teilen der Erde werden Wälder ohne Rücksicht auf ihre ökologischen Besonderheiten ausgebeutet. Dies gilt in besonderem Maß für die Tropen. Während Wälder der gemäßigten Zonen einen Zustand des Gleichgewichts erreicht zu haben scheinen (11), schrumpfen tropische Forste durch zunehmenden Wanderfeldbau, ungeplante Siedlungen, Rodung für Plantagen und Weideflächen und Abholzung für Brenn- und Nutzholzzwecke schnell zusammen. Etwa 110 000 qkm von Feuchttropenwäldern werden schätzungsweise pro Jahr gefällt und abgebrannt.

Bei gleichbleibendem Tempo werden alle Wälder dieser Art in 85 Jahren verschwunden sein (11a). In Regionen mit mittlerer bis hoher Niederschlagstätigkeit hat großflächige Waldrodung schwerwiegende Folgen; bodenvernichtende Wassererosion, Überschwemmungen, Ablagerung alluvialer Sande über produktiven Böden und Grundwasserabsenkungen sind nur einige der damit verbundenen Effekte.

Die ersatzlose Rodung ausgedehnter Baumbestände führt darüber hinaus zu einer spürbaren Verknappung von Brennholz, der Hauptenergiequelle eines Drittels der Weltbevölkerung. In vielen Ländern wird in zunehmendem Maß Dung als Brennholzersatz verwendet, mit der Folge, daß die Versorgung der Böden mit organischer Substanz weiter abnimmt.

Der Mangel an Brennholz zur Nahrungszubereitung führt z. B. in Indien dazu, daß der größte Teil tierischer Exkremamente verfeuert wird; der dadurch bedingte Verlust von Pflanzennährstoffen entspricht einem Drittel der indischen Mineraldüngerproduktion (2d).

### Versalzung

Bodenversalzung ist ein weitverbreitetes Problem. In Ägypten ist z. B. im Zuge des Ausbaus des Bewässerungssystems nach Errichtung des Assuan-Staudamms eine Verminderung der pro Fläche verabreichten Wassermenge zu beobachten. Als Folge wird eine zunehmende Salzakкумуляtion in den Böden verzeichnet.

In den Prärie-Staaten Kanadas und den angrenzenden Gebieten der USA weisen Zehntausende von Hektar ehemals fruchtbarer Böden Salzgehalte auf, die das Pflanzenwachstum stark beeinträchtigen (2e). Die Hauptursache dafür wird

in der dort üblichen Praxis der turnusmäßigen Sommerbrache liegen. Im Zusammenhang mit Bewässerungsmaßnahmen auf Böden mit mangelnder Dränung wurde verbreitet der Grundwasserspiegel so stark angehoben, daß sich der Oberboden ständig im Bereich des Kapillarsaums des Grundwassers befindet. Bedingt durch die Aufwärtsbewegung und Verdunstung des Bodenwassers kommt es dann zu einer Anreicherung von Salzen im Oberboden. Die Ausdehnung der davon betroffenen Fläche ist erheblich.

Angaben der UNO zufolge war 1977 ein Zehntel der weltweit bewässerten landwirtschaftlichen Nutzfläche (21 Mio. ha) von Versalzung infolge bodennah anstehenden Grundwassers betroffen (5). Versalzungsschäden geben vor allem in Indien, Pakistan und im Irak Grund zur Sorge (2e). Aber auch die zunehmende Bodenversalzung in Teilen von Afrika, Australien und Nordamerika ist besorgniserregend (2e). Auf den betroffenen Flächen sollten umgehend Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

### Desertifikation

Angesichts der besonderen Aktualität der Desertifikation im Zusammenhang mit der Situation in den Sahelländern soll auf diesen bodenvernichtenden Prozeß etwas näher eingegangen werden. Das Vordringen von Wüsten bedroht die Zukunft von einigen 628 Millionen Menschen: 78 Millionen von ihnen sind bereits jetzt durch den Rückgang der Ertragsfähigkeit des Landes, von dem ihr Lebensunterhalt abhängt, direkt betroffen. Gebiete, in die die Wüsten schon vorgedrungen sind oder die von Wüstenbildung stark oder sehr stark bedroht sind, umfassen 20 Millionen Quadratkilometer, eine Fläche, zweimal so groß wie Kanada (11a).

Der UN-Konferenz über Desertifikation (UNCOD, 1977 in Nairobi) gemäß ist Desertifikation die Verminderung oder Zerstörung des ökologischen Potentials in ariden oder semiariden Klimaregionen, die in der Folge zur Bildung von Wüsten führt. Hauptursache für die fortschreitende Desertifikation ist die Übernutzung des Landes infolge zunehmender Bevölkerungsdichte und steigenden Viehbestandes.

Die Verkürzung der traditionellen Bracheperioden bis hin zu permanenter Landnutzung, Rodung, Buschfeuer, Brennholznutzung und intensive Beweidung bedingen die Zerstörung des Baum- und Strauchbestandes (12). Die mangelhafte Bodenbedeckung führt zu einer Abnahme des Humusgehaltes und starker periodischer Austrocknung des Bodens. Eine Verhärtung des durch Ferrallitisierung mit Aluminium- oder Eisenverbindungen angereicherten Oberbodens ist die Folge.

Als Konsequenz fließt ein zunehmender Teil des Niederschlagswassers oberflächlich ab und trägt Oberbodenmaterial mit sich fort. Bedingt durch die verringerte Wasserinfiltration vermindert sich die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser. Darüber hinaus kommt es zu einem Absinken des Grundwasserstandes. Der entblößte Boden ist während der Trockenzeit starken, trockenen Winden ausgesetzt, die das feine Bodenmaterial tonnenweise auswehen.

Das oberflächlich ablaufende Niederschlagswasser sammelt sich in Senken zu regelrechten Seen. Baumbestand und Grasnarbe dieser überfluteten Flächen werden zerstört. Die beschriebene Wirkungskette führt nach einigen Jahren zur vollkommenen Unfruchtbarkeit des Bodens (13).

Tabelle 1 (folgende Seite) verdeutlicht die Abnahme der Ertragsfähigkeit der Weidegebiete in der Sahelregion von Burkina Faso. Diese Zahlen sind auf die übrigen Sahelländer übertragbar.

**Tab. 1: Veränderung der Weidequalität**

	1955	1977
Weide in gutem Zustand	40 %	26 %
Weide in mäßigem Zustand	44 %	12 %
Weide in schlechtem Zustand	14 %	40 %
Weide in stark bis völlig degradiertem Zustand	2 %	22 %
	100 %	100 %

Quelle: Bericht des GTZ-Projekts, Koordinierung der Maßnahmen gegen die Desertifikation im Deutschen Sahelprogramm, Teil I, 1982.

Tabelle 1 ist zu entnehmen, daß sich 1955 noch 84 % der Weiden in gutem oder mäßigem Zustand befanden, während dies 1977 nurmehr auf 38 % der Flächen zutraf. Der Anteil völlig degradierter Flächen stieg dagegen von 2 auf 22 %.

Im Oudalan, der Sahelregion von Burkina Faso, nahm der Viehbestand im Zeitraum von 1955—1970 mit jährlich 2,8 % überproportional zum Bevölkerungswachstum zu. Diese Zunahme ist zu einem Gutteil in Zusammenhang mit den günstigen klimatischen Bedingungen in diesem Zeitraum zu sehen. Entwicklungspolitische Förderungsmaßnahmen, d. h. die wirkungsvolle Bekämpfung der wesentlichen Tierkrankheiten und die Erhöhung der Zahl der Viehtränken taten ein übriges.

Vor der Dürre wies dadurch dieses Gebiet einen Viehbesatz auf, der die Tragfähigkeit der Weiden bei weitem überstieg. Die Folge war ein Abfall der Produktivität, der die Viehhalter zwang, den Viehbestand noch weiter zu erhöhen (13).

Mit der Dürre 1971—1973 reduzierte sich der Nutztierbestand um ca. 20—30 % auf ein Niveau, das nach Aussagen von Fachleuten der langfristigen Tragfähigkeit der Sahelländer entspricht (13). Zu Beginn der achtziger Jahre hatte der Viehbesatz den Stand vor der Dürre Anfang der siebziger Jahre wieder erreicht.

Die abnehmende Flächenproduktivität führt dazu, daß die landwirtschaftliche Produktion nicht mehr mit der Bevölkerungsentwicklung Schritt hält, in einigen Ländern des Sahel sogar absolut rückläufig ist (Tab. 2).

**Tab. 2**

	Jährliche Wachstumsrate der landwirtschaftl. Produktion in % (1970—1979)	Index der Nahrungsmittelproduktion pro Kopf (1969/71 = 100) (1977—1979)	Nahrungsmittelhilfe pro Kopf	
			in kg	
			1978	1979
Tschad	0,7	91	11,5	5,9
Mali	4,2	88	5,0	3,7
Burkina Faso	— 3,3	93	9,3	8,7
Niger	— 1,5	89	4,3	4,5
Mauretanien	— 1,4	75	33,0	19,6
Senegal	3,6	88	31,2	11,8

Quelle: Weltbank 1981

Der langfristige Effekt der Desertifikation wird in den betroffenen Ländern darin liegen, daß eine Nahrungsmittelselbstversorgung in immer weitere Ferne rückt. Diese Länder geraten dadurch in eine zunehmende Abhängigkeit von Nahrungsmittelhilfen. Darüber hinaus wird der fortschreitende Verlust von Acker- und Weideflächen zu einem Anstieg des sozialen Konfliktpotentials führen.

Das vorstehend beschriebene Ausmaß der Bodenvernichtung und die anhaltende Bevölkerungszunahme haben zur Folge, daß z. B. die globale Getreidefläche in Relation zur Weltbevölkerung stetig im Sinken begriffen ist.

**Tab. 3: Weltbevölkerung und Getreideanbaufläche, 1950, 1980 und im Jahr 2000**

Jahr	Bevölkerung (Milliarden)	Getreideanbaufläche (Mio. ha)	Getreideanbaufl. pro Pers. (ha)
1950	2,51	601	0,24
1980	4,42	758	0,17
2000	6,20	828	0,13

Quelle: (5)

Auch eine globale Betrachtung wichtiger natürlicher Ressourcen wie Wälder, Weideland und Fischvorkommen ergibt sinkende Produktionsziffern, wenn die Weltbevölkerung als Bezugsgröße gewählt wird.

**Tab. 4: Globale Pro-Kopf-Erzeugung grundlegender biologischer Ressourcen, 1960—1980**

Jahr	Wälder	Fischgründe	Weideland		
	Holz Kubikmeter	Fisch Kilogramm	Rindfleisch Kilogramm	Schafffleisch Kilogramm	Wolle Kilogramm
1960	—	13,2	9,32	1,88	0,85
1961	0,66	14,0	9,62	1,90	0,84
1962	0,65	14,9	9,85	1,89	0,85
1963	0,66	14,7	10,74	1,88	0,83
1964	0,67	16,1	10,06	1,84	0,80
1965	0,66	16,0	9,92	1,79	0,78
1966	0,66	16,8	10,20	1,77	0,78
1967	0,64	17,4	10,38	1,89	0,78
1968	0,64	18,0	10,67	1,89	0,79
1969	0,64	17,4	10,70	1,85	0,78
1970	0,64	18,5	10,60	1,87	0,75
1971	0,64	18,3	10,37	1,87	0,73
1972	0,63	16,8	10,56	1,88	0,71
1973	0,64	16,8	10,46	1,79	0,66
1974	0,63	17,7	10,97	1,73	0,64
1975	0,61	17,2	11,28	1,75	0,66
1976	0,62	17,7	11,58	1,78	0,63
1977	0,61	17,3	11,52	1,74	0,62
1978	0,61	17,3	11,36	1,73	0,61
1979	0,60	16,9	10,88	1,72	0,60
1980*	0,60	16,1	10,53	1,74	0,62

\* (prel.)

Quelle: Food and Agriculture Organization

Die sich in diesen Zahlen widerspiegelnde offensichtliche Diskrepanz zwischen der Entwicklung der Weltbevölkerung und dem Output der lebenswichtigen biologischen Systeme verdeutlicht die unabdingbare Notwendigkeit, die Produktivität natürlicher Ressourcen zu steigern. Dem Bodenschutz kommt in diesem Zusammenhang grundlegende Bedeutung zu.

An dieser Stelle sei allerdings darauf hingewiesen, daß die Erhaltung oder sogar Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bei kontinuierlicher landwirtschaftlicher Nutzung in den gemäßigten Breiten leichter zu realisieren ist als in den Tropen. Die Ursachen dafür sind wohl in den klimatischen und bodenmäßigen Besonderheiten dieser Region zu suchen. Aber auch unter diesen Bedingungen bestehen bereits heute Möglichkeiten, den Boden wirksam zu schützen.

Als Maßnahmen zur Bodenkonservierung seien nachfolgend schlagwortartig genannt:

- ausreichende Dränung und sachgemäße Bewässerung zur Vorbeugung von Salzzakkumulationen
- Deck- und Mischkulturanbau sowie Mulchung zur Erosionsverminderung
- standortgerechte Fruchtfolge und Einarbeitung von organischer Substanz zur Erhaltung des Humusgehalts und zur Verbesserung der Nährstoffversorgung
- konservierende Bodenbearbeitung
- Streifenanbau, Terrassierung
- Stabilisierung von Sanddünen
- Errichtung von Windschutzgehölzen
- Agrarforstwirtschaft.

Entscheidend ist nun die Realisierung dieser Maßnahmen. Dazu bedarf es nicht nur ausreichender finanzieller Mittel, sondern auch einer fachkundigen Planung und Betreuung. Darüber hinaus sollte die Forschung auf dem Gebiet der Bodenkonservierung intensiviert werden. Alles entscheidende Voraussetzung zu einem wirkungsvollen Bodenschutz ist aber die aus Einsicht erwachsende feste Absicht aller Beteiligten, vor allem derjenigen, die das Land bewirtschaften, den Boden zu erhalten.

#### Literatur

- ( 1 ) Das Überleben sichern, Bericht der Nord-Süd-Kommission, Das Vorwärts Buch 1980, Kiepenheuer und Witsch, Köln, S. 119.

- ( 1a ) ebenda S. 117.  
 ( 2 ) DSE, GTZ, BMZ, Rockefeller Foundation: Soils. Report Prepared for the Conference „Agricultural Production: Research and Development Strategies for the 1980's Bonn, 8—12 Oktober, 1979, S. 1  
 ( 2a ) ebenda S. 1.  
 ( 2b ) ebenda S. 21.  
 ( 2c ) ebenda S. 22.  
 ( 2d ) ebenda S. 27.  
 ( 2e ) ebenda S. 24.  
 ( 3 ) BURINGH, P. Introduction to the study of soils in tropical and subtropical regions Pudoc, Wageningen, 1979, S. 6  
 ( 4 ) BROWN, L. R. Building a Sustainable Society, W.W. Norton and Co. 1981, S. 28.  
 ( 5 ) United Nations (UN) Conference on Desertification. Economic and Financial Aspects of the Plan of Action to Combat Desertification. Nairobi, 29. August—9. September, 1977.  
 ( 6 ) The State of Environment, OECD-Report 1985.  
 ( 7 ) US Agency for International Development (AID) „Fiscal Year 1980 Budget Propersal for Pakistan“ Washington, D.C. 1978.  
 ( 8 ) Master Plan for Power Development and Supply (Kathmandu, Nepal: His Majesty's Government, with Nippon Koei Company 1970).  
 ( 9 ) Bericht der US Botschaft, Jakarta, März 1976.  
 (10) AID „Fiscal Year 1980 Budget Proposal for Ethiopia“, Washington D.C. 1978.  
 (11) Weltstrategie zur Erhaltung der Natur, BML, Bonn, 1980, S. 159  
 (11a) ebenda S. 159.  
 (12) BMZ, CEC, GTZ: Towards control of Desertifikation in African Drylands — Problems, Experiences, Guidelines —, 1985.  
 (13) Sahel-Info, Bericht des GTZ-Projekts „Koordinierung der Maßnahmen gegen die Desertifikation“ im Deutschen Sahelprogramm, Teil I, 1982.

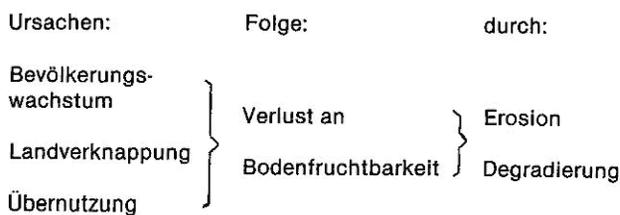


Schluchterosion am Rande der Sierra Nevada/Spanien, die sich ständig in die Nutzflächen ausbreitet und damit die Kulturlandschaft zerstört.  
 Foto: G. Olschowy

## Beispiele für Bodenprobleme und Lösungswege in Afrika

Meine Aufgabe ist es, die weltweiten (SCHLICHTING) beziehungsweise die Tropen insgesamt darstellenden (SCHÖN) Übersichten dieser Tagung durch zwei Fallbeispiele zu ergänzen, die an konkreten Standorten in groben Zügen die Bodenprobleme und die Strategien zu ihrer Lösung aufzeigen. Zu beiden Fällen habe ich als Berater und Leiter von Forschungsprogrammen in Projekten der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit mitgearbeitet.

Zunächst folgen die Bodenprobleme, besonders in ihrer heutigen Zuspitzung, einem allgemeinen, so noch für viele Standorte zutreffenden Schema:



Diese beiden Wirkungen schließen nun, standortgebunden in unterschiedlicher Akzentuierung, Verluste ein, die zu entsprechenden Gegenmaßnahmen zwingen. Dieses Maßnahmenpaket fällt an verschiedenen Standorten nach Klima, Nutzungsdichte, Relief und Boden sehr unterschiedlich aus.

Verluste im Bodenbereich:	Gegenmaßnahmen:
Wasserabfluß	→ Wasserrückhaltung
Feinerdabschwemmung	→ Erosionsschutz
Nährstoffverlust	→ Düngung
Humusschwund	→ Biomassenrückführung

**Beispiel 1:** Zentralregion Togo; GTZ-Projekt, derzeitiger Leiter des Programmes Dr. T. ZEUNER. Meine Beratungs- und Forschungsarbeit fand 1983 u. 84 statt.

### Situation:

Wir befinden uns in der Umgebung von Sokodé gerade noch im Bereich der Feuchtsavanne des Sudangürtels. Von April bis September fallen 900—1200 mm Niederschlag mit beträchtlichen Schwankungen bezüglich Menge und Verteilung. Von Oktober bis März ist Trockenzeit. Die Regenverteilung ist eingipflig, die Saison etwas überlang für eine, aber zu kurz für zwei Kulturen.

Verschiedene Ethnien siedeln im Gebiet, mit unterschiedlich betonter Zuwendung zu Ackerbau, Handel und Ackerbau oder aber Viehhaltung — wir befinden uns noch im südlichen Randgebiet der Transhumanz.

Die Bevölkerung wächst sehr stark, teils durch eine hohe Geburtenrate, teils durch Zuwanderung aus den Problemgebieten des Nordens. Je nach Straßennähe und Standortgüte findet man zwischen 30 und 70, ja stellenweise bis 100 Einwohner pro km<sup>2</sup>. Die Landnutzung erfolgt noch sehr stark durch Wanderfeldbau mit Brandrodung oder Feld-Busch-

Wechselwirtschaft, wobei die Regenerationsphasen bedenklich verkürzt werden. Mit diesen Nutzungsformen könnte das Land nachhaltig von 10—25 Menschen bewirtschaftet werden — darüber beginnt die Degradierung.

### Bodengefährdung:

Damit liegt schon klar, daß wir allenthalben entweder schleichende oder beschleunigte Bodendegradierung beobachten können. Eine Zunahme des Potentials findet nur in den meist leicht hydromorphen Talauen und Becken (badsfonds) statt, wo sich die erodierten Schluff- und Tonmaterialien der Kuppen und Hänge akkumulieren — das sind weniger als 5 % des Landes. Parallel zur Ausräumung der Gehölzvegetation und der Buschbrachen steigt der Wasserabfluß und damit die Erosion. Zwar liegen nur sehr flach geneigte (1—3 %) Hänge vor, dafür sind die Wassereinzugsgebiete um so größer. Verstärkt wird die Erosion durch die alljährlichen flächendeckenden Brände, die der Beseitigung lästiger Grasmassen dienen. Überhaupt stellt die starke Überbetonung der Gräser bei Kulturen (Hirse, Mais) und Unkräutern ein besonderes Problem für die Bodenpflege dar. Es fehlt an stickstoffbindenden Leguminosen, zumindest der Quantität nach; Erdnuß, Kuhbohnen, Soja, Taubenerbse sind zwar im Gebiet verbreitet, haben aber zu geringe Flächenanteile.

### Traditionelle Nutzung:

Wie war das Gebiet durch traditionelle Bewirtschaftung vor Einsetzen der Krise durch Übernutzung geschützt? In der Tat finden wir im ganzen Sudangürtel noch Reste alter Nutzungsformen, die unabhängig von Feinanpassungen an lokale Verhältnisse doch ein überraschend einheitliches Bild zeigen. Feldkulturen — teils auf kunstvollen Hügeln angebaut — wechseln mit Weidebrache, die nur wenig verbuschet; das Ganze wird optisch bestimmt durch lockeren Baumbestand mit Arten, die nutzbare Produkte liefern — Fett (*Butyrospermum paradoxum*), Eiweiß (*Parkia biglobosa*) oder Futter für Tiere, Blüten und Blätter als Gemüse, Früchte als Getränkezusatz und anderes. Die Arten sind zugleich feuerresistent, gehören also zur sogenannten „Feuerklimax“. Es liegt eine traditionelle Kultur-Baum-Savanne vor, deren Hauptschutz gerade vom Baumbestand — ergänzt durch die Brache — geleistet wird. Zusammen mit der Transhumanz ergibt sich in heutiger Terminologie ein agroforstliches, oder speziell Agrosilvopastoral-System.

### Moderne Neugestaltung:

Wir gingen davon aus, daß jede Neugestaltung von den guten, bodenerhaltenden Nutzungsformen der lokalen und/oder regionalen Traditionen ausgehen und sie durch behutsame Intensivierungsschritte wieder zur Nachhaltigkeit führen muß. Dafür kommt angesichts der Siedlungsdichte nur noch eine fast permanente Nutzung in Frage. Dies bedeutet für das Gebiet einen sehr tiefgreifenden Kulturwandel, der sich nur langsam vollziehen kann und viele Jahre dauern wird. Die entsprechende vorweggreifende Methodenentwicklung gemeinsam mit Bauern der Region ist ein wichtiger Schritt dazu.

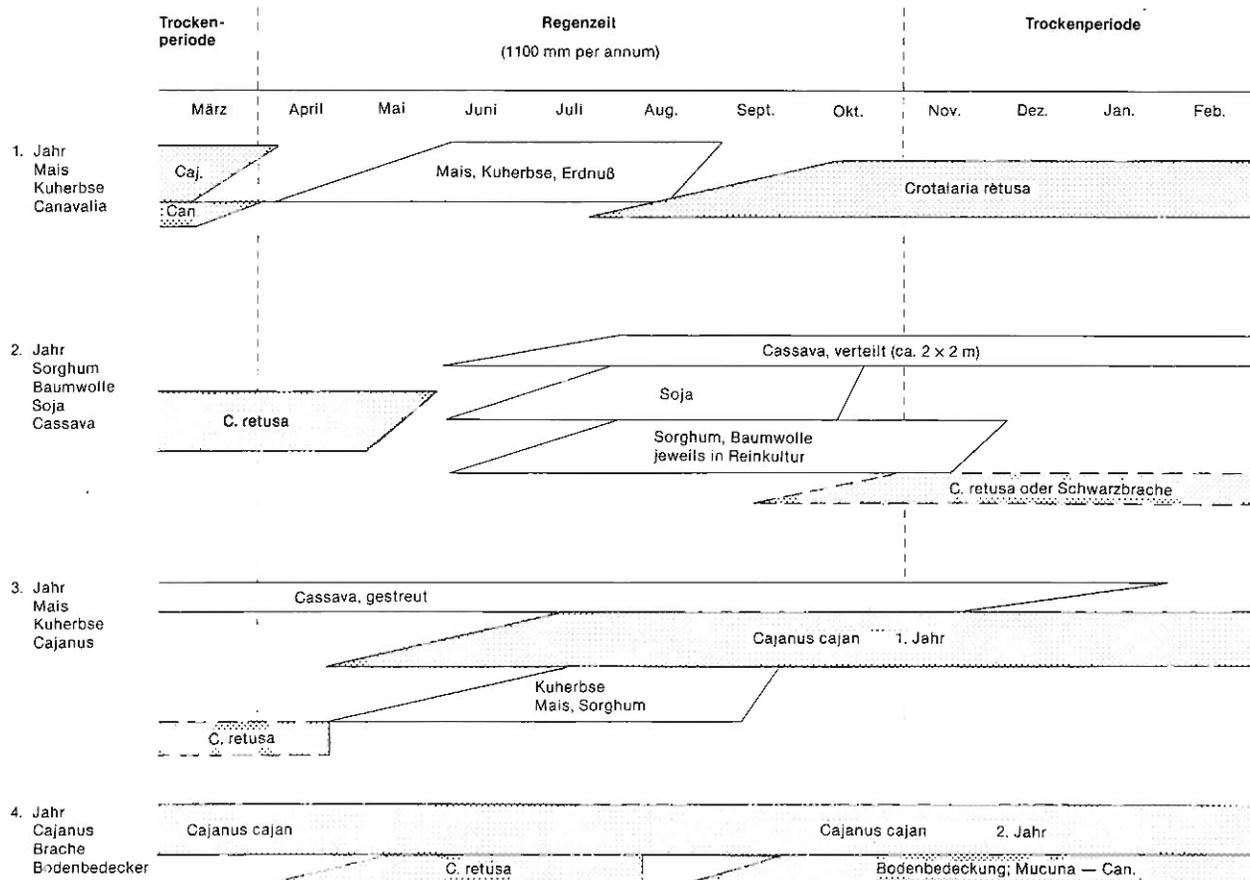
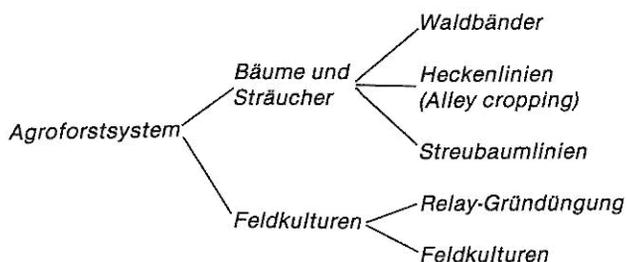


Abb. 1: Rotationsschema Togo

Als Elemente einer Modernisierung und Intensivierung kommen nun in Frage: Erosionsschutzlinien; Wiedereinführung von Bäumen im Feldbereich, unter Zuziehung neuer Baumarten; Forstbänder; erweiterte Mischkulturen; Rotation mit feuerresistenten Brachepflanzen; Intensiv-Kurzbrache statt Weidebrache; Feuerverhütung; verbesserte Düngung; Mechanisierung durch Tieranspannung. Diese Elemente müssen nun zu einem produktiv und nachhaltig funktionierenden System zusammengefügt werden, das einen möglichen Prototyp für weitergehende Feinentwicklungen darstellt. Der derzeit in Erprobung befindliche, durch Vorversuche abgesicherte Vorschlag gliedert sich in zwei Teile: die (Agro-)Forstkomponente und in die Rotation der eigentlichen Felder.

Synthese: ein Agroforstliches Rotationssystem:



— Waldbänder mit Nutz- und Brennholzarten (Teak, Albizzia, Leucaena, einige Akaziaarten) von 6—10 m Breite,

annähernd den Höhenlinien parallel geführt, sollen die langen Hänge unterbrechen — dazwischen liegen die Felder mit 20—30 m Breite.

— *Streubäume*, früher regellos locker in allen Altersstufen über die Felder verteilt, sollen nun in einer den Höhenlinien folgenden Reihe, durch die Feldmitte, in Abständen von 5—10 m angepflanzt werden. *Parkia biglobosa*, *Tamarindus indica*, *Butyrospermum paradoxum* kommen dafür in Frage.

— *Heckenlinien* sollen oder können die Waldstreifen säumen, das Eindringen von Feuer in den Baumbestand eindämmen und Schneitelmateriale für Mulchzwecke (Alley cropping) oder Tierfutter liefern. Geeignet sind *Leucaena leucocephala*, *Calliandra calothyrsus* und ganz besonders *Flemingia congesta*. In allen drei Fällen ist für gutes Gedeihen Inokulierung zu empfehlen. — Heckenlinien, wiederum entlang von Höhenlinien, können zusätzlich besonders breite Felder gliedern und dabei helfen, eine leichte Terrassierung herbeizuführen.

Alle drei „Forst“-Komponenten dienen wirkungsvoll der Wasserrückhaltung, dem Erosionsschutz und dem Humusaufbau (Heckenschnitt und Laubabwurf).

— *Relay-Gründung* ersetzt die alte, nur gering wirksame Weidebrache — die erst nach mehreren Jahren einen merklichen Regenerationseffekt der Felder erbrachte. Unser Gedanke war dabei, zur Erhöhung der Intensität nur noch kurze eigentliche Brachezeiten vorzusehen, im wesentlichen aber die Überlänge der Saison zu nutzen. Dazu kann in die heranwachsende Kultur, z. B.

Mais, eine geeignete Gründüngungspflanze eingesetzt werden, die nach Abernten der Kultur das Feld deckt. Durch ein Screeningprogramm ließ sich *Crotolaria retusa* als dafür geeignet ausmachen. Sie bleibt nun während der ganzen Trockenzeit grün, wodurch die Flächenbrände mangels brennbaren Substrats stark reduziert werden. Die Relay-Gründüngung kann in jedem vierten Jahr durch eine fast echte Brache ergänzt werden — ein Gemisch von *Cajanus cajan*, *C. retusa* und *Mucuna utilis* deckt dann für ein ganzes Jahr —, wobei aber noch eine beachtliche Ernte an Traubenerbsen anfällt.

- **Feldfrüchte/Mischkulturen:** Wie sich nun die Feldfrüchte, unter möglicher Beachtung von Mischkulturen, in das Gründüngungssystem als Rotation einfügen, zeigt das Rotationsschema. Punktieren sind die Düngungspflanzen, offen die Feldfrüchte. Wird diese Rotation in Form einer Vierfelderfolge hangabwärts geführt, so bleibt immer der überwiegende Teil der Fläche gedeckt. Darin liegt der Beitrag zum Erosionsschutz; der erhöhte Humusgehalt verbessert die Wasseraufnahme und Speicherung. Offen sind noch die Möglichkeiten, das System durch Mineraldüngung und mechanische Hilfsmittel der Bodenbearbeitung zu steigern und zu stabilisieren.

**Beispiel 2:** Zentralplateau in Rwanda. GTZ-Projekt mit Sitz in Nyabisindu.

Die Methodenentwicklung fand unter meiner Beratung und Leitung eines Forschungsprogramms von 1975 bis 1982 statt, als Dr. T. ZEUNER Leiter dieses Projektes war.

**Situation:**

Das Zentralplateau von Rwanda ist ein Bergland, in ca. 1400 bis 2000 m Meereshöhe gelegen, mit einer sehr hohen Bevölkerungsdichte von über 250 Menschen pro km<sup>2</sup>. Zwei Regenzeiten erlauben zwei Ernten, die Jahresniederschläge

betragen 900 bis 1200 mm. Das Klima ist sehr gesund und angenehm — der Hauptgrund für die dichte Besiedlung. Über 95 % der Bevölkerung leben in Einzelgehöften stark subsistenzorientiert. Marktprodukte für Export sind Kaffee und Tee. Das Bevölkerungswachstum liegt noch über 3 %. Die Hänge sind oft sehr steil — zum Anbau dienen Flächen mit 5—35 % Neigung. Die Armut des Landes erlaubt praktisch keinen Mineraldüngerimport.

**Bodenprobleme**

ergeben sich unmittelbar aus der steigenden Nutzungsdichte, dem Wegfall alter regenerierender Brache und dem Fehlen einer flächendeckenden Düngung. Immer intensiver werden gute Flächen gebaut, und dies überwiegend in Reinkulturen, immer mehr marginale zusätzlich in Kultur genommen. Der Tierbestand vegetiert weitgehend unproduktiv auf degradierten Weidenflächen. Rückgang der Bodenfruchtbarkeit und Zunahme der Erosion sind so offensichtlich, daß die Regierung Programme zum Boden- und Erosionsschutz, zur Tierstallhaltung und zur Verstärkung der Aufforstung marginaler Flächen mit Nachdruck verfolgt. In diese Zielsetzung war das GTZ-Projekt mit einbezogen.

**Traditionelle Vorbilder:**

Für die intensive (200—300 Menschen pro km<sup>2</sup>) und nachhaltige Nutzung von Bergländern wie in Rwanda erstaunlich leistungsfähige Vorbilder in Kenya (Kikuyu und Meru), Tanzania (Kilimanjaro und Usambara), Nigeria (Ibo), Kamerun (Bamiléké) und Äthiopien (Wollayta), um nur einige afrikanische Länder zu nennen. Diesen haben wir die wesentlichen Anregungen entnommen, die schließlich zum „standortgerechten Landbau“ von Rwanda geführt haben. Es handelt sich fast ausschließlich um ziemlich waldartige Landschaften, in denen der Anbau unter Bäumen, Bananen und oftmals zusätzlich Kaffee in permanenter Form erfolgt. Unkrauttoleranz und kurze Intensivbrachen zur Gründüngung können den Humusaufbau ergänzen. Auch hier also stets

Vernetzung der Funktionen im Agrosilvopastoral-System

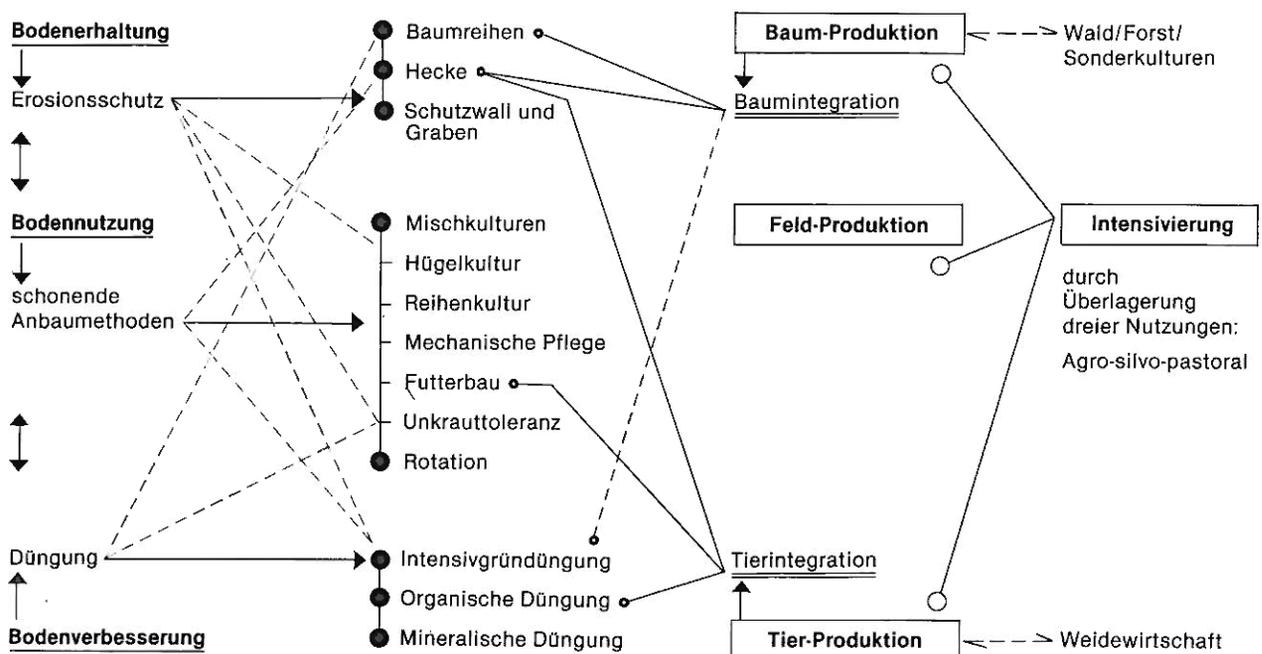


Abb. 2: Vernetzung der Funktionen im Agrosilvopastoral-System

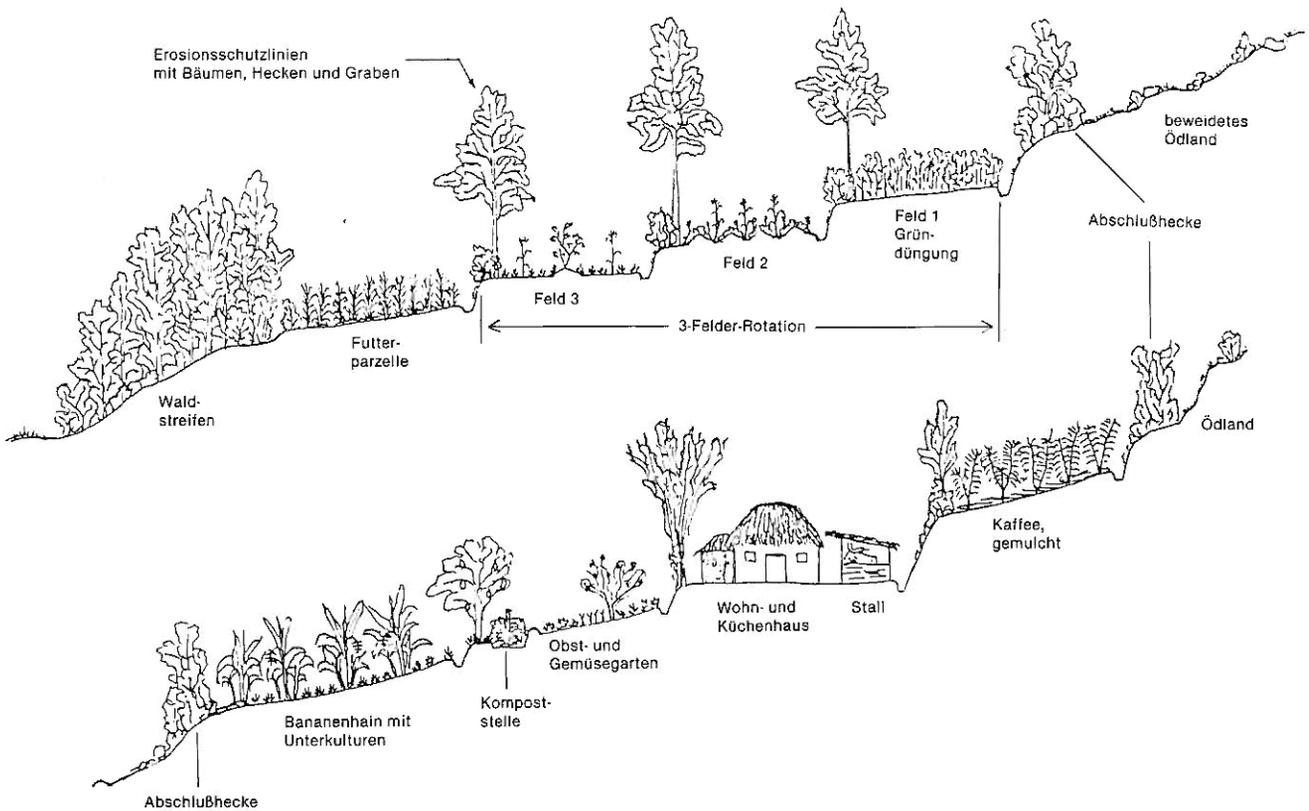


Abb. 3: Ideal gegliederter Kleinbetrieb mit typischen Anbauelementen in Rwanda

agrorforstliche Systeme, die von den Einheimischen als standortgemäß erkannt wurden.

#### Moderne Ausgestaltung

soll nun diese Systeme, die am Standort in Rwanda nicht vorliegen, aufgreifen und mit modernen Gesichtspunkten so steigern, daß trotz der hohen Anforderungen eine nachhaltige Produktion möglich ist. Dies setzt natürlich eine Lösung der Bodenprobleme mit voraus. Als Ergänzungen der traditionellen Vorbilder bieten sich an: Rückkehr zu Mischkulturen, Übergang zu Reihen- statt Streukulturen, Rotation und Intensivgründüngung, Erosionsschutzlinien mit Hecken und Bäumen statt nur Gräben, Stallhaltung der Tiere und Nutzung der Weiden für Wald- und Feldbau, mineralische Düngung, Kompost, Erweiterung des Kulturpflanzenpektrums (Soja, Obst). Dies galt es nun zu einem Anbausystem zusammenzufügen, wobei alle Komponenten möglichst gut ineinander verzahnt sein müssen im Sinne von „Mehrzwecknutzung“. Wieder ergibt sich aus konsequenten ökologischen Überlegungen ein erfahrungsgestütztes Agrorforstsystem.

#### Synthese: ein Agrosilvopastoral-System (s. Abbildung 2).

Die in den Jahren 1975 bis 1980 erprobten Methoden lassen sich von zwei Seiten her systematisch gliedern, wie unser Diagramm verdeutlicht. Zum einen wird davon ausgegangen, daß die Basis aller Produktion durch die Dreierheit Bodenerhaltung — Bodennutzung — Bodenverbesserung zu sichern ist; dem dienen Erosionsschutz, Kulturführung und Düngestrategien. Zum anderen aber wird von der Vegetations- und Anbaugestaltung und Tierhaltung ausgegangen. Basis der Produktion soll, von hier aus gesehen, die agrosilvo-pastorale Integration sein. Auch diese Dreierheit schlägt sich nun in den Betriebsmaßnahmen nieder. Holzgewächse finden sich als Baumreihe im Erosionsschutz, als Hecken

und als Intensivbuschbrache, darüber hinaus in kleinen Wäldchen, sowie als Obstgarten oder Kaffee- und gemulchtes Ödland. Die Hecken liefern Futterschnitt und sind damit ein Hauptträger der Tierstallhaltung, die ihrerseits zur Düngung in Form einer Kombination von Gründüngung, Mist (organische Düngung incl. Kompost) und mineralischer Düngung beiträgt. Will man für Zwecke der Ausbreitung die wichtigsten Innovationen hervorheben, so kann dazu die Liste, die zugleich eine Rangfolge ausdrückt, dienen: 1. Baumintegration, 2. Intensivbuschbrache, 3. Tierintegration, 4. Organische Düngung (Mist, Kompost), 5. Mischkulturen, 6. Betriebsmittel fremder Herkunft, am wichtigsten Mineraldünger.

Welche Elemente ein idealtypischer Hof in Rwanda auf etwa 1 ha Fläche aufweisen würde, zeigt die Abb. 3.

#### Literatur:

- BLEZINGER, G.: Nutzung von Wildpflanzen zur Bodenfruchtbarkeitssteigerung in der Feuchtsavanne Togos. Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 1985.
- EGGER, K.: Methoden und Möglichkeiten des Ecofarming in Bergländern Ostafrikas. In: Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Tropeninstitut der Universität Gießen, Reihe I, Symposien, Gießen 1982.
- EGGER, K.: Togo vert, Bericht über das Versuchsprogramm in Kazaboua mit Vorschlägen für seine Weiterführung. Vorgelegt bei der GTZ, Eschborn, 1984.
- TSCHIERSCH, J. E.; PFUHL A., STEIGER, J. und EGGER K.: Ökologische Problembereiche und mögliche Handlungsansätze in Entwicklungsländern. In: Forschungsberichte des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit, Band 61, Weltforum Verlag, Köln 1984.
- NEUMANN, I. und PIETROWICZ, P.: Agrorforstwirtschaft in Nyabisindu. In: Etudes et experiences N° 9, Projet Agro-Pastoral de Nyabisindu, Eschborn 1985.

## Naturschutz und Bodenschutz\*)

### 1 Böden als Interessen- und Aufgabengebiet des Naturschutzes

Das Interesse des Naturschutzes in Deutschland am Schutz der Böden ist gering im Vergleich zu seinem Interesse am Schutz geologischer Erscheinungsformen, wildwachsender Pflanzen, wildlebender Tiere und der Erhaltung der Reste ursprünglicher Natur mit ihren Lebensgemeinschaften. Eine Ausnahme bildeten lediglich die Bodentypen Niedermoor, Übergangsmoor und Hochmoor. Doch auch hier ging es dem Naturschutz mehr um die seltener werdenden Angehörigen der Moorflora und -fauna als um die Moore als hydro-morphe Böden.

Gibt es Gründe, die ein höheres Interesse des Naturschutzes am Naturgut Boden rechtfertigen? Welche Folgerungen sind, falls diese Frage bejaht wird, zu ziehen?

### 2 Böden als Teil der terrestrischen und semiterrestrischen Ökosysteme

Unter Böden werden nach W. LAATSCH und E. SCHLICHTING (1959) „beliebige dreidimensionale Ausschnitte aus der Pedosphäre von der Streu bis zum Gestein“ verstanden. Wird der Faktor Zeit hinzugenommen, ist Boden ein vierdimensionales System. Diese Betrachtung setzt sich ab vom Begriff „Boden“, wie er z. B. in der Bodenmechanik verstanden wird. Hier ist Boden das gesamte Lockergestein (u. a. Kies, Sand, Ton), gleich an welcher Stelle es sich im Erdkörper befindet.

Boden ist nicht nur „das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluß der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiter entwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen mit eigener morphologischer Organisation, das in der Lage ist, höheren Pflanzen als Standort zu dienen. . .“ (SCHROEDER 1978). In ihm vollzieht sich vielmehr ein wesentlicher Teil der in den terrestrischen und semiterrestrischen Ökosystemen ablaufenden Vorgänge, so vor allem in ständigem Vollzug Aufbau, Verbrauch und Abbau pflanzlicher und tierischer organischer Substanz. In Mooren beschränkt sich dieser Vorgang auf den Aufbau und die Ablagerung dieser Substanz.

Vom Luft-, Wasser- und Nährstoffhaushalt der Böden sind die Menge und die Qualität der Nahrung für Mensch und Tier abhängig. Von der Filterwirkung, Sorptionsfähigkeit und Wasserdurchlässigkeit der Böden wird die Beschaffung und Neubildung des Grundwassers beeinflusst. Von ihren jeweiligen Eigenschaften hängt wiederum das Gedeihen und die Organisation der verschiedenen Bodenorganismengesellschaften ab, die sich u. a. in der biologischen Aktivität ausdrückt.

Ohne die Böden ist der Kreislauf der Stoffe in der Natur nicht zu denken. Stickstoff, Kohlenstoff, Wasser und andere Stoffe, aus denen lebende Organismen aufgebaut sind, zirkulieren wiederholt zwischen belebten und nicht belebten Dingen. Daß ein Atom eines bestimmten Elements als Teil toter organischer Substanz immer wieder vom biotischen Teil der terrestrischen Ökosysteme benutzt werden kann, ist

den Böden zu verdanken. Man möge sich nur den Kreislauf des Stickstoffs als gasförmigen Kreislaufstyp oder eines Mineralsalzes als Ablagerungstyp vergegenwärtigen.

An die Bedeutung des Bodens im Naturhaushalt und die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit erinnerte E. SCHLICHTING bereits vor 10 Jahren: „Von den Böden hängt nicht nur das Leben der in ihnen existierenden Kleinorganismen und der in ihnen wurzelnden Pflanzen unmittelbar ab, sondern mittelbar auch die Existenz aller übrigen Organismen, die auf oder über dem Boden leben. Als Bindeglieder zwischen der Gesteins-, der Wasser- und der Lufthülle der Erde haben deshalb die Böden wichtige Funktionen in den Ökosystemen, deren Glieder sie sind. Physikalische und chemische Umwelteinflüsse aus Atmosphäre, Wasser und Gestein werden in den Böden weitgehend abgepuffert. Wo diese Umwelteinflüsse durch menschliche Eingriffe künstlich verändert sind, ist die Fähigkeit der Böden zum Abpuffern jedoch weithin überfordert oder sogar durch direkten Eingriff in das biologische Gefüge der Böden drastisch verringert. Das wiegt um so schwerer, da die Pufferwirkung der Böden oft auch für benachbarte Landschaftsteile von großer Bedeutung ist“ (SCHLICHTING 1972).

Mit seinem Filter-, Puffer- und Transformationsvermögen spielt der Boden neben seiner Aufgabe als Lebensraum und Nahrungsproduzent, worauf D. SCHROEDER (1978) hinweist, eine entscheidende Rolle im Kampf gegen die zunehmende Umweltverschmutzung und -belastung in unserer Zeit. In seiner Eigenschaft als Filter bindet er feste Schmutz- und Schadstoffe, z. B. Abfälle aller Art wie Müll, Schutt, Mist, Gülle, Fäkalien und Klärschlamm (mit den in einem Teil dieser Abfälle enthaltenen toxischen Elementen wie Fluor, Quecksilber, Cadmium, Blei, Zink, Kupfer und anderem), so daß Grund- und Trinkwasser nicht verunreinigt werden oder weitgehend davon freibleiben. Diese Filterleistung ist bei Schluff- und Tonböden verhältnismäßig hoch (in Anlehnung an SCHROEDER 1978).

Von Natur aus gibt es stark belastungsfähige, aber auch hochempfindliche Böden. Dazwischen gibt es Übergänge aller Art. Doch sollte Klarheit darüber bestehen, daß Böden ebenso wie fließende und stehende Gewässer Grenzen aufweisen bezüglich ihrer Fähigkeit, Stoffe aufzunehmen und zu verarbeiten. Böden dürfen nicht beliebig belastet werden. Ihre Leistungsfähigkeit wird gemindert, wenn sie Schadstoffen in hohen Konzentrationen ausgesetzt werden. Da Böden von ihrer Funktion in den terrestrischen Ökosystemen her gesehen „wichtige Landschaftsteile sind, stellt ihre Zerstörung (z. B. durch Überbauung) oder eine Verminderung ihrer Speicherleistung (z. B. durch Erosion . . . oder Humusschwund nach Entwässerung) ein beträchtliches Risiko dar, um so mehr, je stärker die Zufuhr von Fremdstoffen, z. B. Abgasen und Abwässern, Bioziden oder Müll ist. Bei direktem Kontakt mit Organismen, erdnahen Luftschichten oder Gewässern belasten diese Stoffe die Umwelt, während

\*) Vortrag, gehalten am 8. 3. 1982 auf Burg Linn in Krefeld anläßlich eines wissenschaftlichen Kolloquiums des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen aus Anlaß der Verleihung der Peter Josef Lenné-Medaille in Gold des Europapreises für Landespflege der Johann Wolfgang von Goethe-Stiftung zu Basel an Ltd. Geologiedirektor Dr. G. HEIDE.

sie über Böden noch mehr oder weniger gut abgepuffert werden bzw. werden könnten . . . Andererseits besteht zur Sorglosigkeit kein Anlaß. In vielen Fällen ist die Standortabhängigkeit der Pufferwirkung nicht hinreichend bekannt. Aus Untersuchungen über den Abbau von Bioziden in einem bestimmten Boden kann man noch keine allgemeine Aussage herleiten über den Abbau ‚im Boden‘. Auch die Kenntnis der Beziehungen zwischen Boden und Belastbarkeitsmuster ganzer Landschaften ist noch mangelhaft . . . Diese Unkenntnis birgt in sich die Gefahr des plötzlichen Zusammenbruchs ganzer Ökosysteme nach langer Speicherung unterschiedlicher Belastungen“ (SCHLICHTING 1972).

In den Böden befinden sich auch Hauptbestandteile des Steuerungssystems, mit dessen Hilfe das Funktionieren der terrestrischen Ökosysteme sichergestellt wird. In gleicher Weise wie in marinen und limnischen Ökosystemen steuern gelöste organische Substanzen die Lebensvorgänge auch in terrestrischen Ökosystemen, und hier insbesondere mit Hilfe der Böden (PFLUG 1982 a, S. 893 und 1982 b, S. 108). Das natürliche Waldökosystem setzt seine ganzen Kräfte dafür ein, widerstandsfähig zu bleiben und den Unbilden der Natur zu trotzen. Die Stoffwechselprodukte streben danach, sich mit der fortlaufenden Sukzession zu vermehren, „ . . . wenigstens nimmt ihre Mannigfaltigkeit zu, nicht nur, weil neue Synthesewege beschritten werden, sondern auch, weil Anhäufung organischen Materials öfter zeitlich oder dauernd örtlich anaerobe Bedingungen schafft, die ein Bestehen von unvollständig zersetzten organischen Substanzen“ im Boden begünstigen. Da solche Substanzen sich als regulierend erwiesen haben, gibt es — worauf in diesem Zusammenhang ODUM (1967, S. 100) hinweist — keinen logischen Grund, warum chemische Regulatoren nicht genauso im Ökosystembereich bedeutsam sein können wie im Zellbereich. „Chemische Regulierung ist ein Weg, um einer Biozönose Stabilität zu gewähren, wenn die Klimax nahezu“ oder ganz erreicht ist.

Schwer vorstellbar sind bisher Art und Geschwindigkeit der Ausbreitung solcher Substanzen in den Böden und der durch sie verbreiteten Nachrichten an die Lebewesen terrestrischer Ökosysteme im Vergleich zu limnischen und marinen Ökosystemen. Nach KÖSTLER, BRÜCKNER und BIBELRIETHER (1968, S. 94) erwähnt BRAUN (1965) „einen in den USA in einem Eichenbestand mit Radioisotopen durchgeführten Versuch, bei dem die in einem Baum eingegebenen Isotope in 21 Bäumen der nächsten Umgebung nachgewiesen werden konnten, zwischen denen demnach Verbindungen in Wurzelsystem anzunehmen waren. Von solchen ‚gemeinsamen Wurzelsystemen‘ hatte schon von KRUEDENER (1943) unter dem Eindruck der dichten, in der obersten Bodenschicht zusammengedrängten und vielfach verwachsenen Bewurzelung von Fichtenbeständen auf Lößlehm Böden gesprochen“. Die „Nachrichtenübermittlung“ zwischen Bäumen muß jedoch nicht über Wurzelverwachsungen führen und scheint auch in verhältnismäßig kurzer Zeit vor sich zu gehen. „Auch ohne eine Wurzelverbindung kann zwischen benachbarten Bäumen ein Stoffaustausch erfolgen. ACHROMEIKO (1958) stellte fest, daß Schwefel- und Phosphorverbindungen auf Blätter bzw. Nadeln von Eichen-, Kiefern-, Fichten- und Lindensämlingen aufgebracht, nach einigen Stunden in Stamm und Blättern ungedüngter Nachbarpflanzen nachzuweisen waren“ (KÖSTLER, BRÜCKNER und BIBELRIETHER 1968, S. 95). Besteht ein Steuerungs- und Nachrichtensystem im Boden zwischen benachbarten Bäumen, dann sicher auch zwischen allen Gliedern eines Ökosystems. Dieser Regelmechanismus ist heute durch Verschmutzung im Meer, in Fließgewässern und auf dem Land durch Biozide, Müll, Abgase und andere Schadstoffgruppen gestört.

Allein schon wegen ihrer Bedeutung für einen funktionsfähigen Naturhaushalt und damit auch für die Erhaltung selte-

ner und gefährdeter Pflanzen- und Tierarten müßten die Böden seit langem im Blickpunkt des Naturschutzes stehen und zu Schutzmaßnahmen verschiedenster Art Anlaß gegeben haben.

### 3 Vielfalt, Seltenheit und Eigenart der Böden

Ein weiterer Grund, die Böden in den Mittelpunkt des Naturschutzes zu rücken, ist die Erhaltung ihrer vielfältigen naturbedingten Erscheinungsformen. Einen ersten Eindruck über die Formenfülle vermitteln die bei E. MÜCKENHAUSEN (1977) abgebildeten 60 Bodenprofile. Von diesen verschiedenen Erscheinungsformen hängen auch das Landschaftsbild, das Nutzungsmuster und das Auftreten bestimmter Pflanzen- und Tiergesellschaften ab. MÜCKENHAUSEN (1977, S. 171 ff.) nennt nach dem von ihm entwickelten System 55 Bodentypen und 210 Bodenuntertypen (Subtypen). Darüber hinaus treten noch unzählige Varietäten und Subvarietäten auf.

Seit langer Zeit verändert der Mensch durch Entwaldung, Anbaumethoden, Ent- und Bewässerung, Stoffeintrag und Stoffentnahme die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Böden. Er wandelt damit auch ihr Gesamtgefüge und steuert die Bodenentwicklung. Dieser Prozeß vollzog sich in Mitteleuropa bis zum Ende des vergangenen Jahrhunderts, abgesehen von der Bodenerosion durch Wasser und Wind, vergleichsweise langsam und ohne größere Belastungen. Etwa seit dem Beginn unseres Jahrhunderts wandeln sich die Böden in Richtung auf anthropogen bestimmte Merkmale tiefgreifend und in raschem Tempo. Für die Landwirtschaft sind die Böden Produktionsmittel. Der Landwirt, gleich in welcher Landschaft tätig, unternimmt jede nur erdenkliche Anstrengung, den Böden die Leistung abzugewinnen, die seinen wirtschaftlichen Vorstellungen entspricht. Seit einigen Jahrzehnten ist daher im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen eine Nivellierung der Böden im Gange, die das vielfältige Standortmosaik verwischt und bei vielen Bodentypen eine nachhaltige Veränderung ihrer „normalen“ Entwicklung bewirkt. Die Änderung des Bodengefüges durch Anbau schädigend wirkender Kulturpflanzen, problematische Bearbeitungsverfahren, übermäßigen Wasserentzug und Stoffeintrag in bedenklich hoher Konzentration führt langfristig nicht nur zu einer Steigerung der Leistungsfähigkeit, sondern auch zu Bodenerosion, Bodenverdichtung, Humusschwund, Anreicherung nicht auswaschbarer Schwermetalle und nachhaltiger Schädigung der Bodenlebewesen.

Auch die Forstwirtschaft beeinflusste auf vielen Standorten durch Entwässerung die Bodenentwicklung und verändert sie noch heute durch problematische Baumartenwahl in nachhaltiger Weise, z. B. durch Fichtenreinbestände auf ärmeren Standorten mit der Folge der Versauerung und Podsolierung (soweit diese nicht schon vorher durch Heidewirtschaft verursacht wurden).

Eine größere Anzahl von Bodentypen bzw. Bodenuntertypen kommt in der Bundesrepublik Deutschland nur in vergleichsweise kleinen Arealen vor. Zum Teil liegen ihre Hauptareale in benachbarten Ländern. Dazu gehören z. B. Bodentypen wie Regosol, Pararendzina, Tschernosem, Brauner Steppenboden, Ton-Pelosol (kleine Vorkommen in Norddeutschland) sowie zahlreiche Subtypen von Staupodsol, Auenrendzina, Paternia, Tschernitza und Moormarsch.

Dem Naturschutz fällt seiner Tradition nach die Aufgabe zu, gemeinsam mit den Geologischen Landesämtern die Vielfalt und Eigenart der Böden und die darin von Natur aus ablaufenden Prozesse zu sichern. In den unterschiedlichen Naturräumen wäre ein Netz geschützter Flächen zu schaffen, in deren Bereich die natürliche Entwicklung der dort

von Natur aus auftretenden Bodentypen und Bodenuntertypen möglich bleibt. Der Sinn einer solchen Forderung liegt unter anderem darin, der Forschung die Möglichkeit zu erhalten bzw. zu geben, sowohl vom Menschen nur wenig als auch von ihm stark beeinflusste Böden des gleichen Typs vergleichen zu können, um daraus Folgerungen für ihre Nutzung und ihren Schutz zu ziehen. Die Bedeutung eines solchen Vorgehens für den Schutz gefährdeter Vegetationsgesellschaften und schutzwürdiger Pflanzen- und Tierarten sollte nicht unterschätzt werden.

Aus gutem Grund befaßt sich der Naturschutz inzwischen nicht nur mit dem Bodentyp Moor, sondern auch mit einem anderen Bodentyp, den es ohne nennenswerte Belastungen zu erhalten gilt: den Wattboden. Die Erhaltung der schutzwürdigen Pflanzen- und Tierwelt der Nordseewatten ist ohne die Sicherung der nach Sedimentationsräumen gegliederten Bodentypen Seewatt, Brackwatt und Flußwatt nicht zu denken. Bereits im Jahr 1937 wurde das Wattengebiet östlich Sylt zwischen dem Hindenburgdamm und der Grenze zu Dänemark in einer Größe von rund 200 km<sup>2</sup> als Naturschutzgebiet ausgewiesen, damals allerdings nur wegen seiner Bedeutung als Raststätte und Nahrungsgebiet für durchziehende Strand- und Wasservögel und damit für die Ornithologie.

#### 4 Naturschutz und Schutz geologischer Erscheinungsformen

Im Gegensatz zum Schutz der Böden ist der Schutz „ausgefallener“ geologischer Erscheinungsformen ein ebenso altes Anliegen des Naturschutzes wie der Schutz seltener Pflanzen- und Tierarten. Das Interesse des Naturschutzes lag und liegt vielfach noch heute weniger im ökologischen, als im ästhetischen Bereich. Bei den geologischen Erscheinungsformen geht es ihm in erster Linie um den Schutz einmaliger, seltener und eigenartiger Landschaftsbilder, wobei sowohl erdgeschichtliche Zusammenhänge als auch der Zusammenhang zwischen geologischen Erscheinungen und der darauf siedelnden Pflanzen- und Tierwelt eine Rolle spielen. Kein geringerer als Alexander von Humboldt legte hierzu das Fundament (SCHOENICHEN 1942, S. 146). Für Deutschland ist er nicht nur der Vater des „dendrologischen Naturschutzes“, sondern auch des „geologischen Naturschutzes“.

In der Arbeit von H. ANT und H. ENGELKE (1973) über die Naturschutzgebiete in der Bundesrepublik Deutschland werden rund 1000 Naturschutzgebiete beschrieben und nach ihrer Bedeutung für die Wissenschaftsbereiche Geologie, Paläontologie, Vegetationskunde, Zoologie, Ornithologie und Geschichte gegliedert. Für den Bereich Geologie sind nach dieser Aufstellung 239 Naturschutzgebiete (25 % aller Naturschutzgebiete) von Bedeutung. Nun könnte vermutet werden, in dieser Gliederung seien unter dem Begriff Geologie auch Naturschutzgebiete aufgeführt, die für die Bodenkunde Bedeutung haben. Das ist jedoch nicht der Fall. Es handelt sich um geologische Erscheinungen, die Gegenstand der „Unterschutzstellung“ waren, z. B.:

Kliffküsten	Umlaufberge
Steilküsten	Bergmassive
Küsten- und Binnendünen	Granit-, Quarzit- oder
Watten	Basaltblöcke
Inseln	Blockmeere
Seen, Weiher	Erdfälle
Moore	Dolinen
Täler, Quelltäler	Drumlins
Schluchten, Klamme	Tobel
Felsen, Felswände, Felsklippen	Höhlen
Felsplateaus	Verwerfungen
Steilhänge	Vulkane
Kuppen, Hügel, Rücken, Kegel	Maare

P. GÖBEL (1976) beschreibt die bis 1976 im Kreis Bitburg-Prüm ausgewiesenen Naturdenkmäler. Von den in seiner Arbeit aufgeführten 235 Naturdenkmälern sind 37 Gesteinsbildungen (u. a. Wasserfälle, Stromschnellen, Tropfsteinhöhlen, Felswände, Felsklippen, Felsschluchten, Kuppen, Bergkegel und Maare). Diese Erscheinungsformen haben einen Anteil von 19 % an allen Naturdenkmälern dieses Kreises. Außer Hochmooren waren Böden nicht Gegenstand der Ausweisung als Naturdenkmal.

#### 5 Landschaftspflege und Schutz der Böden

In enger Verbindung mit dem Begriff Naturschutz wird seit etwa Mitte der dreißiger Jahre der Begriff Landschaftspflege gebraucht. Die enge Verbindung beider Begriffe setzt sich auch fort in den Titeln und Bestimmungen der neueren Naturschutzgesetze. Die Landschaftspflege erstrebt den Schutz, die Pflege und Entwicklung von Landschaften, die nachhaltig leistungsfähig, ökologisch vielfältig, schön und für den Menschen gesund sind (BUCHWALD 1966, Sp. 982).

Auf die Böden bezogen müßte es also das Ziel der Landschaftspflege sein, ihre natürliche Leistungsfähigkeit (Funktionsfähigkeit) nachhaltig zu sichern und Schäden, z. B. Bodenerosion durch Wind und Wasser, zu vermeiden oder wenigstens mindern zu helfen.

Doch in diesem Arbeitsgebiet spielten die Böden lange Zeit keine Rolle. Diese Feststellung trifft auch für das Verhältnis zwischen Landschaftspflege und Bodenerosion zu. In den Standardwerken der Landschaftspflege, z. B. in den mit dem Titel „Landschaftspflege“ versehenen Büchern von E. GRADMAN (1910) und H. SCHWENKEL (1938) ist zu diesem Problem kein Satz zu finden. GRADMAN schreibt zwar an einer Stelle (S. 58): „Durch die Tritte des Viehs wurde freilich oft an steilen Hängen die Grasnarbe zerstört, Entblößungen herbeigeführt und Erdrutsche vorbereitet“. Doch gleich der nächste Satz lautet: „Aber dafür haben die durch Schafweide kahlgehaltenen Berge, wenn sie durch Lage — als Inselberge — oder Form — als geologische Charakterberge — ausgezeichnet sind, von ihrer Kahlheit einen ästhetischen Vorteil . . .“.

Dabei gab es um die Mitte und gegen Ende des 19. Jahrhunderts bereits eine umfangreiche Schutzwaldgesetzgebung in Deutschland und fast allen europäischen Staaten. Anlaß waren die Schäden, die allenthalben durch die übermäßigen Entwaldungen nach der Französischen Revolution aufgetreten waren. In den Alpen und auch in den Mittelgebirgen folgte eine Hochwasserkatastrophe der anderen, in den Ebenen wurde der wehende Sand zum Feind der Landwirtschaft und der Verkehrswege. Das preußische „Gesetz betreffend Schutzwaldungen und Waldgenossenschaften“ aus dem Jahre 1875 weist auf die Folgen verfehlter Waldwirtschaft und die daraus entstehenden Gefahren wie Austrocknung des Bodens, Versandung, Erosion durch Wasser und Wind und die extreme Wasserführung in den Flüssen hin und enthält entsprechende Anordnungen zur Beseitigung oder Minderung solcher Schäden (PFLUG 1969, S. 250, und 1982 c, S. 12).

Im Jahr 1937 beginnt der Bodenkundler H. KURON die planmäßige Erforschung der Bodenerosion und der damit verbundenen Gefahren für die Fruchtbarkeit der Böden und die landwirtschaftliche Nutzung (GRACANIN 1964). Erst danach nimmt sich auch die Landschaftspflege in größerer Breite dieses Themas an und trägt zur Entwicklung von Methoden und Maßnahmen zur Abhilfe bei. Zu Beginn der vierziger Jahre erscheinende Werke wie die „Landschaftsfibel“ von H. F. WIEPKING (1942) und die „Heckenlandschaft“ von A. SEIFERT (1944) weisen jeweils mehrere Abschnitte zu den Ursachen und zur Bekämpfung der Bodenerosion auf. In dieser Zeit entwickelte sich auch die Ingenieurbiologie, fußend

auf alten Erfahrungen im Alpenraum (u. a. zur Sicherung von Hängen gegen Bodenerosion, Rutschung, Geröll- und Schneelawinen) und in Mittel- und Norddeutschland (u. a. bei der Festlegung von Küsten- und Binnendünen). Als erstes Fachgesetz enthält das Flurbereinigungsgesetz von 1953 umfangreiche Bestimmungen zur Landschaftspflege, darunter auch zum Bodenschutz. Für den Bodenschutz als Voraussetzung zur Erhaltung und Wiederherstellung eines gesunden Naturhaushalts setzt sich auch 1961 die Grüne Charta von der Mainau ein.

Bei der Behandlung des Kapitels Landschaftspflege und Bodenschutz sollte nicht untergehen, daß der humose Bodenhorizont, der A-Horizont, bereits Ende der dreißiger Jahre einem ersten Schutz unterworfen wird, und zwar im Bau-sektor. 1939 gibt der Reichsernährungsminister, zugleich im Namen des Reichsministers des Inneren, des Reichswirtschaftsministers und des Reichsverkehrsministers einen Runderlaß zum Schutz der Muttererde bei der Errichtung von Bauwerken heraus. Das Bundesbaugesetz von 1960 nimmt diesen Vorgang auf und reserviert dem Schutz des Mutterbodens einen eigenen Paragraphen (§ 39 BBauG). Ohne weitere Ausführungsvorschriften konnte diese Bestimmung allerdings eine praktische Bedeutung nicht erlangen.

Dennoch nähert sich die Landschaftspflege nur zögernd und nur von einer Seite, nämlich der der Bodenerosion, den Böden. Die immer wieder auftretenden großflächigen Bodenabschwemmungen in vielen Landschaften lassen aber auch die Ohnmacht der Landschaftspflege auf dem Gebiet der Bodenerosionsbekämpfung erkennen (PFLUG 1962, S. 151). Zur Frage des Schutzes der Böden vor Belastungen und zur Erhaltung ihrer natürlichen Funktionsfähigkeit trag sie bisher kaum etwas bei.

## 6 Bodenschutz und Landschaftsplanung

Bei der Aufstellung eines Landschaftsplanes oder bei einem Eingriff in Natur und Landschaft spielen die Böden im Rahmen der Untersuchungen zum Naturhaushalt eine entscheidende Rolle (PFLUG 1981, S. 42). Kenntnisse über ihre Entstehung, ihre Eigenschaften, ihre Belastbarkeit und Schutzwürdigkeit sind nicht nur für die land- und forstwirtschaftliche Bodennutzung, sondern auch für alle anderen Nutzungsarten bis hin zum Biotop- und Artenschutz unentbehrlich. Der oder die Verfasser eines Landschaftsplanes kommen denn auch ohne bodenkundliche Kartenwerke und zusätzliche bodenkundliche Untersuchungen nicht aus. Sie müssen in der Lage sein, neben den Landschaftsfaktoren Lage (geographische Lage, Höhenlage), Relief, Gestein, Wasserhaushalt, Klima, Vegetation und Tierwelt auch die Böden zu erfassen und diese für die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Rahmen eines Landschaftsplanes oder eines Eingriffes in Natur und Landschaft zu bewerten (§§ 1, 2, 6 und 8 BNatSchG).

Inzwischen ist das Unvermögen der meisten Verfasser von Landschaftsplänen, die Böden in diesem Sinn im Landschaftsplan einzusetzen, offenbar geworden. Die Böden werden bisher nicht als Grundlage für die Aussagen und Maßnahmen eines Landschaftsplanes benutzt. Sie werden zwar meist im Grundlagenteil dieser Pläne dargestellt. Zwischen dieser Darstellung und den Planaussagen klafft jedoch fast immer eine breite Lücke. Die Böden gehen in weitere Bewertungs- und Planungsschritte nicht mehr ein oder in zahlreich verwendeten Konfliktstrategien und -matrices unter. Der Versuch, von dem im Entwicklungsteil eines Landschaftsplanes enthaltenen Folgerungen und Maßnahmen auf die im Grundlagenteil dargestellten Böden rückzuschließen, endet entweder in einem Irrgarten oder am Rande einer unüberbrückbaren Schlucht.

Der Titel des von BUCHWALD und ENGELHARDT (1980) herausgegebenen dritten Bandes des Handbuchs für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt lautet „Die Bewertung und Planung der Umwelt“. Auf 728 Druckseiten wird in diesem Band eine Fülle von Planungs- und Bewertungsmethoden vorgestellt, angefüllt mit vielen Beispielen. In 38 von 40 Beiträgen spielen die Böden entweder keine Rolle oder nur die einer Worthülse. Lediglich in zwei Beiträgen werden sie zusammen mit den anderen Landschaftsfaktoren als Ausgangsbasis für die Bewertung und die sich daraus ergebenden Folgerungen für Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege benutzt.

In diesem Zusammenhang soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Bodenkunde lange bevor der Umweltschutz in aller Munde war, ein Instrument zur Beurteilung und Bewertung der Böden, ihrer Belastbarkeit und ihrer Leistungsfähigkeit für alle Nutzungsansprüche entwickelt hat, das sich sehen lassen kann. Die Rede ist von der seit Mitte der dreißiger Jahre begonnenen und inzwischen weitgehend fertiggestellten Bodenkarte im Maßstab 1:5000 auf der Grundlage der Bodenschätzung. Sie wurde zwar nur für landwirtschaftliche Zwecke erstellt. Für denjenigen, der mit ihr umzugehen versteht, ist die Herstellung von Auswertekarten für verschiedene Bodeneigenschaften kein Problem. Darüber hinaus kann sie mit großem Gewinn zur Beurteilung der Böden bezüglich ihrer Belastbarkeit, ihrer Eignung für zahlreiche Nutzungsansprüche und ihrer Schutzwürdigkeit herangezogen werden. Doch man versteht nicht, mit ihr umzugehen und benutzt sie dann auch nicht (PFLUG 1978). Diese Feststellung kann an vielen Landschaftsplänen nachgewiesen werden. Dabei veröffentlichte H. ARENS (1960) bereits vor rund 20 Jahren eine Arbeit über die Verwendungsmöglichkeiten dieser Karte in der Landwirtschaft, für das Bauwesen und darüber hinaus.

Das Land Nordrhein-Westfalen geht bei der Bildung der sogenannten „planungsrelevanten, ökologisch begründeten Landschaftseinheiten“ für den Landschaftsplan von den Böden und der potentiellen natürlichen Vegetation aus. Leider wird der Weg nicht zu Ende gegangen. Eine Umsetzung der für jede Landschaftseinheit zutreffenden Daten über die Böden in Planungsvorschläge und Festsetzungen erfolgt höchstens als Begründung für die Ausweisung von Schutzgebieten. Sie erfolgt nicht bezüglich ihrer Relevanz für die reale Nutzung, die Nutzungsansprüche, die Belastbarkeit und die bereits vorhandene Belastung von Natur und Landschaft.

Erste Versuche, auch den Böden in der Landschaftsplanung den ihnen zustehenden Stellenwert zu geben und sie damit zu einer der entscheidenden Grundlagen für die Aussagen eines Landschaftsplanes zu machen, fanden bisher in der von den Ländern eingerichteten und vollzogenen Landschaftsplanung keinen Anklang. Zu diesen Versuchen gehören u. a. folgende Arbeiten: BÖDEKER, EMONS, GREBE, KRÉN, PFLUG und WEDECK 1971; BRAHE, EMONDS, HORBERT, PFLUG und WEDECK 1977; HUMMEL und Mitarbeiter 1974; HUMMEL, ZWÖLFER und Mitarbeiter 1974; MARKS 1979; PFLUG, BIRKIGT, BRAHE, HORBERT, VOSS, WEDECK und WÜST 1978; PFLUG, RUWENSTROTH, STÄHR, LIMPET, REGENSTEIN, SCHOTT und Mitarbeiter 1980; WELLER, MÜLLER, SCHIEFER, VOGELSSANG und Mitarbeiter 1974.

## 7 Gründe für die Vernachlässigung der Böden durch den Naturschutz

Auf die Bedeutung der Böden aus der Sicht des Naturschutzes, überwiegend aus dem Blickwinkel „Eigenart und Seltenheit“, sind die mit dem Naturschutz befaßten Stellen schon früh aufmerksam gemacht worden. In seinem Stan-

ardwerk über Naturschutz spricht W. SCHOENICHEN (1942, S. 142 ff.) weitsichtig dieses Teilgebiet des Naturschutzes nach Schilderung eines besonderen Bodentyps mit folgenden Worten an: „Es liegt auf der Hand, daß die Betreuung von Flächen mit derartigen besonderen Bodenstrukturen auch zu dem Aufgabenkreis des Naturschutzes gehört. Selbstverständlich gilt dies auch für sonstige bemerkenswerte Erscheinungen aus dem noch jungen Forschungsgebiete der Bodenkunde, auf das hier noch mit einigen Worten eingegangen sei. Im allgemeinen wird es sich erübrigen, in den einzelnen Ländern für die dort auftretenden verschiedenen Bodentypen besondere Schutzgebiete einzurichten. Denn mit unseren Waldschutzbezirken sind zugleich auch die zugehörigen Braunerde- und Roterdeböden sichergestellt, in unseren Heideschutzgebieten zugleich die bezeichnenden Bleichsandböden mit mehr oder weniger deutlich ausgeprägter Ortsteinbildung usw. Entsprechendes gilt für Moorböden, für die Verwitterungsböden der Gebirge, für die Rußböden (Humuskarbonatböden = Rendzina) etwa auf dem Jurakalkboden der Schwäbischen Alb und dergleichen mehr. Wo dagegen bestimmte Bodentypen an der Grenze ihres Verbreitungsgebietes oder auf weit vorgeschobener Vorpostenstellung vorkommen, wird ihnen der Naturschutz seine besondere Beachtung nicht versagen dürfen . . .“ — SCHOENICHEN geht nach diesen Ausführungen auf einige Bodentypen, die im Altreich nur wenig verbreitet sind, ein und fährt dann fort: „. . . und es wäre wohl eine neue und dankbare Aufgabe für den Naturschutz, davon eine Reihe typischer Fälle auszuwählen und für den Lehr- und Forschungsbetrieb der Hochschulen als Naturdenkmale sicherzustellen. Damit wäre wohl auch für andere Gegenden mit besonders bemerkenswerten Bodentypen ein nachahmenswertes Beispiel gegeben.“

Trotz dieser Aufforderung aus berufenem Mund bleiben die Böden im Gegensatz zu geologischen Erscheinungen und zu Pflanzen- und Tierarten ein Stiefkind des Naturschutzes.

Ein Grund für dieses Verhalten scheint das mangelnde Verständnis vieler Vertreter des Naturschutzes für ökologische Zusammenhänge und die Vorgänge im Naturhaushalt zu sein. Sie interessierte mehr die Struktur als die Funktion der Natur.

Ein weiterer Grund für die Vernachlässigung der Böden als Naturgut durch den Naturschutz ist in seiner Hauptwurzel zu suchen, die tief in einer ästhetischen Betrachtungsweise der Natur verankert ist. Die geschützten Landschaften, Landschaftsteile, Pflanzen und Tiere wurden in erster Linie ihres ästhetischen Reizes willen unter Schutz gestellt. Dieser Reiz gewann an Gewicht, wenn das zu schützende Objekt zugleich noch Seltenheitswert besaß.

Ein dritter Grund für die lange Zeit der Nichtbeachtung der Böden durch den Naturschutz könnte darin zu suchen sein, daß sie nicht ständig im Blickfeld liegen, nur schwer erfaßbar und begreifbar sind und ihr Auftreten und Funktionieren an allen Orten als Selbstverständlichkeit hingenommen wurde. „Böden sind — anders als Minerale, Pflanzen und Tiere — nicht scharf abgrenzbare Naturkörper; bilden keine Individuen. Sie gehören als Grenzphänomen der Erdoberfläche der Pedosphäre an, in der sich Lithosphäre, Atmosphäre und Biosphäre überlagern und durchdringen“ (SCHROEDER 1978). Eine ähnliche Aussage könnte auch für die Gewässer und in einem gewissen Rahmen für die Luft gemacht werden — zusammen mit den Böden drei Medien, mit denen als Ganzes sich der Naturschutz bis heute ausgesprochen schwertut.

## 8 Die Böden in der Naturschutzgesetzgebung

Im Reichsnaturschutzgesetz aus dem Jahre 1935 werden als schutzwürdig u. a. aufgezählt: Felsen, erdgeschichtliche

Aufschlüsse, Wanderblöcke, Gletscherspuren, Quellen, Wasserläufe, Wasserfälle, alte und seltene Bäume, Baum- und Gebüschgruppen, Raine, Alleen, Wallhecken, sonstige Hecken, Parks, seltene oder in ihrem Bestand bedrohte Pflanzen- und Tierarten und das Landschaftsbild. Außerdem können abgegrenzte Bezirke, in denen ein besonderer Schutz der Natur in ihrer Ganzheit (erdgeschichtlich bedeutungsvolle Formen der Landschaft, natürliche Pflanzenvereine, natürliche Lebensgemeinschaften der Tierwelt) oder in einzelnen ihrer Teile (u. a. Vogelschutzgehölze, Pflanzenschonbezirke) im öffentlichen Interesse liegt, einem mehr oder weniger strengen Schutz unterworfen werden (§§ 3-5 RNG).

Obwohl in diesen Aufzählungen die Böden nicht ausdrücklich genannt werden (im § 12 RNG, in dem es um das Naturdenkmalsbuch geht, erscheint das Wort „Bodenteile“), wäre eine Ausweisung z. B. eines Ausschnittes aus einem selten auftretenden Bodentyp als Naturschutzgebiet, Naturdenkmal oder auch als Landschaftsschutzgebiet möglich gewesen (z. B. aufgrund des Hinweises auf „erdgeschichtlich bedeutsame Formen der Landschaft“ in § 4 RNG).

SCHOENICHEN (1942) behauptet zwar, in den Schutzgebieten seien zugleich auch die typischen Böden sichergestellt worden (vgl. Abschnitt 7). Jeder Eingeweihte weiß jedoch, daß nicht die Böden Gegenstand des Schutzes waren, sondern die auf ihnen stockenden „Urwälder“ bzw. die auf ihnen befindliche Heide- oder Moorvegetation.

Dem Bundesnaturschutzgesetz und den Naturschutzgesetzen der Länder zufolge ist es ein erklärtes Ziel des Naturschutzes und der Landschaftspflege die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts und die Nutzungsfähigkeit der Naturgüter nachhaltig zu sichern (§ 1 BNatSchG). Teil des Naturhaushalts sind die Böden. Sie sind zudem ein anerkanntes Naturgut. Im § 2 BNatSchG wird als materieller Rechtsgrundsatz verkündet: „Boden ist zu erhalten; ein Verlust seiner natürlichen Fruchtbarkeit ist zu vermeiden.“ Die Anforderungen des § 1 BNatSchG und die Grundsätze des § 2 BNatSchG sind zwar unter Beachtung aller sonstigen Anforderungen abzuwägen bzw. zu verwirklichen, stellen jedoch in Wirklichkeit nur mehr oder weniger wirkungslose Absichtserklärungen dar. Sie werden denn auch in anderen Bestimmungen der heute gültigen Naturschutzgesetze nicht vertieft bzw. konkretisiert und mit Handlungsanweisungen verbunden. Eine Ausnahme bilden § 8 BNatSchG und die entsprechenden Bestimmungen über „Eingriffe in Natur und Landschaft“ in den Naturschutzgesetzen der Länder. In dem in diesen Gesetzesbestimmungen mehrfach erwähnten Begriff „Naturhaushalt“ sind die Böden enthalten. Fraglich bleibt allerdings, ob ein Eingriff als ausgeglichen angesehen werden kann (§ 8 Abs. 2 BNatSchG), wenn gewachsene Böden vernichtet oder stark verändert worden sind und es einer jahrzehntelangen Entwicklung bedarf, aus Gesteinen wieder im ökologischen Sinn funktionierende Böden werden zu lassen.

Soweit dem Verfasser bekannt, ist bisher kein Schutzgebiet mit der Zweckbestimmung, einen bestimmten Bodentyp oder Bodenuntertyp mit der für sie typischen Pflanzendecke sicherzustellen, ausgewiesen worden. Auch wenn im Bereich von Schutzgebieten oder -objekten die Böden sozusagen mitgeschützt sind, ist dieser Schutz im allgemeinen gering. In zahlreichen Naturschutzgebieten und in fast allen Landschaftsschutzgebieten nutzt auch die Landwirtschaft die Böden. Den Wünschen nach Intensivierung ihrer Eingriffe sind nur schwer engere Grenzen zu ziehen. Die Landwirtschaftsklausel (§ 1 Abs. 3 BNatSchG) entzieht dem Naturschutz im wahrsten Sinne des Wortes den Boden.

Es wäre längst an der Zeit, in ähnlicher Weise wie bei natürlichen Vegetationsgesellschaften auch die für sie und die verschiedenen Landschaftsräume typischen Böden zum

Hauptgegenstand des Schutzes zu machen und als Naturschutzgebiet, Naturdenkmal, Geschützter Landschaftsbestandteil oder Schutzwald sicherzustellen. Für die Bodenkunde, aber auch für andere Wissenschaftszweige (u. a. Bodenbiologie, Ökosystemforschung, Hydrogeologie, Vegetationskunde, Waldbau, Erosionsforschung), dürfte die Beobachtung geschützter Böden sowohl auf extensiv genutzten Flächen als auch Flächen, die einem vollständigen Veränderungsverbot unterliegen, wertvolle Erkenntnisse zu ihrer Entwicklung und ihrem Schutz vermitteln. Der Arbeit von E. MÜCKENHAUSEN über Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland (1977) können hierzu Anregungen entnommen werden. Die Geologischen Landesämter müßten kraft ihrer großen und langjährigen Erfahrungen die notwendigen Hilfestellungen geben, was auch bereits in vielen Fällen geschieht (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen 1980 und 1981).

Die Naturschutzgesetze und -verordnungen enthalten bezüglich des Artenschutzes zahlreiche Verbote im Blick auf besonders geschützte Pflanzen- und Tierarten. Die Lebensstätten dieser Arten und damit die an diesen Stätten auftretenden Böden sind jedoch jedem Zugriff offen. Werden diese Lebensstätten und damit die Böden im Rahmen der sogenannten ordnungsgemäßen Land- und Forstwirtschaft verändert, ändern sich auch die Lebensgemeinschaften und das als schutzwürdig anerkannte Inventar an Arten.

Eng verbunden mit den Böden sind, von Ausnahmen abgesehen, die Pflanzen. Zahlreiche Tierarten verbringen ihren Lebenszyklus entweder ganz oder zum Teil im Boden. Das Auftreten der Arten, Gemeinschaften und Gesellschaften an einem Standort wird nicht nur vom Klima oder von der Nutzung bestimmt, sondern weitgehend von den Eigenschaften der Böden und damit vom Bodentyp bzw. vom Bodenuntertyp. Für das Aussterben und die Gefährdung von Arten sind außer zahlreichen anderen Gründen vor allem auch die Eingriffe in das Bodengefüge verantwortlich.

Wäre nicht das Wiedereinbringen der Wurzelpilze (Mykorrhiza) in die offenen, ausgeräumten Agrarlandschaften durch den Neuaufbau von Kleinwäldern, Feldgehölzen und Ufergehölzen und der Schutz solcher Bestände ein Gebot der Stunde? Die Mykorrhiza liefert den Höheren Pflanzen, vor allem den heimischen Baum- und Straucharten, u. a. Nährsalze, die erst durch ihr Vorhandensein von den Höheren Pflanzen aufgenommen werden können. Ohne sie würden diese Nährstoffe stärker in den Untergrund ausgewaschen. Sie sind aller Wahrscheinlichkeit nach am Steuerungs- und Nachrichtensystem des Ökosystems gemeinsam mit den im Boden gelösten organischen Substanzen (als eine Art chemischer Regulatoren, vgl. Abschnitt 2) entscheidend beteiligt. Sind sie in einem Boden voll funktionsfähig, ist seine Widerstandskraft gegen Gefahren weitaus höher einzuschätzen als ohne sie.

Die Bedrohung zahlreicher in den Roten Listen aufgeführter bodenbewohnender bzw. zeitweilig den Boden aufsuchender Tierarten ist eine Folge des wachsenden Einflusses des Menschen auf das Bodengefüge und die Bodenentwicklung. Zu diesen Tierarten zählen u. a. Kleinsäuger wie Hamster (*Cricetus cricetus*, A. 3; A. 3. \*) und Feldspitzmaus (*Crocidura leucodon*, A. 3; A. 3), Ameisen (u. a. Ameisen mit unterirdischen Nestern), Wegwespen, Grabwespen und Käfer (z. B. Arten, die eine wichtige Rolle im Stickstoffkreislauf spielen, wie z. B. Dung- oder Mistkäfer und Totengräber sowie Arten, die als Käfer und Larven im Boden graben).

Vom Artenschutz noch vollständig vernachlässigt ist der Schutz der zu einem Bodentyp gehörenden typischen bodenbewohnenden Tierarten und Tiergemeinschaften. Ihnen gehört u. a. aus Gründen der Zerkleinerung und Aufbereitung des Bestandsabfalles, der Durchmischung der Bodenteilchen oder der Förderung der Bodendurchlüftung in ei-

nem bestimmten Bodentyp unsere erhöhte Aufmerksamkeit. Wer kennt schon die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in das Bodengefüge eines Bodentyps auf das Steuerungs- und Nachrichtensystem im Boden und die daraus entstehenden Folgen für die Artenvielfalt, das Regenerationsvermögen, die Populationsdynamik oder die Fortpflanzungsrate?

## 9 Folgerungen

Aus der Sicht von Landschaftsökologie, Naturschutz und Landschaftspflege lassen sich mit den bestehenden rechtlichen Bestimmungen wesentliche Teile des Bodenschutzes im Sinne von § 2 Abs. 1 Nr. 4 BNatSchG verwirklichen. Allerdings ist mit einem erheblichen Widerstand des überwiegenden Teiles der Grundeigentümer und Nutzungsberechtigten zu rechnen, da viele der notwendigen Maßnahmen ihren kurzfristigen Interessen zuwiderlaufen.

### 9.1 Schutz der Böden aus wissenschaftlichen, naturgeschichtlichen oder landeskundlichen Gründen und wegen ihrer Seltenheit und besonderen Eigenart

Naturschutz und Landschaftspflege, insbesondere der Artenschutz, sind heute darum bemüht, wenigstens Minimalareale naturraumtypischer natürlicher und naturnaher Bestände von Pflanzen und Tieren vor Störungen und Veränderungen zu bewahren. Gelingt dieses Vorhaben, genießen auch die Böden, auf denen sich solche Bestände befinden, den gleichen Schutz. Schutzausweisungen für Böden sollten allerdings nicht nur aus der Sicht, Lebensgemeinschaften und deren Lebensstätten zu erhalten, vorgenommen werden. Wissenschaftliche, naturgeschichtliche und landeskundliche Gründe sowie die Erhaltung seltener Böden und Böden von besonderer Eigenart verlangen die Ausweisung geschützter Flächen allein aus bodenkundlicher und bodenschützender Sicht (vgl. Abschnitt 3).

Die Ausweisung von Böden und der zu ihnen gehörenden Pflanzendecke als Naturschutzgebiet oder Naturdenkmal (§§ 13 und 17 BNatSchG) ist vor allem gegeben bei

- von Natur aus selten auftretenden Bodentypen, Subtypen, Varietäten und Subvarietäten
- Resten einst großflächig auftretender, durch Eingriffe des Menschen stark veränderter Bodentypen, Subtypen, Varietäten und Subvarietäten
- Bodeneinheiten bzw. Bodenformen (Pedotyp als kleinster Kartiereinheit) von besonderer Eigenart (z. B. Pedokomplexe wie Kuppe-, Hang- oder Senke-Böden)
- regional und lokal typischen Bodengesellschaften (z. B. Abfolge der Böden in Hanglage im Mittelgebirge mit raschem Wechsel von Gestein, Relief, Klima und Vegetation)
- natürlichen bzw. naturnahen Lebensstätten für schutzwürdige Arten der Bodenflora und -fauna (z. B. Wurzelpilze, Regenwürmer oder Gliederfüßler).

Am besten gesichert sind die schutzwürdigen terrestrischen und hydromorphen Böden unter der Vegetationsdecke, die sich auf ihnen von Natur aus entwickeln würde. Zu diesen Vegetationsdecken gehören bei uns überwiegend

\*) Die Zahlen bzw. Buchstaben entsprechen der Gefährdungskategorie, wie sie in der Roten Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland (1978) und in der Roten Liste der gefährdeten Pflanzen und Tiere in Nordrhein-Westfalen (1979) enthalten sind.

Wälder unterschiedlicher Ausprägung und vergleichsweise kleinflächig Gebüsche (Fels-, Moor- oder Weidengebüsche), Felsfluren, Geröllfluren, Heidemoore, Hochmoor, Torfmoosgesellschaften, Zwergstrauchheiden, Strandhaferdünen, Salzwiesen oder Seggensümpfe. Aus diesem Grund sollte in Naturschutzgebieten und im Bereich von Naturdenkmälern, die aus Gründen des Bodenschutzes eingerichtet werden, jede Nutzung unterbleiben.

Dem Bodenschutz dient im Wald eine Reihe unterschiedlicher Schutzkategorien. Während die Legaldefinition im Bundeswaldgesetz für den Schutzwald (§ 12 Abs. 1) davon ausgeht, Schutzwald vor allem zur Abwehr von Gefahren für die Allgemeinheit auszuweisen, benutzen die Länder diese Institution auch zum Schutz von Waldböden, z. B. zur Verhinderung von Bodenerosion durch Wasser oder Wind (vgl. hierzu § 30 Abs. 1 LWaldG Baden-Württemberg und Art. 10 Abs. 1 BayWaldG). Das baden-württembergische Landeswaldgesetz unterscheidet bezeichnenderweise zwischen „Bodenschutzwald“ und „Schutzwald gegen schädliche Umwelteinwirkungen.“ Es kennt zudem den Bannwald, einen sich selbst überlassenen Waldbestand, in dem Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht erlaubt sind (§ 32 Abs. 2 LWaldG). In allen Ländern sind Waldbestände, die z. B. auf hoch erosionsgefährdeten Hängen stocken, im Rahmen der Forsteinrichtung als Nichtwirtschaftswald ausgewiesen worden. Im Zuge der in den Ländern seit Mitte der siebziger Jahre erstellten Waldfunktionskarte sind die durch Erosion, Rutschung und Aushagerung gefährdeten Böden erfaßt und die darauf befindlichen Wälder als „Bodenschutzwald“ in die Waldfunktionskarte aufgenommen worden. Die Aufnahme in diese Karte führt, vor allem in der Stufe 1, zu merklichen Konsequenzen in der Waldbewirtschaftung (Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, Arbeitskreis Zustandserfassung und Planung, 1974). Von nicht hoch genug einzuschätzender Bedeutung für die Wissenschaft, die Naturgeschichte und die Landeskunde und damit auch für die Bodenkunde und den Bodenschutz ist die Sicherstellung von Naturwaldzellen (vgl. hierzu u. a. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen, Hrsg., 1975, 1978 und 1981).

## 9.2 *Schutz der Böden als Voraussetzung einer nachhaltigen Sicherung der Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts*

Auch wenn der Mensch die physikalische Struktur und den Nährstoffhaushalt von Böden, die z. B. durch Vernässung und Nährstoffmangel gekennzeichnet sind, durch ständige Eingriffe in das Bodengefüge (u. a. durch Entwässerung und Düngung) für seine Zwecke verbessern kann, behalten die von Natur aus bestehenden Eigenschaften immer noch eine hohe ordnende Kraft für die Funktionsfähigkeit des gesamten Bodenhaushaltes. Sie gewinnen schnell einen wachsenden Einfluß, zieht der Mensch auch nur vorübergehend seine nutzende Hand zurück.

Um den in den Böden zum Funktionieren des Ökosystems enthaltenen Steuerungsmechanismus aufrechterhalten und die für die lebenden Glieder erforderlichen Nachrichten im Boden weiterleiten zu können (vgl. Abschnitt 1), sind die von Natur aus gegebenen Eigenschaften von größter Bedeutung. Die mehr oder weniger intensiv genutzten Böden sind zu ihrem Schutz (z. B. gegen Erosion oder Austrocknung) und zum Schutz der Kulturpflanzenbestände (z. B. gegen Krankheiten) mit einem Anteil ungenutzter Böden einschließlich deren naturnaher Vegetation in Form eines Verbundsystems zu durchsetzen. Je weniger diese punkt- und linienförmig verteilten Böden genutzt werden und je ausgeprägter das von ihnen mitgebildete Ökosystem ist, desto besser funktioniert das Steuerungs- und Nachrichtensystem und desto größer ist die Widerstandskraft (Stabilität) eines

Landschaftsraumes gegen Gefahren aller Art. Allein unter diesem Gesichtspunkt ist die Anlage von Kleinwäldern, Feldgehölzen, Ufergehölzen, Waldstreifen, Hecken, Gebüschen, Baumgruppen und Einzelbäumen aus heimischen Baum- und Straucharten in ausgeräumten Feldfluren und Freiräumen innerhalb der Baugebiete als bedeutende umweltsichernde und bodenschützende Aufgabe anzusehen.

Um derartige Wege beschreiten zu können, enthalten das Bundesnaturschutzgesetz und die entsprechenden Landesgesetze eine Reihe von Instrumenten, die im Verein mit anderen Rechtsvorschriften (vor allem des Flurbereinigungsrechts und des Baurechts) die Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts, insbesondere der Böden, nachhaltig sichern helfen. Allerdings muß von ihnen auch energisch Gebrauch gemacht werden.

In Landschaftsschutzgebieten (§ 15 BNatSchG) sind alle Handlungen untersagt, die den Charakter des Gebietes verändern oder dem besonderen Schutzzweck zuwiderlaufen. Ausnahmen von den in der Landschaftsschutzverordnung enthaltenen Verboten können unter Auflagen erteilt werden (z. B. Neuanlage von Hecken auf gleichem oder ähnlichem Standort bei Entfernung von Hecken, die einer sinnvollen Gestaltung des Ackerplanes entgegenstehen; im Heckenbereich bleiben die Böden zwar nicht ungestört, werden aber im Vergleich zur benachbarten genutzten Fläche erheblich weniger in Anspruch genommen).

Geschützte Landschaftsteile sind rechtsverbindlich festgesetzte Teile von Natur und Landschaft, deren besonderer Schutz u. a. zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts und zur Abwehr schädlicher Einwirkungen erforderlich ist (§ 18 BNatSchG). Mit Hilfe dieses Instrumentes kann ein vorhandenes, neu geschaffenes oder ergänztes Netz von ungestörten Böden mit den damit verbundenen Lebensgemeinschaften inmitten landwirtschaftlich und städtisch genutzter Flächen sichergestellt werden.

Ein wichtiges, allerdings noch vergleichsweise stumpfes Instrument zum Erkennen, Bewerten und Sichern schutzwürdiger Bodengesellschaften und Bodeneinheiten sowie punkt- und linienförmiger Ausschnitte aus Bodeneinheiten ist der Landschaftsplan (vgl. Abschnitt 8). Voraussetzung ist allerdings, die im Plangebiet auftretenden Böden werden mit ihren Eigenschaften erfaßt und gegliedert. Erst danach läßt sich beurteilen, welche Bedeutung sie aus der Sicht von Natur- und Umweltschutz haben und welche Maßnahmen zu ihrem Schutz entsprechend der Entwicklungsziele für die verschiedenen Landschaftsräume des Plangebietes (§ 18 Abs. 1 Nr. 1–3 LG NW) getroffen werden müssen. Auf die Böden bezogen müssen im Landschaftsplan u. a. dargestellt werden:

- Biologische Aktivität
- Dränfähigkeit
- Bodendegradation
- Verdichtungsgefährdung
- Erodierbarkeit
- Empfindlichkeit gegen Belastungen aller Art
- Empfindlichkeit gegen eine Grundwasserverschmutzung
- Baugrundeignung
- Hinweise zur Erosionsgefährdung bei Nutzungswandel
- Vorrangflächen für die Land- und Forstwirtschaft
- Schutzwürdigkeit.

Bezogen auf die Böden müssen mit Hilfe des Landschaftsplanes festgesetzt werden:

- Schutzgebiete und Schutzobjekte

- Ausweisung von Pufferzonen für unter Schutz gestellte Bodeneinheiten oder Ausschnitte aus Bodeneinheiten
- Ausweisen von Flächen für ein Verbundsystem ungestörter und von Stoffeintrag verschonter Böden im Bereich landwirtschaftlich und städtisch genutzter Flächen
- Erhaltung geschlossener, erosionshemmender Vegetationsdecken auf erosionsgefährdeten Böden
- Zulassen der Sukzession bis zum Erreichen des Klimaxstadiums auf streng zu schützenden Böden.

Eingriffe in Natur und Landschaft (§ 8 BNatSchG) führen meist zur Vernichtung oder zu nachteiligen Veränderungen des gewachsenen Oberbodens (A — Horizont). Die infolge eines Eingriffes geschaffenen Böschungen und ebenen Flächen stellen in der Regel Gestein und keinen Boden im pedologischen Sinne dar (vgl. Abschnitt 8). Boden entwickelt sich, auch wenn der bei einem Eingriff entstandene „Rohboden“ mehr oder weniger ungenutzt bleibt, entsprechend dem anstehenden Gestein nur in mehr oder weniger langen Zeiträumen. Auch wenn „Rohboden“ mit Oberboden angeeckt wird, handelt es sich ökologisch gesehen im allgemeinen um einen problematischen Vorgang. Der angeeckte Oberboden entspricht meist nicht dem Gesteinsuntergrund und unterliegt langwierigen Umbauphasen. Bei Eingriffen in Natur und Landschaft gehört die Zerstörung oder Störung gewachsener und funktionierender Böden zu den schwerwiegenden Problemen und bedarf bezüglich der Ausgleichsmaßnahmen besonderer Aufmerksamkeit.

### 9.3 Nachhaltige Sicherung der Nutzungsfähigkeit des Naturgutes Boden

Die Aufgaben der Landschaftspflege (vgl. Abschnitt 5) können mit Hilfe des inzwischen geschaffenen Instrumentariums, auch wenn dies noch zu verbessern ist, weiter voran gebracht werden. Auch hierzu eignet sich der Landschaftsplan in besonderem Maße. Es gibt kein anderes räumliches Planungsinstrument, mit dem in gleicher Weise wie mit dem Landschaftsplan der vorhandene Zustand von Natur und Landschaft (also auch der Bodenzustand) erfaßt (§ 6 Abs. 2 Nr. 1 BNatSchG), nach den Zielen des Natur- und Umweltschutzes bewertet (§ 6 Abs. 2 Nr. 1 BNatSchG) und die sich aus der Bewertung ergebenden Maßnahmen aufgezeigt und durchgesetzt werden können, unter Umständen mit Hilfe außerhalb des Landschaftsplanes liegender Rechtsmittel. Mit dem Landschaftsplan lassen sich alle mit den Böden zusammenhängenden Probleme sichtbar und handhabbar machen.

Einem Landschaftsplan müssen daher auch Angaben zu Fragen der nachhaltigen Sicherung der Nutzungsfähigkeit des Naturgutes Boden zu entnehmen sein. Neben den Eigenschaften der Böden gehören dazu u. a. auch Angaben zu folgenden Bereichen:

- Leistungsfähigkeit (Funktionsfähigkeit)
- Belastbarkeit
- Belastung
- Grenzen der Ent- und Bewässerung
- Grenzen des Eintrags von Schadstoffen
- bodenschützende Kulturen
- bodenschonende Arbeitsmethoden
- Mittel zur Verhinderung der Zerstörung von Böden durch weitere Inanspruchnahme von Flächen durch Bauwerke aus den Nutzungsarten Verkehr, Wohnen, industrielle und gewerbliche Fertigung, Verteidigung, Erholung und Gewinnung von Bodenschätzen.

### 9.4 Bodenschutz und Landschaftsbild

Auf den ersten Blick scheint eines der Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege, nämlich Natur und Landschaft auch wegen ihrer Schönheit nachhaltig zu sichern, für die Böden keine Bedeutung zu haben. Dabei leisten die für eine Landschaft typischen Erdfarben in Verbindung mit der Oberflächengestalt, ohne daß es den meisten Menschen bewußt wird, einen erheblichen Beitrag zum Bild dieser Landschaft und damit zu ihrer unverwechselbaren Eigenart und Schönheit. Das Einbringen von gebietsfremdem Gesteins- bzw. Bodenmaterial löst dagegen fast immer Unbehagen aus. Eine Welt voller Wunder an Farben und Formen tut sich auf, blickt man in das Innere des Bodengefüges. Einen ersten Eindruck aus dieser „Gemäldeausstellung“ vermitteln die bei E. MÜCKENHAUSEN (1977) abgebildeten Bodenprofile. Bodenschutz bedeutet daher zugleich auch Schutz des Landschaftsbildes.

## 10 Literatur

- ACHROMEIKO, A. J. (1963): Die Bedeutung der Mykorrhiza für die Ernährung der Holzpflanzen. Intern. Mykorrhizen-Symposium. Weimar 1963, Jena.
- ANT, H. und ENGELKE, H. (1973): Die Naturschutzgebiete der Bundesrepublik Deutschland. 2. Aufl. Bundesanstalt für Vegetationskunde, Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.). Bonn-Bad Godesberg.
- Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, Arbeitskreis Zustandserfassung und Planung, Arbeitsgruppe Landespflege (1974): Leitfaden zur Kartierung der Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (Waldfunktionenkartierung) WFK. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt am Main.
- ARENS, H. (1960): Die Bodenkarte 1 : 5000 auf der Grundlage der Bodenschätzung, ihre Herstellung und ihre Verwendungsmöglichkeiten. Fortschritte Geologie Rheinland und Westfalen. Bd. 8. Krefeld.
- BLAB, J., NOWAK, E., TRAUTMANN, W. und SUKOPP, H. (Hrsg., 1978): Rote Liste der gefährdeten Tiere und Pflanzen in der Bundesrepublik Deutschland. Kilda Verlag. Greven.
- BÖDEKER, R., EMONDS, H., GREBE, R., KRÉN, V., PFLUG W. und WEDECK, H. (1971): Landschaftsplanerisches Gutachten für das Schwarzbachtal zwischen Düsseldorf und Ratingen. Aachen/Neandertal.
- BRAHE, P., EMONDS, H., HORBERT, M., PFLUG, W. und WEDECK, H. (1977): Landschaftsökologische Modellplanung Hexbachtal. Essen.
- BRAUN, H. J. (1965): Anwendung von Isotopen in der Forstwirtschaft. Allgemeine Forstzeitschrift.
- BUCHWALD, K. (1966): Landespflege. Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. Hannover.
- BUCHWALD, K. und ENGELHARDT, W. (Hrsg., 1980): Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt. Band 3: Die Bewertung und Planung der Umwelt. BLV Verlagsgesellschaft München, Wien, Zürich.
- Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (1980): Gutachten über die bodenkundlich-hydrologischen Verhältnisse im geplanten Naturschutzgebiet „Amtsvenn-Hündfelder Moor“. Bearbeiter: U. Krahmer, Krefeld.
- Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen (1981): Gutachten über die bodenkundlich-hydrologischen Verhältnisse im Naturschutzgebiet „Recker Moor“. Bearbeiter: U. Krahmer, Krefeld.
- GÖBEL, P. (1976): Die Naturdenkmäler des Kreises Bitburg — Prüm. Der Landrat des Kreises Bitburg — Prüm (Hrsg.). Bitburg.
- GRACANIN, Z. (1964): Professor Dr.-Ing. Hans Kuron zum Gedenken. Berichte der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Gießen. Bd. 33. Gießen.
- GRADMANN, E. (1910): Heimatschutz und Landschaftspflege. Verlag von Strecker und Schröder. Stuttgart.
- HUMMEL, P. unter Mitarbeit von ALLGEIER, H., DIETRICH, H., KOERNER, U., MÜHLHÄUSER, G., SCHIEFER, J., VOGELSSANG, W., WELLER, F. und WERNER, J. (1974): Ökologische Standortteig-

- nungskarte des Raumes Ravensburg (Ausschnitt) Musterkarte 1 : 5000. Karte der natürlichen Eignung für die Flächennutzung, Grundlage für die örtliche Landschaftsplanung, Bauleit- und Fachplanung. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.). Stuttgart.
- HUMMEL, P. und ZWÖLFER, F. unter Mitarbeit von ALLGAIER, H., EISSELE, K., KAISER, H., MÜLLER, S., WELLER, F. und WERNER, J.: (1974): Ökologische Standorteignungskarte des Raumes Haigerloch (Ausschnitt) Musterkarte 1 : 25000, Karte der natürlichen Eignung für die Flächennutzung, Grundlage für die örtliche und überörtliche Landschaftsplanung, Landschaftsrahmenplanung, Regional- und Fachplanung. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) Stuttgart.
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E. und BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin.
- KRUEDENER, A. von (1943): Lößlehmböden und Fichtenreinbestandswirtschaft durch Generationen. Schriftenreihe Akad. Dtsch. Forstw.
- LAATSCH, W. und SCHLICHTING, E. (1959): Bodentypen und Bodensystematik. Zeitschr. Pflanzenernährung, Düngung. Bodenk. Bd. 87 (132). H. 1.
- Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 1975): Naturwaldzellen in Nordrhein-Westfalen, Teil I, Eifel, Niederrheinische Bucht, Niederrheinisches Tiefland. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen. Band 1. Düsseldorf.
- Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 1978): Naturwaldzellen in Nordrhein-Westfalen, Teil II, Bergisches Land, Sauerland. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen. Band 3. Düsseldorf.
- Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 1981): Naturwaldzellen in Nordrhein-Westfalen, Teil III, Westfälische Bucht. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen. Band 6. Recklinghausen.
- Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (Hrsg., 1979): Rote Liste der in Nordrhein-Westfalen gefährdeten Pflanzen und Tiere. Landwirtschaftsverlag. Münster-Hiltrup.
- MARKS, R. (1979): Ökologische Landschaftsanalyse und Landschaftsbewertung als Aufgaben der Angewandten Physischen Geographie, dargestellt am Beispiel der Räume Zwiesel/Falkenstein (Bayerischer Wald) und Nettetäl (Niederrhein). Materialien zur Raumordnung aus dem Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum. Band XXI.
- MÜCKENHAUSEN, E. unter Mitwirkung von KOHL, F., BLUME, H.-P., HEINRICH, F. und MÜLLER, S. (1977): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. 2. Aufl. DLG-Verlag. Frankfurt am Main.
- ODUM, E. P. (1967): Ökologie. BLV-Bayerischer Landwirtschaftsverlag GmbH, München — Basel — Wien.
- PFLUG, W. (1962): Die Landschaftspflege in Rheinland-Pfalz. Natur und Landschaft. Nr 10 und 11, 145—151 und 161—165.
- PFLUG, W. (1969): 200 Jahre Landespflege in Deutschland, eine Übersicht. In: Stadt und Landschaft, Raum und Zeit. Festschrift für Erich Kühn. Köln.
- PFLUG, W., BIRKIGT, H., BRAHE, P., HORBERT, M., VOSS, J., WEDECK, H. und WÜST, S. (1978): Landschaftsplanerisches Gutachten Aachen. Aachen.
- PFLUG, W. (1978): Grenzen des Landschaftsverbrauchs. Anmerkungen. Das Umweltforum. Arbeitsgemeinschaft für Umweltfragen e. V. Nr. 13. 35—37.
- PFLUG, W., RUWENSTROTH, G., STÄHR, E., LIMPERT, K., REGENSTEIN, G. und SCHOTT, K. (1980): Wasserbauliche Modellplanung Ems bei Rietberg auf landschaftsökologischer Grundlage. Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). Münster.
- PFLUG, W. (1981): Die Wechselbeziehungen zwischen Naturhaushalt, Anlage von Straßen und Straßenverkehr und ihre verfahrensmäßige Berücksichtigung. Bundesminister für Verkehr (Hrsg.): Umweltgerechte Straßenplanung. In: Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. H. 352. 41—54.
- PFLUG, W. (1982 a): Waldwirtschaft und Naturhaushalt, eine Einführung in das gleichnamige Symposium des Deutschen Rates für Landespflege. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege. H. 40. S. 888—895.
- PFLUG, W. (1982 b): Wald, Naturschutz und Erholung. Jahresbericht des Deutschen Forstvereins. Regensburg. 96—113.
- PFLUG, W. (1982 c): Wasserschutzwald, Gewässerschutzwald, Uferschutzwald — eine Einführung in die Jahrestagung 1980 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie e. V. in Mosbach/Baden. Jahrbuch 1 der Gesellschaft für Ingenieurbio-logie. Karl Krämer Verlag. Stuttgart. 9—16.
- SCHLICHTING, E. (1972): Böden puffern Umwelteinflüsse ab. Umschau 72. Heft 2. 50—52.
- SCHOENICHEN, W. (1942): Naturschutz als völkische und internationale Kulturaufgabe. Verlag von Gustav Fischer. Jena.
- SCHROEDER, D. (1978): Bodenkunde in Stichworten. 3. Aufl. Verlag Ferdinand Hirt. Kiel.
- SCHWENKEL, H. (1938): Grundzüge der Landschaftspflege. Verlag J. Neumann, Neudamm und Berlin.
- SEIFERT, A. (1944): Die Heckenlandschaft. Verlag Eduard Stichnote. Potsdam.
- WELLER, F., MÜLLER, S., SCHIEFER, J. und VOGELSANG, W. unter Mitarbeit von ALLGAIER, H. und SCHREIBER, K.-F. (1974): Ökologische Standorteignungskarte des Kreises Aalen (Ausschnitt) Musterkarte 1 : 50000. Karte der natürlichen Eignung für die Flächennutzung, Grundlage für die regionale Landschaftsrahmenplanung und Fachplanung sowie für die Regionalplanung. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.). Stuttgart.
- WIEPKING-JÜRGENSMANN, H. F. (1942): Die Landschaftsfibel. Deutsche Landbuchhandlung Berlin.



Kernobstanlage auf dem Nordostpolder/Ndl. Sie ist von Windschutzpflanzungen umgeben, die einen erhöhten und gesicherten Ertrag gewährleisten. Foto: G. Olschowy

## Belastung der Böden durch Stoffeintrag im Waldbau

### Belastung der Böden durch Stoffeintrag der Forstwirtschaft

Das Problem des Stoffeintrags in der Forstwirtschaft unterscheidet sich in mehrerer Hinsicht grundsätzlich von den Verhältnissen in der Landwirtschaft:

- Die langen Umtriebszeiten und das Streben nach standortangepaßten Mischbeständen bewirken eine hohe Stabilität dieser Ökosysteme gegen biotische Schäden und führen zu einem Gleichgewichtszustand, der die Verwendung chemischer Behandlungsmittel nur in Ausnahmefällen notwendig macht.
- Durch richtige waldbauliche Behandlung der Waldbestände und Förderung der natürlichen Verjüngung kann die Kulturbegründung auf der Freifläche häufig vermieden werden. Ein Herbizideinsatz zur Bekämpfung starken Strauch und Unkrautwuchses wird dadurch überflüssig.
- Der gegenüber der Landwirtschaft wesentlich höhere Anteil an mechanischen Pflegearbeiten bei der Unkrautbekämpfung trägt zum geringen Umfang des Herbizideinsatzes in der Forstwirtschaft bei.
- Die Nährstoffauswaschung durch die forstliche Bewirtschaftung ist im Vergleich zur landwirtschaftlichen Kultur äußerst gering. Die durch Holzentnahme entzogenen Nährstoffe werden durch Prozesse der Bodenbildung nachgeliefert.
- Schädlinge werden in der Forstwirtschaft als Bestandteil des Ökosystems Wald aufgefaßt. Ziel des Forstschutzes ist es, durch ein integriertes System verschiedener Maßnahmen mögliche Schäden unter ein wirtschaftlich tragbares Maß zu drücken, nicht aber, eine Art auszurotten. Die Erhaltung und Förderung von Antagonisten spielt dabei eine große Rolle, ebenso der Einsatz biotechnischer Methoden, vor allem die Überwachung und Bekämpfung von Borkenkäferpopulationen mit Lockstofffallen. Der Einsatz breitenwirksamer Biozide kann dadurch auf ein Mindestmaß beschränkt oder vermieden werden.

Der Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln ist dann unumgänglich, wenn durch außergewöhnliche Streßsituationen, wie Trockenheit oder Sturm, die natürliche Widerstandskraft der Bestände stark geschwächt wird, so daß sich die Lebensbedingungen für bestimmte Schadorganismen schlagartig verbessern, und die Gefahr einer Massenvermehrung besteht.

Im folgenden sollen die im Forst eingesetzten Pestizide bzw. Düngungsmittel geordnet nach Stoffgruppen und, soweit untersucht, ihre Nebenwirkungen auf den Naturhaushalt dargestellt werden. Mengenangaben beziehen sich, sofern nichts anderes angegeben ist, auf den Körperschafts- und Staatswald Baden-Württembergs.

#### 1 Pflanzenschutzmittel

##### 1.1 Verbißschutzmittel

Den mengenmäßig größten Anteil aller in der Forstwirtschaft ausgebrachten Pflanzenbehandlungsmittel stellen

mit 72 % die Verbißschutzmittel. Sie werden als Pasten aufgestrichen oder als Sprühmittel auf die Triebe aufgebracht.

Ihre chemische Zusammensetzung ist unterschiedlich. Es handelt sich z. T. um geschmacksbeeinflussende Stoffe, denen Haftmittel und Sand zugesetzt sind, die den Kauvorgang beim Wild stören und die so behandelten Pflanzen unattraktiv für das Wild werden lassen.

##### 1.2 Insektizide

Daneben sind Insektizide von relativ großer Bedeutung. Sie werden in der Hauptsache zur Bekämpfung von Borkenkäfern und Rüsselkäfern eingesetzt. In der Tendenz ist die jährlich eingesetzte Menge rückläufig. Bedingt durch unvorhergesehene Schadereignisse, vor allem Dürre und Sturm, treten aber jährliche erhebliche Schwankungen auf. Tabelle 1 und Abb. 1 zeigen die Entwicklung der jährlich bei den öffentlichen Waldbesitzern Baden-Württembergs eingesetzten Mengen von Pflanzenbehandlungsmitteln.

Bis vor kurzem war der Hauptwirkstoff beinahe aller eingesetzten Insektizide das *Lindan* ( $\gamma$  HCH). 1983 waren 98 % der in Baden-Württemberg im Sammelbezug durch die Forstämter beschafften Insektizide lindanhaltig.

Der Abbau zu Metaboliten erfolgt im Boden überwiegend durch Mikroorganismen. Beschleunigt wird der Abbauprozess (WULF 1985) durch hohe Bodenfeuchte, Anwesenheit organischen Materials und anaerobe Bedingungen. Die Halbwertszeit des Abbaus ist bei Lindan stark von der Bodenart abhängig und kann (WULF 1985) zwischen 70 und 400 Tagen betragen.

Lindan und seine Metabolite können von Pflanzen aufgenommen und gespeichert werden. Bei der Verwendung von xindenkompost im Gartenbau sollte deshalb nur lindanfreies Material verwendet werden, auch wenn eine Anreicherung in der Nahrungskette wegen des schnellen Abbaus im Organismus nicht zu befürchten ist. Bei der Bekämpfung von Rüsselkäfern besteht gegenwärtig noch keine Alternative zur Schutztauchung in Lindan. In Wasser-Schutzzone 1 und 2 ist eine Tauchung nicht zulässig.

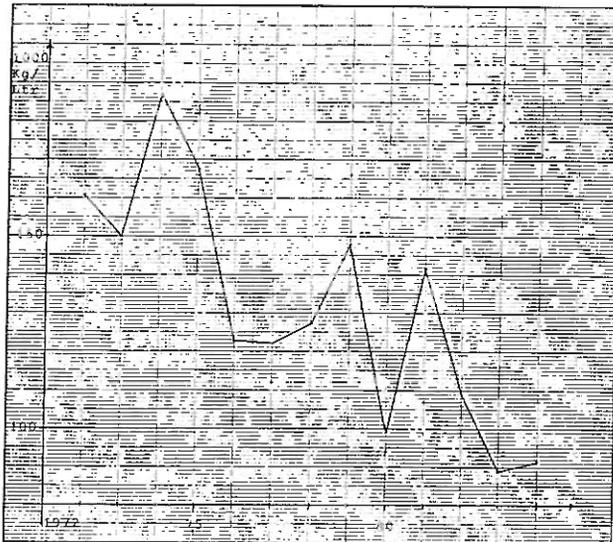
Der Wirkstoff *Cypermethrin*, der in Insektiziden wie Ripcord 40 zur Anwendung kommt, ist ein künstliches Pyrethroid. Seine Halbwertszeit beträgt 10–60 Tage. In bezug auf Natur- und Artenschutz muß aber auf die hohe Fischgiftigkeit von Cypermethrin hingewiesen werden, die eine Verwendung im Einzugsbereich offener Gewässer ausschließt.

Über längerfristige Wirkungen dieser Insektizide auf die Lebewelt des Bodens ist von forstlicher Seite noch wenig bekannt geworden. Neueste Untersuchungen (ALTENKIRCH und BOGENSCHÜTZ 1985) beschäftigen sich mit der Nützlichkeitstoxizität von Pflanzenbehandlungsmitteln. Naturgemäß weisen die Insektizide Cypermethrin und Lindan eine hohe Breitenwirkung und damit Toxizität für die untersuchten Schlupfwespen und Tachinen auf (Tab. 2).

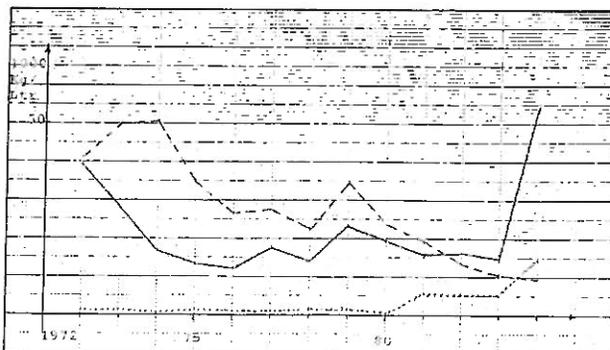
Der Häutungshemmer *Dimilin* mit dem Wirkstoff Diflubenzuron wird gegen freifressende Insektenlarven eingesetzt, ist also artspezifisch in seiner Wirkung. Die Gefahren für Natur- und Artenschutz sind demzufolge bei der Verwen-

**Tab. 1 Entwicklung des Pflanzenbehandlungsmittelbedarfs in kg/ha Holzboden bezogen auf die Fläche des Staats- und Körperschaftswaldes Baden-Württemberg**

	1972	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Wildschadens- verhütungsmittel	0,20	0,80	0,22	0,20	0,14	0,14	0,15	0,18	0,12	0,17	0,13	0,11	0,11
Insektizide	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,06
Herbizide	0,05	0,01	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Gesamt:	0,29	0,27	0,30	0,26	0,19	0,20	0,20	0,25	0,17	0,22	0,18	0,15	0,20



Wildschadensverhütungsmittel



Insektizide (—), Herbizide (---), Rodentizide (...)

Abb. 1: Entwicklung der Sammelbezugsmengen an Pflanzenbehandlungsmitteln im Staats- und Körperschaftswald Baden-Württembergs.

derung von Dimilin geringer, auch wenn Parasiten der bekämpften Arten durch den Wirkstoff ebenfalls geschädigt werden.

Aus diesen Gründen wird der Einsatz von Insektiziden auf das Unumgängliche begrenzt.

### 1.3 Herbizide

Die dritte bedeutende, in der Forstwirtschaft eingesetzte Stoffgruppe sind die Herbizide. Ihr Einsatz ist jedoch in den

öffentlichen Waldungen Baden-Württembergs von 1974 (50 000 kg) bis 1984 (9 000 kg) stark zurückgegangen. Ähnlich starke Rückgänge sind auch aus anderen Bundesländern, z. B. Bayern, bekannt.

Mit Rücksicht auf die unvermeidbare Breitenwirkung und die ökologischen Nachteile ist man in der Forstwirtschaft wieder vermehrt zu mechanischen Verfahren der Unkrautbekämpfung zurückgekehrt oder verzichtet ganz auf eine Bekämpfung, sofern der Kulturerfolg dadurch nicht in Frage gestellt wird.

Das Wuchsstoffherbizid *Tormona* (2, 4, 5 T), das in der Vergangenheit auch zur Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche eingesetzt wurde, ist heute verboten, nachdem sich herausgestellt hat, daß geringe Mengen des hochgiftigen Dioxin in diesem Mittel enthalten sind.

Grundsätzlich ist die Forstwirtschaft bemüht, den Einsatz von Pestiziden auch durch Regelungen, die über die gesetzlichen Forderungen hinausgehen, einzuschränken.

## 2 Düngemittel

Auch die Ausbringung von Düngemitteln spielt im Wald eine gewisse Rolle (Tab. 3, Abb. 2). Seit dem Eintreten der neuen Walderkrankungen wird sie wieder vermehrt diskutiert. Deshalb soll in diesem Kapitel nur kurz auf die Forstdüngung eingegangen werden. Sie soll im nächsten Kapitel im Zusammenhang mit den waldbaulichen Reaktionen auf den Fremdstoffeintrag näher abgehandelt werden.

Ziel forstlicher Düngung im klassischen Sinn ist nicht die Anhebung der Produktivität eines Bodens über sein natürliches Ertragsniveau, sondern in erster Linie stehen die Meliorierung der durch menschliche Einflüsse, wie z. B. Streunutzung, degradierten Böden, die Aktivierung von Rohhumusaufgaben oder die Zuführung einzelner Mangel-elemente im Vordergrund.

Ein Spezialfall forstlicher Düngung ist die Ausbringung von Klärschlamm im Wald, die bisher nur versuchsweise durchgeführt wurde und durch Bestimmungen des Abfallbeseitigungsgesetzes stark eingeschränkt ist. Neuere Untersuchungen (KOBEL-LAMPARSKI, LAMPARSKI, PETER 1985) beschäftigen sich mit den Folgen einer Klärschlammausbringung für Böden, Bodenfauna und -flora. Danach reagierten vor allem bestimmte Regenwurmartens positiv auf die Nährstoffanreicherung, wohingegen Asseln, die nur eine geringe ökologische Anpassungsfähigkeit besitzen, fast gänzlich verschwanden. Auswirkungen auf die Flora sind insgesamt gering; es konnte lediglich eine leichte Verschiebung der Anteile einzelner Arten an der Vegetation beobachtet werden. Die Umsetzung des Klärschlammes und der Einbau in den Humus erfolgen auf Böden ohne ausreichende Bodenvegetation nur sehr langsam. Die Verwendung von Klärschlamm zur Forstdüngung ist deshalb nur eingeschränkt

Lfd. Nr.	Name	Präparat Wirkstoff	Wirkstoff- gehalt	Dosis <sup>1)</sup>	Prüf. konz. (%)	Prüfergebnis (Wertziffer)							
						<i>Tachogramma</i>		<i>Coccygomimus</i>		<i>Dnno</i>		<i>Chrysopa</i>	
						Init. W	Pers. P	Init. W	Pers. P	Init. W	Pers. P	Init. W	Pers. P
<b>Fungizide</b>													
1.1	Dithane Ultra Hoechst	Mancozeb	80 %	3 kg	2.0	4	4	1	—	2	1		
1.2	Polyram-Combi	Metiram	80 %	3 kg	2.0	4	4	1	—	3		1	
1.3	Afugan	Pyrazophos	295 g/l	0.05 %	0.05	4	4	4	4				
1.4	Cosan 80 Hoechst	Schwefel	80 %	1,2 kg	0,8	4	4	4	4			1	
<b>Herbizide</b>													
2.1	Shell U-Forst	Atrazin +	40 % +	12 l	8,0	2		1	—	1	—		
2.2	Shell U-Forst Spritzp.	Cyanazin	40 %	7 kg	4,7	2		1	—	1	—		
2.3	Gesatop 50	Simazin	50 %	3 kg	2,0	1	—	1	—	2	—	1	
2.4	Dalapon Spritzpulver Shell	Dalapon	74 %	5 kg	3,3	1	—	1	—	1	—		
2.5	Roundup	Glyphosat	360 g/l	5 l	3,3	4	1	1	—	4	1		
2.6	Velpar	Hexazinon	90 %	1,5 kg	1,0	1	—	1	—	2	—		
2.7	Asulox	Asulam	400 g/l	8 l	5,3	1	—	1	—	1	—		
2.8	Shell MCPB	MCPB-Salz	400 g/l	9 l	6,0	2		1	—	2			
<b>Insektizide</b>													
3.1	Thioaan 35 flüssig	Endosulfan	357 g/l	0,6 l	0,4	4	4	4	1	4	3		
3.2	Dipterex SL	Trichlorfon	50 %	0,9 kg	0,6	4	4	4	4	4			
3.3	Nexit-stark	Lindan	80 %	0,5 %	0,5	4	4	4	4	4		4	
3.4	Dimilin 25 WP	Diflubenzuron	25 %	0,3 kg	0,2	1	—	1	—	1	—		
3.5	Roxion	Dimethoat	400 g/l	0,6 l	0,4	4	4	4	4	4			
3.6	Uden-Spritzpulver	Propoxur	50 %	0,9 kg	0,6	4	4	4	4	4			
3.7	Metasystox (I)	Demeton-S-methyl	250 g/l	0,6 l	0,4	4	4	4	1				
3.8	Folidol-Öl-Spritzmittel	Parathion + Mineralöl	100 g/l	0,5 %	0,5	4	4	4	4			4	
3.9	Ripcord 40	Cypermethrin	400 g/l	0,5 %	0,5	4	4	4	4	4		4	
3.10	Metasystox (R)	Oxydemeton-methyl	250 g/l	0,6 l	0,4	4	4	4	4	4		4	

<sup>1)</sup> Dosis = Maximale Dosis pro ha bzw. Anwendungskonzentration

Tab. 2 Wichtige in der Forstwirtschaft eingesetzte Pestizide, die in ihnen enthaltenen Wirkstoffe und ihre Wirkung auf forstlich bedeutsame Insektenarten. Forst- und Holzwirt 1986 Nr. 7 (Altenkirch und Bogenschütz).

Jahr	Staatswald (ha)		Körperschaftswald (ha)
	Bestandes- düngung (Tab. B 11)	Kultur- düngung (Tab. B 10)	
1953	1 400	(der Bestandesdüngung zugerechnet)	keine Angaben
1954	2 780		keine Angaben
1955	2 468		keine Angaben
1956	3 060		keine Angaben
1957	3 269	723	keine Angaben
1958	4 529	342	keine Angaben
1959	4 885	301	keine Angaben
1960	4 331	463	keine Angaben
1961	4 600	405	keine Angaben
1962	4 714	295	keine Angaben
1963	4 080	349	keine Angaben
1964	3 979	375	keine Angaben
1965	3 544	523	keine Angaben
1966	1 395	1 132	492
1967	1 190	1 427	505
1968	1 513	1 069	422
1969	1 043	1 594	471
1970	1 678	2 033	748
1971	1 430	2 206	800
1972	931	2 140	1 017
1973	769	2 163	1 149
1974	401	2 138	1 208
1975	484	1 847	1 272
1976	325	1 500	988
1977	358	1 510	1 164
1978	449	1 689	1 637
1979	555	1 611	1 876
1980	1 283	1 594	2 678
1981	1 264	1 706	2 296
1982	998	1 482	2 005
Sa. 53—82: 63 705		32 617	Sa. 66—82: 20 728
Durchschnitt/Jahr: 2 124		1 087	Durchschnitt/Jahr: 1 219

Tab. 3 Kultur- und Bestandesdüngung im Staats- und Körperschaftswald Baden-Württemberg. AFZ 1984 Nr. 30/31.

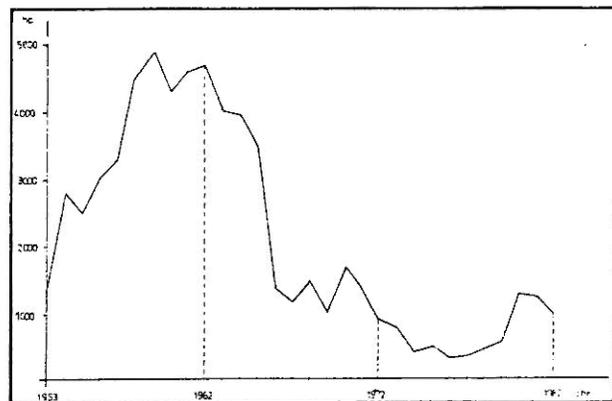


Abb. 2 Bestandesdüngung im Staatswald Baden-Württemberg von 1953—1982. (AFZ 1984 Nr. 30/31).

möglich. Schwermetallbelastete Schlämme können im Wald wegen ihrer z. T. phytotoxischen Wirkung ebenfalls nicht eingesetzt werden.

Die Klärschlammausbringung ist außerdem durch unausgeglichene Nährstoffzufuhr, die Möglichkeit einer Überdosierung im Bereich von Mulden und Wurzelanläufen, eine vermehrte Auswaschung von Nitraten und den Abbau des natürlichen Auflagehumus eine Gefahr für den Wald. Schließlich können, bedingt durch den Chemismus des verwendeten Klärschlammes, Schwermetalle und andere Gifte in Pilzen und Beeren gespeichert und in der nachfolgenden Nahrungskette angereichert werden.

### 3 Sägekettenöl

Der Vollständigkeit halber sei noch das Sägekettenöl erwähnt, das beim Einsatz von Motorsägen zur Schmierung der Schneidgarnitur dient und in geringen Mengen und fein verteilt auf den Waldboden gelangt. Wie jedes Mineralöl kann es zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers führen. In den letzten Jahren wurden deshalb biologisch abbaubare Öle entwickelt, die im Testbetrieb bereits eingesetzt wurden und jetzt auch auf dem Markt erhältlich sind.

#### **Belastung der Waldböden durch Stoffeintrag sonstiger Verursacher**

Auf die Immissionsproblematik soll nur insoweit eingegangen werden, als sich Besonderheiten gegenüber der Situation in der Landwirtschaft ergeben:

- Der absolute Stoffeintrag ist in der Forstwirtschaft größer als in der Landwirtschaft. Bedingt durch die große Höhe der Waldbäume werden unter sonst gleichen Voraussetzungen im Wald wesentlich mehr Partikel aus der Luft ausgekämmt als auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Als trockene oder nasse Deposition gelangen diese Partikel dann auf den Waldboden.
- Die Anreicherung im Oberboden ist größer, da in der Regel keine Bodenbearbeitung vorgenommen wird, die zu einer Vermischung und damit zu einer Konzentrationsminderung führt.
- Häufig werden in Blättern und Nadeln Nährelementmangelsymptome festgestellt, an deren Zustandekommen Luftschadstoffe, vor allem saure Depositionen, mit beteiligt sind.
- Die Stoffeinträge wirken sich im Wald negativer aus. Am Beispiel des Stickstoffs soll dies verdeutlicht werden: Jährlich werden im Wald 40—60 kg Reinstickstoff/ha deponiert. Dem steht ein Bedarf von lediglich 5—8 kg/Jahr/ha gegenüber. Aus diesem Mißverhältnis resultiert eine jahrelange Überdüngung der Bestände mit Stickstoff, die zu Veränderungen des normalen Sproß-/Wurzelverhältnisses führt und Schäden an der für das Pflanzenwachstum wichtigen Mykorrhiza hervorruft.

Indizien für die Überdüngung (MOHR 1986) sind die geringe positive Reaktion der Waldbestände auf N-Düngung, gesteigerte Stickstoffausträge mit dem Sickerwasser, verstärktes Wachstum der Stickstoffzeigerpflanzen, Rückgang der Fruchtkörperbildung bei Bodenpilzen und die unbeeinträchtigte Vitalität solcher Holzgewächse wie Eberesche und Bergahorn, die keine Ektomykorrhiza bilden oder nicht auf sie angewiesen sind.

Die Möglichkeiten, mit forstlichen Maßnahmen auf die Belastung der Böden zu reagieren, sind relativ begrenzt. Die ergriffenen Maßnahmen können nicht als Therapie gelten,

sondern müssen als Versuch aufgefaßt werden, den Wald über die „Durststrecke — Umweltbelastung“ hinwegzuretten, bis Maßnahmen der Luftreinhaltung wirksam werden.

Eine der Möglichkeiten besteht in der aktiven Einwirkung auf den Boden durch „Kompensationskalkung“. Den Veränderungen im Chemismus des Bodens soll dadurch entgegengewirkt werden. Dazu sind Kenntnisse der Bodenart, des pH-Wertes, der Basensättigung und der  $Ca^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  Verhältnisse erforderlich. Nur so können entsprechend angepaßte Düngergaben je Flächeneinheit dosiert werden, die den gewünschten Erfolg erreichen, ohne auf der anderen Seite zu neuen Schäden zu führen.

Der Wirkmechanismus, der den Maßnahmen der Kompensationsdüngung zu Grunde liegt, ist grob vereinfacht folgender: Durch den vermehrten Eintrag von Säuren, die aus Schwefel- und Stickoxiden bestehen, und den durch Filterung verringerten Ausstoß basisch wirkender Asche wird die Versauerung vieler Böden beschleunigt. Es kommt zur Auswaschung von  $Ca^{2+}$ , die Basensättigung nimmt ab und phytotoxisch wirkende, freie  $Al^{3+}$  Ionen treten ab einer Basensättigung von 15 % in der Bodenlösung auf. Die Al-Ionen besetzen Austauschersorptionsstellen an den Wurzeln und verdrängen Mg und Ca-Ionen. Die Folge sind die vielfach beobachteten Mangelsymptome.

Durch angepaßte Kalkungsmaßnahmen (MATZNER 1985) soll dem entgegengewirkt werden. Die Basensättigung wird erhöht, der Austrag von Säure mit dem Sickerwasser wird stark vermindert.

Die Gefahr einer solchen Düngung liegt dabei insbesondere in der durch Kalkung ausgelösten Mobilisierung von Stickstoff, der in Humus nur in geringen Mengen angelagert werden kann und folglich verstärkt ausgewaschen wird und ins Grundwasser gelangt. Unter Berücksichtigung der neuesten Untersuchungen von MOHR verdient dieser Aspekt besondere Beachtung, auch wenn dem entgegengehalten wird, daß durch Wahl entsprechend schwach löslicher Kalke und die nur oberflächliche Ausbringung die ausgelöste Mobilisierung von Stickstoff relativ gering gehalten wird (MATZNER 1985).

Mit den Zusammenhängen zwischen Waldschäden und Säureeintrag auf der einen Seite und den Wirkungen einer Kompensationskalkung auf das Waldökosystem auf der anderen Seite befaßt sich auch das „Höglewaldprojekt“, das 1982 als interdisziplinäres Forschungsvorhaben in Bayern angelegt wurde. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde auch die Düngerwirkung auf Nematoden als Vertreter der Bodenfauna (TIMANS 1986) und die Bodenvegetation (RODENKIRCHEN 1986) untersucht. Danach ergaben sich durch die Behandlung bisher keine gravierenden Änderungen in der Artenzusammensetzung. Über längerfristige Wirkungen ist jedoch noch keine Aussage möglich.

Alle weiteren Reaktionsmöglichkeiten der Forstwirtschaft bewegen sich im Rahmen waldbaulicher Maßnahmen und besitzen keine direkte Wirkung auf den Boden.

## Anschriften der Autoren

Prof. Dr. Hartmut Bick  
Institut für Landwirtschaftliche Zoologie  
und Bienenkunde der Universität Bonn  
Melbweg 43  
5300 Bonn 1

RegDir. Dr. Fritz Dieterich  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und  
Reaktorsicherheit  
Postfach 12 06 29  
5300 Bonn 1

Prof. Dr. Kurt Egger  
Pleitkartsförsterhof 2  
6900 Heidelberg

Prof. Dr. Wilfried Erbguth  
Zentralinstitut für Raumplanung  
Wilmergasse 12—13  
4400 Münster

Prof. Dr. Fritz Führ  
Institut für Radioagronomie der  
Kernforschungsanlage Jülich GmbH  
Postfach 19 13  
5170 Jülich

Dipl.-Ing. Wilhelm König  
Landesanstalt für Ökologie,  
Landschaftsentwicklung und Forstplanung NW  
Uhlenbergstr. 1  
4000 Düsseldorf 1

Oberforstrat Volkmar Leutenegger  
Staatliches Forstamt  
Torgasse 6  
7750 Konstanz

Prof. Dr. Gerhard Olschowy  
Deutscher Rat für Landespflege  
Konstantinstr. 110  
5300 Bonn 2

Prof. Wolfram Pflug  
Lehrstuhl für Landschaftsökologie und  
Landschaftsgestaltung der  
Technischen Hochschule Aachen  
Lochnerstr. 4—20  
5100 Aachen

Dr. Rolf Sartorius  
Umweltbundesamt  
Bismarckplatz 1  
1000 Berlin 37

Prof. Dr. Dieter Sauerbeck  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft  
Institut für Pflanzenernährung u. Bodenkunde  
Bundesallee 50  
3300 Braunschweig

Prof. Dr. Ernst Schlichting  
Institut für Bodenkunde und Standortlehre  
der Universität Hohenheim  
Postfach 70 05 62  
7000 Stuttgart 70

Dr. Hans-Georg Schön  
Deutsche Gesellschaft für  
Technische Zusammenarbeit GmbH  
Postfach 51 80  
6236 Eschborn 1

Prof. Dr. Udo Schwertmann  
Lehrstuhl für Bodenkunde der  
Technischen Universität München  
in Weihenstephan  
8050 Freising 12

Dr. Friedrich Tebrügge  
Institut für Landtechnik der  
Universität Gießen  
Braugasse 7  
6300 Gießen

## Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege Gesamtverzeichnis

Heft Nr. 1 September 1964	Straßenplanung und Rheinuferlandschaft im Rheingau Gutachten von Prof. Dr.-Ing. Gassner	
Heft Nr. 2 Oktober 1964	Landespflege und Braunkohlentagebau Rheinisches Braunkohlengebiet	— vergriffen —
Heft Nr. 3 März 1965	Bodenseelandschaft und Hochrheinschifffahrt mit einer Denkschrift von Prof. Erich Kühn	
Heft Nr. 4 Juli 1965	Landespflege und Hoher Meißner	— vergriffen —
Heft Nr. 5 Dezember 1965	Landespflege und Gewässer mit der „Grünen Charta von der Mainau“	— vergriffen —
Heft Nr. 6 Juni 1966	Naturschutzgebiet Nord-Sylt mit einem Gutachten der Bundesanstalt für Vegetationskunde, Naturschutz und Landschaftspflege, Bad Godesberg	
Heft Nr. 7 Dezember 1966	Landschaft und Moselausbau	
Heft Nr. 8 Juni 1967	Rechtsfragen der Landespflege mit „Leitsätzen für gesetzliche Maßnahmen auf dem Gebiet der Landespflege“	
Heft Nr. 9 März 1968	Landschaftspflege an Verkehrsstraßen mit Empfehlungen über „Bäume an Verkehrsstraßen“	
Heft Nr. 10 Oktober 1968	Landespflege am Oberrhein	
Heft Nr. 11 März 1969	Landschaft und Erholung	— vergriffen —
Heft Nr. 12 September 1969	Landespflege an der Ostseeküste	— vergriffen —
Heft Nr. 13 Juli 1970	Probleme der Abfallbehandlung	
Heft Nr. 14 Oktober 1970	Landespflege an der Nordseeküste	
Heft Nr. 15 Mai 1971	Organisation der Landespflege mit einer Denkschrift von Dr. Mrass	— vergriffen —
Heft Nr. 16 September 1971	Landespflege im Alpenvorland	
Heft Nr. 17 Dezember 1971	Recht der Landespflege mit einer Erläuterung von Prof. Dr. Stein und einer Synopse über Rechtsvorschriften von Dr. Zwanzig	— vergriffen —

Heft Nr. 18 Juli 1972	Landespfl ege am Bodensee mit dem „Bodensee-Manifest“	
Heft Nr. 19 Oktober 1972	Landespfl ege im Ruhrgebiet	— vergriffen —
Heft Nr. 20 April 1973	Landespfl ege im Raum Hamburg	
Heft Nr. 21 November 1973	Gesteinsabbau im Mittelrheinischen Becken	
Heft Nr. 22 Mai 1974	Landschaft und Verkehr	
Heft Nr. 23 Oktober 1974	Landespfl ege im Mittleren Neckarraum	
Heft Nr. 24 März 1975	Natur- und Umweltschutz in Schweden	
Heft Nr. 25 April 1976	Landespfl ege an der Unterelbe	— vergriffen —
Heft Nr. 26 August 1976	Landespfl ege in England	
Heft Nr. 27 Juni 1977	Wald und Wild	
Heft Nr. 28 Dezember 1977	Entwicklung Großraum Bonn	
Heft Nr. 29 August 1978	Industrie und Umwelt	
Heft Nr. 30 Oktober 1978	Verdichtungsgebiete und ihr Umland	— vergriffen —
Heft Nr. 31 Oktober 1978	Zur Ökologie des Landbaus	
Heft Nr. 32 März 1979	Landespfl ege in der Schweiz	
Heft Nr. 33 August 1979	Landschaft und Fließgewässer	— vergriffen —
Heft Nr. 34 April 1980	20 Jahre Grüne Charta	
Heft Nr. 35 Oktober 1980	Wohnen in gesunder Umwelt	
Heft Nr. 36 Januar 1981	Neues Naturschutzrecht	— vergriffen —
Heft Nr. 37 Mai 1981	Umweltprobleme im Rhein-Neckar-Raum	

Heft Nr. 38 Juni 1981	Naturparke in Nordrhein-Westfalen	— vergriffen —
Heft Nr. 39 September 1982	Naturpark Südeifel	— vergriffen —
Heft Nr. 40 Dezember 1982	Waldwirtschaft und Naturhaushalt	— vergriffen —
Heft Nr. 41 März 1983	Integrierter Gebietsschutz	
Heft Nr. 42 Dezember 1983	Landespflege und Landwirtschaft	— vergriffen —
Heft Nr. 43 November 1984	Talsperren und Landespflege	
Heft Nr. 44 November 1984	Landespflege in Frankreich	
Heft Nr. 45 Dezember 1984	Landschaftsplanung	
Heft Nr. 46 August 1985	Warum Artenschutz?	— vergriffen —
Heft Nr. 47 Oktober 1985	Flächensparendes Planen und Bauen	
Heft Nr. 48 Dezember 1985	Naturschutzgebiet Lüneburger Heide	— vergriffen —
Heft Nr. 49 März 1986	Gefährdung des Bergwaldes	
Heft Nr. 50 Juli 1986	Landschaften nationaler Bedeutung	
Heft Nr. 51 Dezember 1986	Bodenschutz	

Vertrieb: city-druck *Leopold* bonn Verlagsdruckereigesellschaft mbH, Postfach 1947, 5300 Bonn 1

# DEUTSCHER RAT FÜR LANDESPFLEGE

Schirmherr: Bundespräsident Dr. Richard von WEIZSÄCKER

Mitglieder: Ehrenvorsitzender:

Dr. h. c. Graf Lennart BERNADOTTE, Insel Mainau

Ehrenmitglieder:

Dr. Dr. h. c. Theodor SONNEMANN, Bonn  
Staatssekretär a. D., Ehrenpräsident des Deutschen Raiffeisenverbandes

Professor Dr. Erwin STEIN, Annerod bei Gießen  
Kultusminister a. D., Bundesverfassungsrichter a. D.

Ordentliche Mitglieder:

Vorstand:

Professor Dr. h. c. Kurt LOTZ, Heidelberg — Sprecher  
Vorsitzender des Vorstandes des World Wildlife Fund Deutschland

Professor Dr.-Ing. E. h. Klaus IMHOFF, Essen — Stellvertr. Sprecher  
Geschäftsführer des Ruhrverbandes und Ruhrtalsperrenvereins

Professor Dr. Gerhard OLSCHOWY, Bonn — Geschäftsführer  
Ehem. Ltd. Direktor der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und  
Landschaftsökologie, Bonn-Bad Godesberg  
Honorarprofessor an der Universität Bonn

---

Professor Dr. Ulrich AMMER, München  
Lehrstuhl für Landschaftstechnik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Bankdirektor Dr. Franz BIELING, Schwäbisch Hall  
Bausparkasse Schwäbisch Hall AG

Professor Dr.-Ing. Klaus BORCHARD, Bonn  
Lehrstuhl für Städtebau und Siedlungswesen der Universität Bonn

Professor Dr. Konrad BUCHWALD, Hannover  
Em. Direktor des Instituts für Landschaftspflege und Naturschutz  
der Technischen Universität Hannover

Professor Reinhard GREBE, Nürnberg  
Freier Landschaftsarchitekt BDLA

Professor Dr. Wolfgang HABER, München  
Institut für Landschaftsökologie der Technischen Universität München

Prof. Dr. Wilhelm HENRICHSMEYER, Bonn  
Institut für Agrarpolitik, Marktforschung und Wirtschaftssoziologie der Universität Bonn

Dr. Helmut KLAUSCH, Essen  
Beigeordneter des Kommunalverbandes Ruhrgebiet

Oberforststrat Volkmar LEUTENEGGER, Konstanz  
Staatliches Forstamt

Professor Dr. Paul LEYHAUSEN, Windeck  
Ehem. Leiter des Max-Planck-Institutes für Verhaltensphysiologie, Wuppertal

Professor Wolfram PFLUG, Aachen  
Lehrstuhl für Landschaftsökologie und Landschaftsgestaltung  
der Technischen Hochschule Aachen

Professor Dr. Heinhard STEIGER, Gießen  
Fachbereich Rechtswissenschaft der Justus-Liebig-Universität

Prof. Dr. Herbert SUKOPP, Berlin  
Institut für Ökologie der Technischen Universität Berlin

Dr. h. c. Alfred TOEPFER, Hamburg  
Kaufmann und Reeder

Korrespondierende Mitglieder:

Dr. Gerta BAUER, Lüdinghausen  
Büro für Landschaftsökologie und Umweltplanung

Dr.-Ing. E. h. Hans-Werner KOENIG, Essen  
Ehem. Geschäftsführender Direktor des Ruhrverbandes und Ruhrtalsperrenvereins

Dr. Siegbert PANTELEIT, Essen  
Leiter der Abt. Landschaftsplanung beim Kommunalverband Ruhrgebiet

Geschäftsstelle: Konstantinstraße 110, 5300 Bonn 2  
Tel.: 0228/33 1097