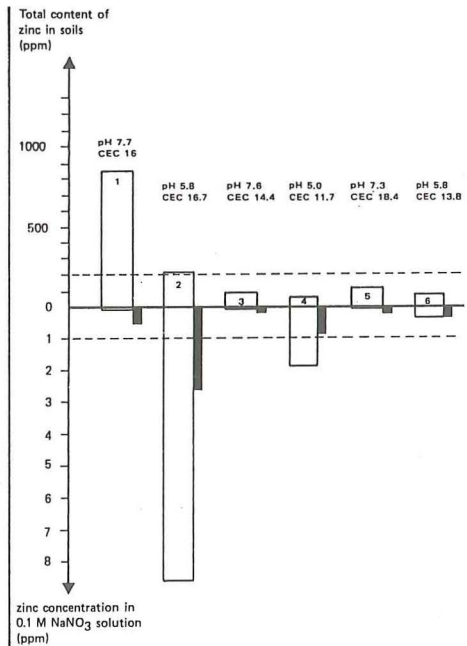
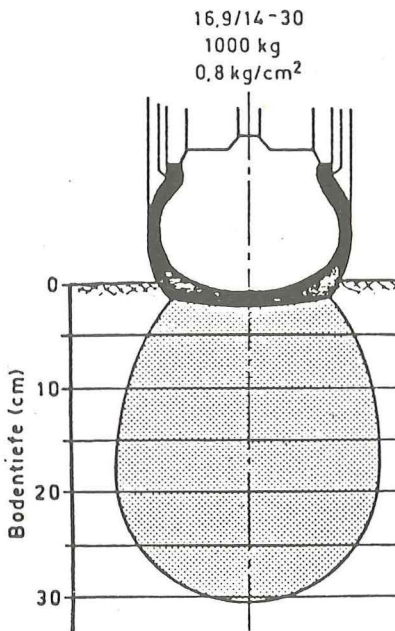
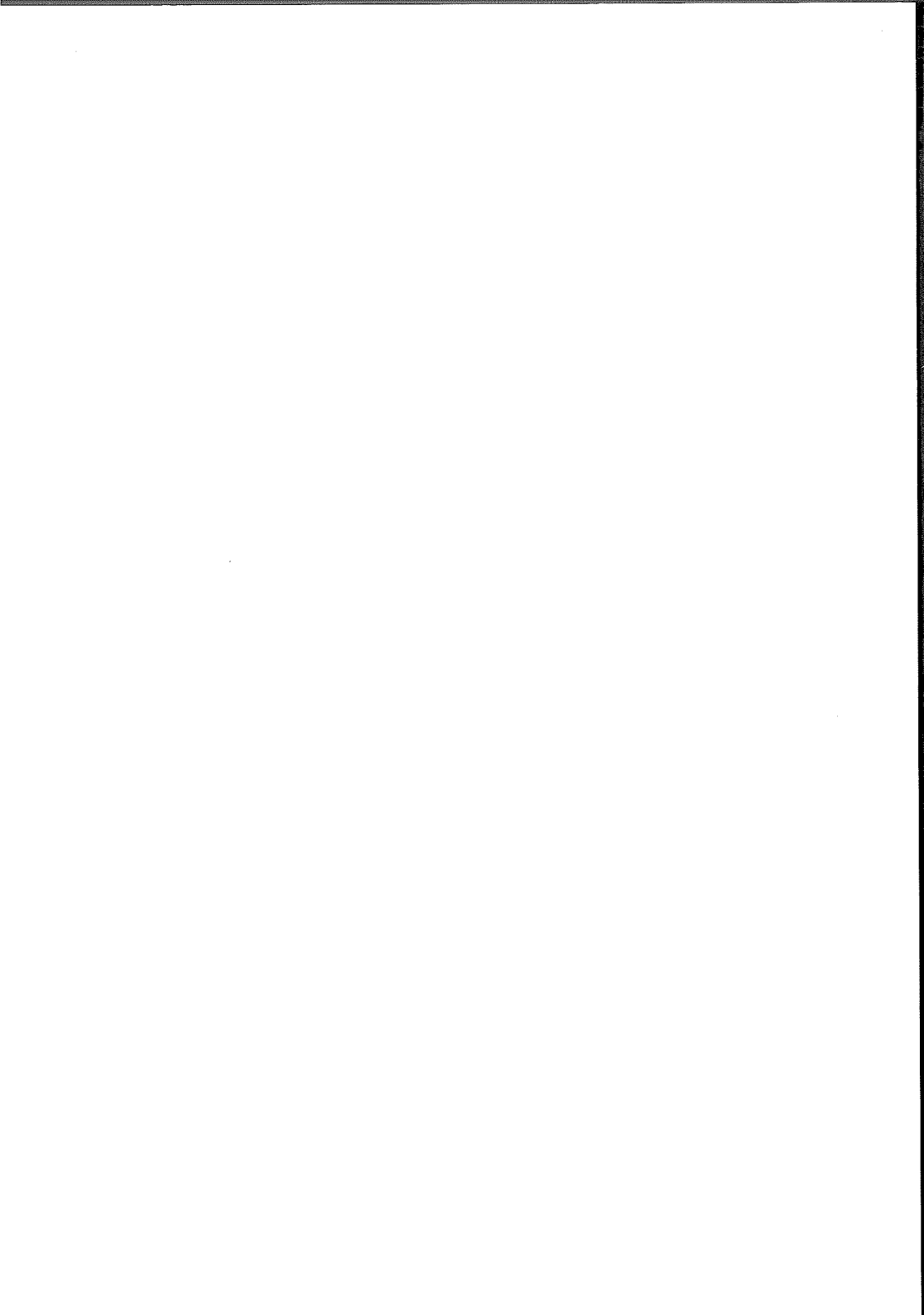


# BODENSCHÄDIGUNG DURCH DEN MENSCHEN





BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ

DOKUMENT 3

# **BODENSCHÄDIGUNG DURCH DEN MENSCHEN**

REFERATE EINES SYMPOSIUMS IM RAHMEN DER JAHRESTAGUNG  
DER SCHWEIZERISCHEN NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT  
AM 4. OKTOBER 1985 IN BIEL

Herausgegeben von Thomas Mosimann  
im Auftrage der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz  
und der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft

Juris Druck und Verlag  
Zürich 1986

## DOKUMENTE

- |   |                    |
|---|--------------------|
| <b>1 Kiesabbau und Landwirtschaft</b>       | ISBN 3 260 05048 5 |
| <b>2 Beurteilung und Schutz der Böden</b>   | ISBN 3 260 05096 5 |
| <b>3 Bodenschädigung durch den Menschen</b> | ISBN 3 260 05146 5 |

Weitere Hefte sind in Vorbereitung

Une version en langue française des documents 1 et 2 est à disposition

Alle Hefte sind zu beziehen bei:

Dokumentationsstelle BGS / Service des documents SSP

P. Lüscher, EAFV, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Tel. 01/739 23 72

Titelbild: E. Kramer / H. Häni

## INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort	5
E. KRAMER & W.G. STURNY: Bodenverdichtung durch Befahren und Bearbeiten	7
H. LESER: Bodenerosion in der Schweiz	17
H. KIENHOLZ: Hangstabilität und Bodenerosion in Nepal	27
H. HÄNI: Folgen der Belastung der Böden durch Schadstoffe (mit besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle) für die Landwirtschaft	35
J.A. NEYROUD: La recherche de rendements élevés est-elle préjudiciable au sol?	47
F. JÄGGLI: Möglichkeiten und Massnahmen zur Sicherung der pflanzen- baulichen Ansprüche bei der Rekultivierung der Böden	55



## FORSCHUNG FÜR DEN SCHUTZ DES BODENS – EIN GEMEINSAMES ANLIEGEN DER BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ UND DER SCHWEIZERISCHEN GEOMORPHOLOGISCHEN GESELLSCHAFT

Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz und die Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft führten im Rahmen der SNG-Jahrestagung im Herbst 1985 in Biel zum ersten Mal ein gemeinsames Symposium mit dem Titel "Bodenschädigung und Bodenzerstörung durch den Menschen" durch. Selbstverständlich kommt es nicht von ungefähr, dass gerade dieser Problemrahmen die beiden Gesellschaften zusammenführt. Die Verbindung in den forschersischen Interessen ist besonders im Themenbereich "Bodenerosion", einem der aktuellen bodenschützerischen Probleme, ausgeprägt.

Bodenschutz als umfassender Begriff ist erst seit wenigen Jahren in den Blickpunkt eines grösseren Interesses gerückt. Zu den Forschungsaktivitäten der Bodenkundler und auch der geomorphodynamischen Prozessforschung gehören zwar schon lange Arbeiten, die sich mit Veränderungen des Bodens durch menschliche Beeinflussung befassen. Es wurde dabei in der Regel nicht bewusst an "Bodenschutz" gedacht. Erst mit der Gründung der Arbeitsgruppe Bodenschutz im Jahre 1981 rückte dieser Problembereich im umfassenderen Sinne zu einer der wichtigsten Gesellschaftsaktivitäten auf.

Der Schutz des Bodens muss forschend und auf der Massnahmenseite in zwei Richtungen betrieben werden: Bodenschutz bedeutet nämlich einerseits **Flächenschutz** (z.B. Erhaltung landwirtschaftlich wertvoller Böden) und andererseits **qualitativ-substantieller Schutz der gewachsenen Böden**. In den ersten Jahren der Bodenschutzaktivitäten der Bodenkundlichen Gesellschaft standen Fragen des Flächenschutzes eher etwas im Vordergrund. Das im letzten Herbst mit den Geomorphologen abgehaltene Symposium hat nun Probleme der qualitativen Bodenbeeinträchtigung und des substantiellen Bodenverlustes in den Vordergrund gerückt. Demzufolge befassen sich die in diesem Bändchen publizierten Vorträge auch ausschliesslich mit Fragestellungen aus diesem Bereich.

Im Bereich des qualitativen Bodenschutzes lassen sich folgende Aspekte bzw. Problembereiche unterscheiden:

- Erhaltung der Bodensubstanz (Verhinderung von Bodenabtrag durch Wasser und Wind),
- Verhindern von allmählichen Veränderungen (= Verschlechterung) der Bodenstruktur (z.B. Verdichtung durch Bearbeitung mit schweren Maschinen),

- Verhindern oder mindestens Vermindern der Belastung mit Schadstoffen (Schwermetalle, organische Fremdstoffe),
- Erhaltung der Bodenorganismengemeinschaften bzw. Bodenökosysteme,
- Erhalten und Fördern der Bodenfunktionen in den Oekosystemen und
- Erhaltung und Förderung einer langfristigen Bodenfruchtbarkeit.

Bodenschutz verlangt Massnahmen; mit Forschung alleine wird noch kein Schutz erreicht. Die Forschung kann aber diese Massnahmen vorbereiten und stützen, indem sie

- das Ausmass der Bedrohungen, den Zustand der Böden und funktionalen Veränderungen aufzeigt,
- die räumliche Differenzierung von Bodenschädigungen und ihre Ursachen demonstriert,
- generell die Auswirkungen der Belastungen im Oekosystem Boden untersucht,
- den Einfluss von Bodenschädigungen auf die Minderung der Bodenfruchtbarkeit aufzeigt und
- Massnahmen definiert sowie ihre Effekte untersucht.

Im Rahmen des Symposiums konnten aus Zeitgründen nicht alle Aspekte der Bodenschädigung durch den Menschen und auch nicht annähernd alle Auswirkungen aufgezeigt werden. Die folgenden Aufsätze behandeln aber einige verschiedene wichtige Problemkreise. Sie haben bewusst zusammenfassenden Charakter und sollen über das Schriftenverzeichnis dem interessierten Leser den Einstieg in das jeweilige Forschungsgebiet öffnen.

Basel, im Mai 1986

Thomas Mosimann  
Präsident der Bodenkundlichen  
Gesellschaft der Schweiz



## BODENVERDICHUNG DURCH BEFAHREN UND BEARBEITEN

E. Kramer, W.G. Sturny (Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik Tänikon)

### Bödenschäden durch das Befahren

Beim Befahren stützt sich das Gewicht des Fahrzeuges auf den Boden und wenn die Belastung die Bodenfestigkeit übersteigt, wird das Gerüst der festen Bodensubstanz zerstört und das Porenvolumen vermindert bzw. die Bodendichte erhöht. Wir sprechen von Verdichtung.

Dabei werden in erster Linie Grobporen reduziert, währenddem Mittel- und Feinporen weniger beeinflusst werden. Durch das Verdichten von Grobporen ( $>10\ \mu\text{m}$ ) werden sowohl luft- als auch wasserführende Poren beeinträchtigt, was wiederum einen Einfluss hat auf den Nährstofftransport und die Bodenbiologie. Ausserdem ist die Porengrößenverteilung wichtig für das Wurzelwachstum, denn die Grenze der Durchwurzelung liegt bei einem Porendurchmesser von  $100\ \mu\text{m}$ , währenddem Wurzelhaare bei ausreichendem Gasaustausch noch bis in den untersten Bereich der Grobporen vorzustossen vermögen. Mittelporen dienen als Lebensraum für Pilze und Bakterien, Feinporen hingegen sind für die Mikroorganismen nicht mehr zugänglich.

Die Verdichtungsempfindlichkeit eines Bodens hängt in erster Linie von der Bodenart (Körnung) und vom Wassergehalt, aber auch vom biologischen Verbau, d.h. von den Kittsubstanzen der Bodenorganismen und von der Bepflanzung (Durchwurzelung) ab. Am empfindlichsten reagiert ein humusarmes, tonreiches und frischbearbeitetes Feld.

Zur Beurteilung von Verdichtungen fehlen heute noch weitgehend einfache und praktische Methoden. Vermehrt sollte die Spatendiagnose gemacht werden, um vor dem Befahren oder Bearbeiten den Boden auf seinen Zustand zu beurteilen.

## Entwicklung der Fahrzeuge und der Bodenschäden

Heute sind Traktor und Anhänger nicht die einzigen bodenbelastenden Fahrzeuge. Schwere aufgesattelte oder gezogene Landmaschinen und grosse selbstfahrende Erntemaschinen sind hinzugekommen.

Obwohl namentlich bei den Traktoren versucht wurde, die Bereifung stets dem Gewicht anzupassen, um den spezifischen Bodendruck nicht zu erhöhen, werden heute Bodenverdichtungen und Ertragsdepressionen festgestellt. Verschiedene Autoren berichten von 10 % - 15 % Ertragseinbussen durch Bodenschäden. Canarache (2) findet aufgrund mehrerer Versuche, dass bei einer Zunahme der Bodendichte um  $10 \text{ kg/m}^3$  der Körner-Maisertrag um  $130 \text{ kg/ha}$  abnimmt.

## Hauptursachen der Bodenschäden und Empfehlungen zur Verminderung

Anzahl Ueberfahrten: Wenn früher ein Feld von der Bodenbearbeitung über die Saat bis zur Ernte zwei- oder dreimal überfahren wurde, so hat heute die flächenbedeckende Belastung durch das Befahren bei den meisten Kulturen 100 % überschritten. Oft rollen mehrere Räder in derselben Spur und der Boden wird mehrmals zusammengedrückt, bis schliesslich die minimalen Grenzwerte des Porenvolumens unterschritten sind. Um dieser Gefahr vorzubeugen, empfiehlt sich bei Anhängern eine von der Traktorspur versetzte Spur, eine Doppelbereifung oder eine Doppelpendelachse. Weitere Möglichkeiten zur Reduktion des Mehrfach-Befahrens sind die Gerätekombinationen.

Gewicht: Nebst der Anzahl Ueberfahrten ist auch das Gesamtgewicht der Fahrzeuge und die Verteilung des Gewichtes auf Achsen und Räder massgebend für die Bodenverdichtungen. Je höher das Gewicht pro Achse oder Rad, um so tiefer wird der Boden verdichtet. Deshalb sollte auch bei der Traktorwahl kein Gewicht auf Reserve gekauft werden; denn damit wird der Boden zusehends in solchen Tiefen verdichtet, wo er mit normalen Bodenbearbeitungsgeräten nicht mehr gelockert werden kann. Im Bedarfsfall können den Verhältnissen entsprechend Gewichte zugelegt werden (Zusatzgewichte, Wasserfüllung). Es bleibt schliesslich zu überlegen, ob nicht sehr grosse Fahrzeuge und Maschinen durch mehrere kleine und leichte ersetzt werden könnten (1).

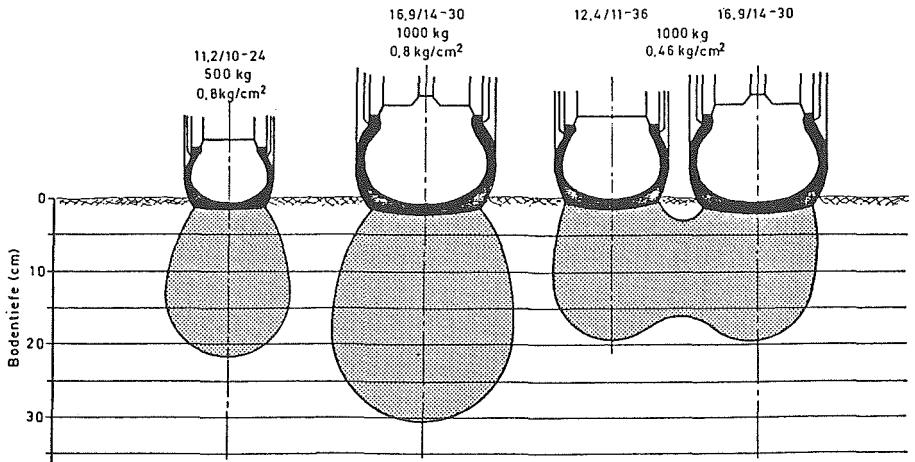


Abb. 1: Das verdichtete Bodenvolumen ist abhängig vom Fahrzeuggewicht

Bei gleichem spezifischem Bodendruck und unterschiedlichem Gewicht verdichtet das Fahrzeug nicht nur ein grösseres Bodenvolumen, sondern bewirkt auch Bodenverdichtungen in zunehmenden Tiefen. Je grösser das Gewicht, um so kleiner sollte der spezifische Bodendruck sein, damit die Bodenverdichtungen nicht in solche Tiefen gehen, wo sie mit normalen Bodenbearbeitungsgeräten nicht mehr gelockert werden können. Für die Praxis bedeutet dies eine möglichst grosse Grundbereifung und/oder eine Doppelbereifung dazu.

Bereifung/Reifendruck: Durch die Wahl der Reifengrösse können wir direkt den Reifendruck und durch den Reifendruck den spezifischen Bodendruck beeinflussen. Je grösser der Reifen, um so geringer muss der Reifendruck sein für ein entsprechendes Tragvermögen. Und je geringer der Reifendruck, um so grösser wird die Reifenaustandsfläche bzw. um so kleiner der spezifische Bodendruck. Annäherungsweise gilt folgende Formel:  $0,4 \text{ bar} + \text{Reifendruck} = \text{spez. Bodendruck}$ . Durch die Reduktion des Reifendruckes nimmt auch der Rollwiderstand ab. Es ist weniger aufwendig, den Reifen zu verformen als den Boden zu verdichten.

Als Grenzwerte für den Reifendruck werden verschiedentlich Werte  $\leq 1$  bar angegeben, um schädigende Wirkungen, d.h. Ertragsausfälle zu vermeiden.

Die Liste der Einflüsse des Befahrens auf den Boden könnte weitergeführt werden. Auch die Fahrgeschwindigkeit hat einen gewissen Einfluss auf die Verdichtung. Nur kann hier in der Regel nicht stark variiert werden, weil die Geschwindigkeit durch die auszuführende Arbeit oder die Arbeitsqualität bestimmt wird.

Ein weiterer, die Bodenverdichtungen beeinflussender Faktor kann auch der überbetriebliche Maschineneinsatz sein. Sicher können Maschinen überbetrieblich besser ausgelastet und somit wirtschaftlicher eingesetzt werden, aber es sollte nicht auf Kosten des Bodens geschehen. Grosse und teure Maschinen haben wohl eine grosse Schlagkraft, so dass sie bei gutem Wetter sehr viel leisten können, aber sie dürfen nicht so teuer sein, dass sie auch noch bei schlechtem Wetter eingesetzt werden müssen.

#### Bodenbearbeitung - Lockerung oder Verdichtung

Das Ziel der Bodenbearbeitung ist die Lockerung des Bodens, um die durch Bearbeitung und Befahren sowie Niederschläge entstandenen Strukturschäden mechanisch zu beseitigen. Der Pflug kann diese Aufgabe erfüllen. Dabei kommt es aber durch das auf der Furchensohle laufende Traktorrads im Pflugsohlenbereich und im Unterboden zu Verdichtungen. Auch können durch das Vergraben unzersetzter organischer Substanzen und bei fehlendem Sauerstoff organische Säuren und Reduktionszonen entstehen, in die keine Wurzel mehr eindringt.

Unterbodenverdichtungen könnten vermieden werden, wenn das Traktorrads ausserhalb der Furche laufen würde. Wegen problematischer Zugpunktführung in Hanglagen sehen Schweizer Pflugkonstrukteure noch keine technischen Lösungsmöglichkeiten.

Mit dem Grubber werden Ernterückstände wühlend eingemischt, und es wird gleichzeitig ein Erosionsschutz bewirkt. Zudem entstehen keine Verdichtungshorizonte an der Bearbeitungsgrenze, da Traktorspuren beim Bearbeitungsvorgang sogleich gelockert werden.

Als Pflugersatz bietet auch die Spatenmaschine guten Erosionsschutz, indem sie ca. 3/4 der Ernterückstände einarbeitet und eine sehr grobschollige Bodenstruktur hinterlässt. Als wesentlicher Vorteil ist das Vermeiden von Verdichtungshorizonten anzusehen, trotz Bearbeitung von "nassen" und tonhaltigen Böden (13).

### Gleichmässige Saatbettvorbereitung

Auf schweren Böden und für Herbstsaaten steht die Zerkleinerung im Vordergrund, auf leichteren Böden und für Frühjahrssaaten das Einebnen und Rückverfestigen. Der unterschiedlichen Bodendruckverteilung in und zwischen den Traktorradschulden, die eine gleichmässige Pflanzenentwicklung beeinträchtigen kann, ist grosse Beachtung zu schenken: breite Reifen mit niedrigem Druck, Doppelbereifung, Frontpacker, niedriges Traktorgewicht und Spurlockerer können Abhilfe schaffen.

Um die gewünschte Arbeitsqualität in möglichst einem Durchgang zu erreichen, ist eher der korrekte Einsatz von zapfwellengetriebenen als von gezogenen Geräten zu empfehlen. Allerdings kann eine zu hohe Drehzahl der Arbeitswerkzeuge von zapfwellengetriebenen Geräten (= zuviel "Schlagkraft") sowie Bodenbearbeitung bei zu feuchten Bodenverhältnissen (Einhalten von Saatterminen) zu einer "inneren Verdichtung" führen (11). Diese von Auge nicht wahrnehmbare "schleichende Verdichtung" wird mittels Bestimmung der Aggregatdichte (nicht Bodendichte) festgestellt. Die verdichteten Aggregate wirken ertragsmindernd (Abnahme des Anteils an Mittelporen und somit an pflanzenverfügbarem Wasser), und es gibt kein Bodenbearbeitungsgerät, das diese verdichteten Aggregate wieder lösen kann (11).

Für einen bodenschonenden Einsatz von zapfwellengetriebenen Geräten ist die Bearbeitungsintensität zu reduzieren, indem Fahrgeschwindigkeit erhöht und Werkzeugdrehzahl herabgesetzt werden.

### Konservierende Bodenbearbeitung

Wir verstehen darunter Konservierung des Bodens und der Nährstoffe durch ganzjährige Bodenbedeckung. Nach Damroth (4) ist die konservierende Bodenbearbeitung ein Verfahren des Pflanzenbaues, bei dem aus den vorhandenen Ernterück-

ständen der Hauptfrucht und/oder einer Zwischenfrucht durch Vermischung mit dem Boden eine oberflächennahe Mulchschicht erstellt wird oder bei dem die Ernterückstände ohne Einarbeitung als Mulch an der Oberfläche belassen werden. In bzw. durch diese Mulchschichten werden Saat- und Pflanzgut abgelegt. In jedem Fall wird auf die wendende Pflugarbeit verzichtet.

Der ausgedehnte Anbau von insbesondere spätdeckenden Hackfrüchten wie Mais und Rüben ist die wesentliche Ursache für zunehmende Bodenerosion in Schweizer Landwirtschaftsbetrieben. Versuche mit konservierender Bodenbearbeitung sind im Gang. Erste Versuchsergebnisse und Erfahrungen aus dem In- und Ausland sind vielversprechend (4, 16, Abb. 3).



Abb. 2:

Konservierende Bodenbearbeitung:  
Mais-Streifenfräsaat in einem Arbeitsgang in abgefrorenen Oelrettich; Fahrt auf durchwurzeltem, tragfähigem Boden mit wenig Gewicht, grossvolumigen Reifen und niedrigem Reifendruck

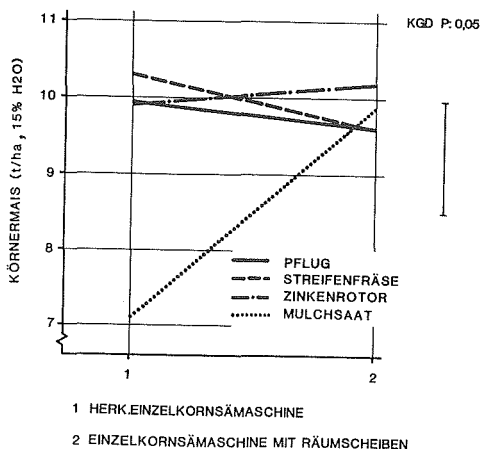


Abb. 3:

Einfluss von Bodenbearbeitung und Säverfahren auf den Körnermaisertrag

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung werden folgende Auswirkungen beobachtet:

**Bodentemperatur:** Die schützende Mulchschicht an der Bodenoberfläche verursacht höhere Bodenfeuchtigkeitsgehalte und somit tiefere Bodentemperaturen, was ungünstigere Feldaufgänge verursacht.

**Eindringwiderstand:** Die Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität bewirkt größere Festigkeit und somit bessere Tragfähigkeit des Bodens.

**Regenwürmer:** Mulchschicht und Bodenruhe fördern die Tätigkeit von streuzersetzenden, wühlenden Bodentieren (17).

**Pflanzenenerträge:** Selbst eine anspruchsvolle Zuckerrübenkultur kann ohne Pflugeinsatz erfolgreich angebaut werden, vorausgesetzt die Sätechnik stimmt.

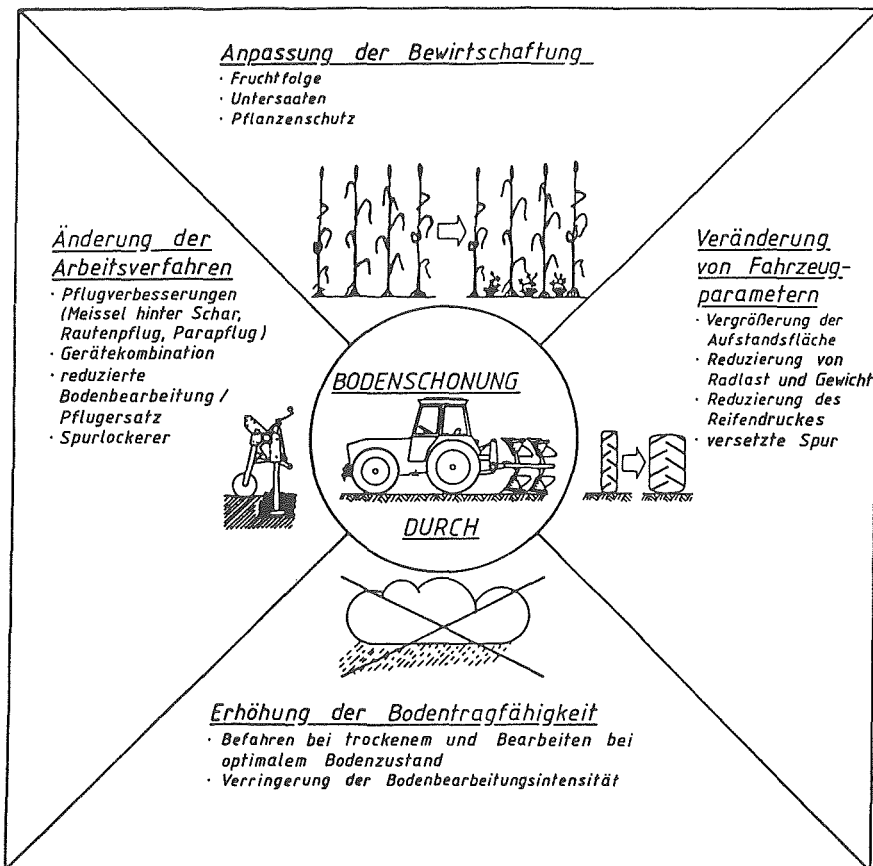


Abb. 4: Vorschläge zum bodenschonenden Maschineneinsatz

## Zusammenfassung

Durch das Befahren und Bearbeiten des Bodens wird das Porenvolumen und damit der Wasser- und Lufthaushalt beeinträchtigt, was wiederum den Nährstofftransport und die Bodenbiologie beeinflusst.

Die Bodenbelastung hat durch den vermehrten Einsatz schwerer Traktoren und schlagkräftiger Maschinen so stark zugenommen, dass der Strukturzustand zum ertragsbegrenzenden Faktor wird.

Durch Veränderung der Fahrzeugparameter (Gewichte, Bereifung, Spur), Anpassung der Bewirtschaftung (Fruchtfolge) und Aenderung der Arbeitsverfahren (Gerätekombinationen, Pflugersatz, konservierende Bodenbearbeitung) können Bodenverdichtungen reduziert werden.

## Résumé

Le passage des véhicules sur le sol ainsi que l'action du travail du sol influencent le volume des pores et donc l'équilibre eau/air. Cela influence alors le transport des éléments fertilisants et la biologie du sol.

Par l'utilisation de plus en plus fréquente de tracteurs très lourds et de machines très puissantes, le sol est fort malmené; par la suite, son état structural devient le facteur limitant du rendement.

Une réduction du tassement du sol peut être atteinte par une modification des paramètres du véhicule (poids, pneumatiques, écartement de voie), une adaptation de l'exploitation (assolement) et un changement des techniques culturales (outils combinés, culture sans labour, travail de conservation du sol).



## LITERATUR

- (1) Bolling, J. 1984: Bodenverdichtung und Bereifung bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen. Landtechnik Nr. 10, S. 449-452
- (2) Canarache, A. et al. 1984: Effect of induced compaction by wheel traffic on soil physical properties and yield of maize in Romania. Soil and Tillage Research, 4, S. 199-213
- (3) Ceratzki, W. 1972: Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand. Landbauforschung Völenrode 22, Nr. 1, S. 29-36
- (4) Damroth, M. 1984: Konservierende Bodenbearbeitung auch im Kartoffelbau. Der Kartoffelbau. 35 (2). 62-64
- (5) Estler, M.; Knittel, H. und Zeltner, E. 1984: Bodenbearbeitung aktuell. DLG-Verlag, Frankfurt. 245 S.
- (6) Hakansson, J. 1981: Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. Proceedings of the 7th/ISTVS-Conference, Volume I, S. 239-253
- (7) Koeller, K. 1978: Möglichkeiten des Pflugersatzes in der Primärbodenbearbeitung. Berichte über Landwirtschaft. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 56, S. 415-430
- (8) Kramer, E.: Bodendruck, Bereifung und Fahrzeuggewicht. UFA-Revue 7, 1981, S. 30-31
- (9) Kuntze, H. 1983: Die Bedeutung des Bodengefüges für die Ertragsbildung in Jahren mit extremer Witterung. Die Zuckerrübe 32
- (10) Maillard, A. 1985: Bodenbearbeitung im Getreidebau - Entwicklung und Tendenzen. UFA-Revue. 2: S. 10-11
- (11) Meyer, B. 1984: Bearbeitungsfehler - erkennen und vermeiden. Bodenbearbeitung heute - rationell und schonend. DLG-Archiv 74, 8-17
- (12) Müller, U. 1982: Ursachen von Bodenverdichtungen und deren Sanierung. Die Grüne. 49: S. 18-23
- (13) Pelletier, L. 1984: La machine à bêcher "Bêchamatic" très appréciée en terre argileuse. La France Agricole. 2038, S. 32/33
- (14) Söhne, W. 1953: Druckverteilung im Boden und Bodenverformung unter Schlepperreifen. Grundlagen der Landtechnik 3, Nr. 5, S. 49-63
- (15) Sommer, C. 1984: Auswirkungen moderner Landtechnik auf das Bodengefüge. Arbeiten der DLG, Band 179, S. 13-28
- (16) Sturny, W.G. 1982: Sugarbeet (*beta vulgaris* L.) Production under Minimum and Zero Tillage. M.Sc. Thesis. University of Manitoba, pp 147
- (17) Tebrügge, F. 1984: Bodenbearbeitung und Bestelltechnik. DLZ 3, S. 318-325
- (18) VEZ, A. 1980: Werden unsere Böden noch richtig bearbeitet? Schweiz. Landw. Monatshefte 58, S. 501-519
- (19) Working group on soil compaction by vehicles with high axle load, 1980. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. Report from the Division of Soil Management Nr. 60



## BODENEROSION IN DER SCHWEIZ

H. Leser (Forschungsgruppe Physiogeographie und Geoökologie, Geographisches Institut der Universität Basel)

### Vorbemerkungen

Bodenerosion gibt es auch in der Schweiz. Sie wurde bislang als Problem wenig beachtet. Das gilt nicht nur für die Praxis, sondern auch für die Wissenschaft. Erst in jüngster Zeit wird realisiert, daß Bodenerosion sowohl ein die Wirtschaft schädigender Prozeß als auch ein interessanter wissenschaftlicher Gegenstand ist. Bevor das Thema auch Gegenstand der Massenmedien wurde, bildete es schon jahrelang ein Forschungsprogramm des Geographischen Instituts Basel. Diese langjährigen Untersuchungen wurden seit 1978 großzügig durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF) unterstützt, wofür auch an dieser Stelle ergebenster Dank gesagt sei.

### "Gegenstand Bodenerosion"

Bodenerosion ist jene Abtragung des Bodens durch Wasser (und Wind), die über die natürlichen Abtragungsprozesse hinausgeht, weil sie durch die Bodenbewirtschaftung begünstigt oder ausgelöst wird. Die Bodenerosion vermindert die Bodenfruchtbarkeit, sie kann aber auch die Bodensubstanz selber vernichten. Die Verwitterung und Boden Neubildung aus Gestein oder Lockermaterialien kann mit diesem Bodenschwund nicht Schritt halten.

Bei der Bodenerosion geht es einerseits um die Erosionsformen (Rillen, Gullies, Aufschwemmungen), andererseits um den Abtragungsprozeß selber. Dieser "Abtragungsvorgang Bodenerosion" erfaßt, weil er sich am Boden und am Georelief abspielt, zentrale Bestandteile der Substanz der Ökosysteme. Die Bodenerosion ist mithin nicht ausschließlich ein geomorphologischer Prozeß, sondern ein landschaftsökologischer. Er bezieht Wasserhaushalt, Klima, Vegetation bzw. Nutzungsarten, Bewirtschaftungstechniken etc. mit ein. Er betrifft demnach das gesamte Wirkungsgefüge der Agrarlandschaft.

Die Erforschung der Bodenerosion durch die Forschungsgruppe in Basel

Über die Aktivitäten der Forschungsgruppe liegen bereits zahlreiche Publikationen vor (FORSCHUNGSGRUPPE BODENEROSION 1985). Die drei Hauptuntersuchungsräume in der Nordschweiz (Möhliner Feld, Jura I und Jura II) sind mit den Arbeiten von R.-G.SCHMIDT (1979) und W.SEILER (1983) dokumentiert. Über Jura II steht die Arbeit noch aus. Ein abgegrenztes Projekt war der Napf, das inzwischen ebenfalls abgeschlossen ist (J.ROHRER 1985).

Die Streuung der Arbeitsgebiete hat folgenden Hintergrund: Man kann damit die verschiedensten Landschaftstypen erfassen, die sich durch spezifische Boden-, Georelief- und Niederschlagsverhältnisse auszeichnen. Die meist sehr großmaßstäbig durchgeführten Untersuchungen werden überwiegend in Einzugsgebieten durchgeführt, um über abgegrenzte Elementarlandschaften zu verfügen, für die man die Bodenerosion als Ausdruck des stofflichen, klimatischen und wasserhaushaltlichen Geschehens betrachtet. Je nach Testlandschaft fallen die Ergebnisse unterschiedlich aus (Tab. 1).

Die Untersuchung der Bodenerosion innerhalb der einzelnen Gebiete erfolgt mit Hilfe einer mehrstufigen Meß- und Beobachtungstechnik (Abb. 1). Sie reicht von eher experimentellen Testflächenuntersuchungen im Freiland über quantitative Bestimmungen mit Sedimentfangkästen in regulären Ackerflächen bis zur groß- und größtmaßstäbigen Kartierung der Bodenerosionsformen. Die auf den einzelnen Ebenen erhaltenen Resultate haben einen unterschiedlichen Genauigkeitsgrad. Sie

GEBIET	Durchschnittlicher Bodenabtrag in [t/ha/Jahr] bezogen auf die Ackerfläche	Maximaler Bodenabtrag in [t/ha/Jahr] auf Einzeläckern	MATERIALBASIS		
			Meßzeitraum	Methode	Autor
Napf	0.3-0.5	20	1981-1982 <sup>o</sup>	Schadenskartierung	J.ROHRER (1985)
I	5.5 } ----- } 2.9 } ----- } 0.4 }	28	1979-1982*	Schadenskartierung (Feldkästen)	W.SEILER (1983)
II			1983-1984*	Schadenskartierung	T.STAUSS (1983)
Möhliner Feld	NT 0.3 HT 3.1	-	1976-1984*	Feldkästen (Schadenskartierung)	R.-G.SCHMIDT** D.SCHAUB <sup>o</sup>

\*\*\*Mündliche Mitteilungen/<sup>o</sup>Untersuchungen laufen seitdem weiter/<sup>o</sup>Untersuchungen abgeschlossen

Tab. 1: Absolute Werte des Bodenabtrags, gemessen und bestimmt in den Basler Bodenerosionsforschungsgebieten

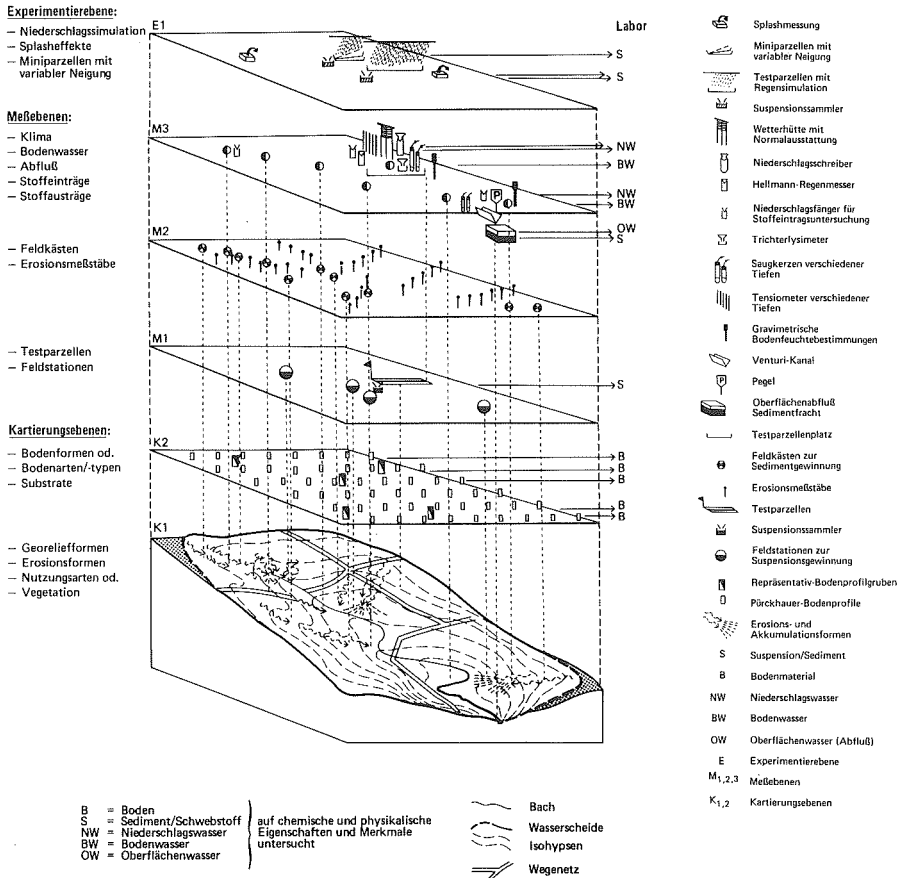


Abb. 1: Mehrstufige Methodik zur Erfassung der Bodenerosion

Diese Methodik wird seit 1978 in verschiedenen Elementarlandschaften der Nordwestschweiz eingesetzt. Das Konzept gliedert sich in mehrere Ebenen, auf denen in unterschiedlicher Dichte und mit unterschiedlichen Genauigkeiten beobachtet, kartiert, gemessen und experimentiert wird. Diese mehrstufige Bodenerosionsforschungsmethodik ähnelt stark der Landschaftsökologischen Komplexanalyse. Die hohe Dichte der ermittelten Daten, die sich zu einer komplexen geökologischen Gebietsaussage aggregieren, geht weit über eine reine Aussage zur Bodenerosion hinaus.

werden miteinander in Beziehung gesetzt, um über möglichst große Flächen hinweg eine quantitative Aussage über die Bodenabtragungsraten und die Bodenqualitätsverluste zu erlangen.

Die Arbeit in den Testlandschaften Jura I und Jura II sowie Möhliner Feld wird - entsprechend der eben skizzierten Methodik - fortgeführt. Sie zielt auf die Gewinnung von Basisdaten ab, die dem regionalen und überregionalen Vergleich

dienen, die aber auch eine Bewertung der Erfassungsmethodiken zulassen. Damit kann man Schnellverfahren eichen, die vor allem für den Praktiker in der Landwirtschaft und im Bodenschutz - für rasche und einigermaßen genaue Datengewinnung - von Bedeutung sind. Die Bekämpfungsproblematik spielt als Untersuchungsgegenstand noch eine untergeordnete Rolle. Sie wird nur soweit erforscht, als sie sich im Rahmen dieser Grundlagenforschungen anordnen läßt bzw. sich direkt aus diesen ergibt.

Grundlagenforschungsprobleme

Die Fülle der Probleme, die bei einem längerfristig angelegten Forschungsprojekt anfällt, kann hier nicht dargestellt werden. Stattdessen soll an einem Beispiel grundlegender Art gezeigt werden, daß die Aussagen aus der Grundlagenforschung weiterreichend sind. Das hier vorzustellende Problem ist die Frage, ob das Erosionsgut echten Gebietsaustrag - also Verlust - darstellt, oder ob nicht ein Teil davon nur Umlagerungsgut ist, also keinen Gebietsaustrag repräsentiert. Werte aus der Arbeit W.SEILER (1983) dienen als Beispiel (Tab. 2).

		Einzelereignisse Jura I			Dimension
		10./12.03.79	23./24.01.80	29.07.80	
Austrag TSF via Vorfluter		92'483	7'417	1'371	kg
Umlagerung im EZG	$\Sigma$	50'400	1'900	51'500	dm <sup>3</sup>
	Äcker	3'961	150	4'050	kg·ha <sup>-1</sup>
	EZG	1'121	43	1'150	kg·ha <sup>-1</sup>

Tab. 2: Einzelereignisse der Bodenerosion im Gebiet Jura I (Anwil - Rothenfluh).

Daraus leiten sich zunächst allgemeine Aussagen ab, die auch aus zusätzlichen Beobachtungen, Messungen und Kartierungen resultieren:

- Bei der Trockensubstanzfracht muß erkannt werden, daß es sich zwar um Austrag handelt, der aber nicht ausschließlich Bodenerosionsmaterial repräsentiert, sondern auch aus anderen Quellen stammt.
- Die innergebietliche Umlagerung ist zwar groß, trotzdem kommt es zu echten Bodenerosionsschäden.
- Die Nährstoffausträge und -verlagerungen sind von Niederschlags- bzw. Erosionseinzelergebnissen geprägt.

Aus diesen hier nur vereinfacht dargestellten Ergebnissen resultiert für die Erfassung bzw. Beurteilung der Bodenerosion eines Gebietes:

- Man muß bei der Beurteilung von hydrosedimentologischen Daten sehr vorsichtig sein. Das betrifft auch die Nährstofffrachten.
- Es sind Stoffgesamtbilanzen erforderlich, weil nur sie Herkunft und Weg der Stoffe korrekt beschreiben, z.B. die Ursache der hohen PO<sub>4</sub>-Raten.

- Schadenskartierungen und das Aufstellen von Feldkästen für die quantitative Bestimmung unter Ackerbedingungen müssen ackerbezogen sein.
- Die Aussage auf das Gesamteinzugsgebiet bezogen ist zwar wichtig, sie steht aber nur z.T. in Bezug zum Geschehen auf dem Einzelacker.
- Testflächenwerte sind als solche zu behandeln, d.h. als Ergebnisse von Freilandversuchen außerhalb der eigentlichen Ackerflächen.
- Bodenerosionsdurchschnittswerte haben wenig Aussagekraft, weil die Einzelwerte stark streuen. Entscheidend sind der Einzelacker und seine Nutzung und das sich darauf abspielende Erosionsereignis.
- Bodenerosionswirksam sind Einzelniederschlags- und Einzeloberflächenabflußereignisse mit Extremcharakter. Auf deren Erfassung sollte man sich konzentrieren.

#### Kann "der Praktiker" Bodenerosion registrieren?

Außerhalb der Grundlagenforschung interessieren Bodenerosionsabtragsraten ebenfalls. Der technische Aufwand und die zur Verfügung stehende Zeit können aber nicht im Umfang wie bei der Grundlagenforschung aufgewandt werden. Berücksichtigt der Praktiker (Pedologe, Landwirtschaftsberater, Kulturtechniker, Landschaftspfleger etc.) die Grundprobleme der Bodenerosionsarbeit (- d.h. Bodenerosion als komplexen Prozeß, seine hochgradige Witterungsabhängigkeit und seinen Kontinuumcharakter -), dann darf er verschiedene Grobmethodiken einsetzen. Sie lassen sich mit einem nur beschränkten Aufwand realisieren. Dazu gehören:

- Wiederholte Schadenskartierungen in großen Maßstäben.
- Feldkastenmessungen unter regulären Ackerbedingungen.
- Einsatz von Erosionsmeßstäben oder anderen Markierungen.
- Berechnungen der ausgeräumten Beträge.
- Auswertung von Bodenprofilserien entlang von Hangcatenen.
- Nutzungsexperimente 1 : 1, d.h. Veränderungen der Nutzungsbedingungen von Jahr zu Jahr, um zu Erfahrungen zu gelangen.

Die Aussagesicherheit steigt, wenn mehrere Grobmethodiken miteinander kombiniert werden. Die Grundlagenforschung erbrachte, daß z.B. die Kombination von Schadenskartierungen und Feldkastenmeßwerten ausgezeichnete Vorstellungen über die Erosionsraten vermittelt.

#### Was brachten die Grundlagenforschungen für die Schweizer Verhältnisse?

Die höchsten Bodenverluste treten auf bei

- Extremereignissen, d.h. bei Niederschlägen, die sich durch hohe Mengen und große Niederschlagsintensitäten auszeichnen.
- Die Niederschlagsintensität ist überhaupt die entscheidende Größe.
- Wo geringe Aggregatstabilität vorliegt, sind die Abtragsereignisse besonders wirksam.

Neben diesen "Normalfaktoren" begünstigen den Bodenabtrag u.a. zu lockerer Boden (gelegentlich aber auch zu sehr verdichteter), hohe aktuelle Bodenfeuchte, Interflowaustritte nach Wassersättigung des Bodens, Sommergewitter, Hagelschlag, Oberflächenabfluß bei Bodengefrorenis, Schneeschmelze (letztere drei sind besonders wirksam, wenn sie gleichzeitig durch große Niederschlagsmengen verstärkt werden), Tiefenlinien jeglicher Größe, Hang- und Geländemulden, Mais, Sonderkulturen mit reihiger Anordnung (vor allem in Gefällsrichtung).

Die Aufzählung ist keineswegs vollständig, aber sie gilt in ihrer Grundsubstanz für alle im SNF-Bodenerosionsforschungsjekt untersuchten Landschaften.

### Die Bodenerosionsgefährdungskarte als Grundlagenforschungsproblem

Das Basler SNF-Projekt strebt an, die Grundprinzipien einer Gefährdungskarte zu entwickeln. Dazu gibt es bereits zahlreiche Vorarbeiten, die demnächst zusammengefaßt werden. Bodenerosion kann bekanntlich unter allen agrarökologischen und agrarwirtschaftlichen Bedingungen auftreten (Abb. 2). Wie die vereinfachte Darstellung zeigt, handelt es sich durchaus nicht um Sonderbedingungen. Was man sicherlich nicht machen kann, alle Teilkarten zu einer Karte der Grenzlinienbündel übereinanderlegen (Abb. 3.1). Wichtiger wäre eine echte Gefährdungskarte (Abb. 3.2), welche Areale der Gefährdungspotentiale ausweist. Die Erarbeitung solcher Karten kann nicht Aufgabe einer einzelnen Forschergruppe sein. Das lassen folgende zwei Probleme erkennen:

- Der Maßstab sollte möglichst groß sein, das bedeutet hohen Erhebungsaufwand.
- Die erforderlichen Grundlagen sind noch nicht landesweit flächendeckend vorhanden, z.B. gibt es von der Bodenkarte 1 : 25 000 (= BK 25 CH) erst wenige Blätter.

Man könnte versucht sein, einen pragmatischen Weg einzuschlagen, z.B.

- Ermittlung nur in großräumigen Repräsentativgebieten.
- Bodenkartierung und Probenahme kursorisch durchführen.
- Schadenskartierungen im großen Maßstab durchführen, aber Wiederholungen begrenzen oder auf sie ganz verzichten.
- Schadensgrobmessungen aus
  - Formen der Bodenerosion,
  - Feldkastenmessungen.

Diesem pragmatischen Vorgehen, das sich scheinbar aufdrängt, stehen aber Felderfahrungen und die Natur der Bodenerosion selber entgegen: Wenn nämlich die komplexe Raumrealität erfaßt werden und das Ergebnis einen konkreten Raumbezug ausweisen soll (Die Aussage sollte eigentlich "parzellenscharf" sein!), dann müßte eine Karte des Bodenerosionsgefährdungspotentials über einen möglichst großen Maßstab verfügen. Daraus resultiert aber beim "pragmatischen Vorgehen" ein er-



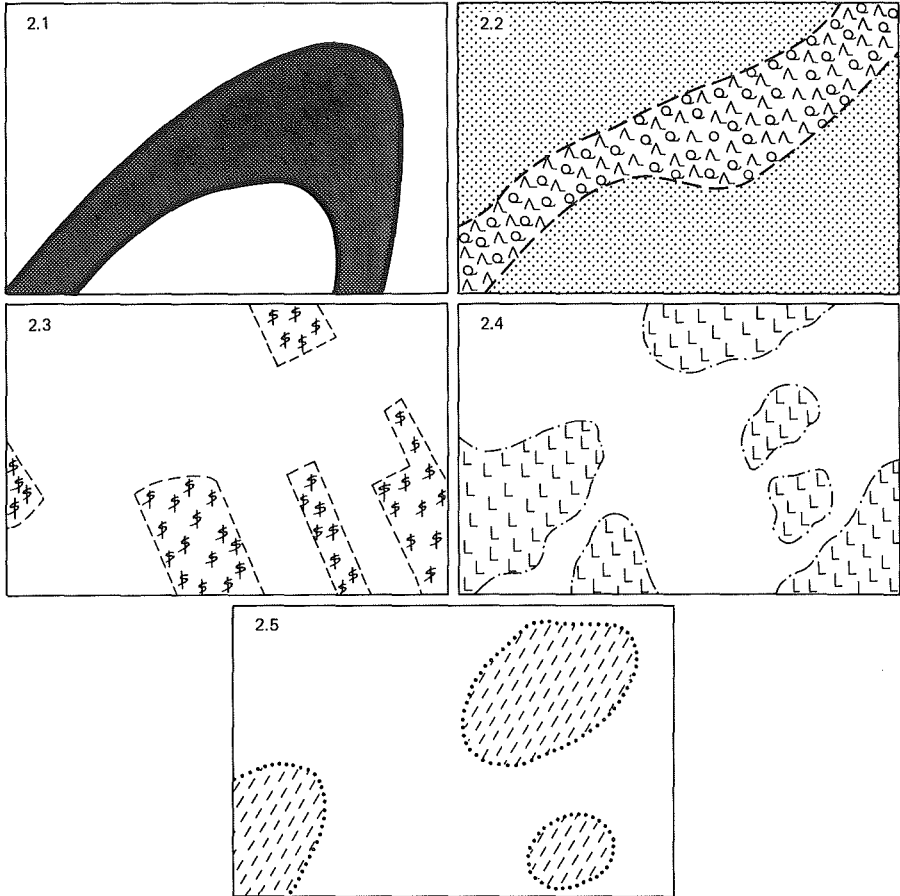


Abb. 2: Wo kann Bodenerosion auftreten?

Der willkürliche Gebietsausschnitt soll deutlich machen, daß auch und gerade unter Normalbedingungen der Landwirtschaft und der Naturraumausstattung Bodenerosion möglich ist. Hauptfaktoren sind (2.1) starke Hangneigungswinkel, (2.2) Ackerland generell, (2.3) erosionsfreundliche Normalkulturen und die erosionsgünstigen Sonderkulturen, (2.4) erosionsfällige Böden und (2.5) die inselhaft auftretenden Starkregenzellen. Wenn alle Faktoren, neben anderen, zusammen auftreten, muß mit starker Bodenerosion gerechnet werden.

heblicher Kartierungs- und Erhebungsaufwand. Möglicherweise wird man aber, auf Grund der Erfahrungen im Basler SNF-Bodenerosionforschungsprojekt, sogar in absehbarer Zeit Wege finden, die zur Problemlösung führen.

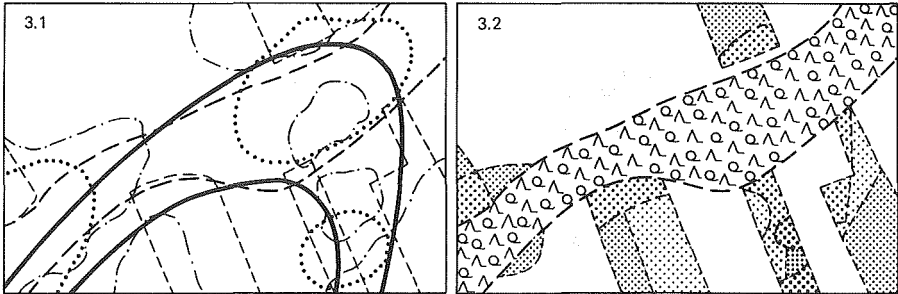


Abb. 3: Prinzip einer Bodenerosionsgefahrenkarte

Legt man alle Einzelfaktorenkarten (2.1 bis 2.5) übereinander, erzielt man eine Überlagerungskarte (3.1), die sich jedoch als wenig aussagekräftig erweist. Eine wirkliche Bodenerosionsgefahrenkarte (Karte des Gefährdungspotentials) muß die Parameter gewichten und Areale der Gefahrenklassen ausweisen, die in Abb. 3.2 als hier nicht gewertete Rasterstufen dargestellt sind.

#### Bekämpfung der Bodenerosion

Bodenerosion - auch jene in den mitteleuropäischen Agrarlandschaften - äußert sich in Verlusten von Nährstoffen, Humus und Material("qualitäten"). Bodenerosion ist demnach bei uns nicht nur ein Reliefformenproblem, sondern offensichtlich und in erster Linie ein Stoff(qualitäts)problem. Wegen der an sich schon kleinen Ackerflächen fällt in der Regel eine Bekämpfung durch Verbau der Schadstellen außer Betracht. Er ist gewöhnlich auch nicht nötig, da diese Schadstellen "verwischt", d.h. sofort zugeackert werden. Es kommt bei uns zu keinen sichtbaren Erscheinungen der Bodenerosion, wie sie uns aus Osteuropa, den USA oder den Entwicklungsländern bekannt sind. Die bei uns übliche "schleichende" Bodenerosion drückt sich aber in nicht sichtbaren Material- und Qualitätsverlusten aus. Die Bekämpfung (Abb. 4) sollte daher durch die Bewirtschaftungsweise erfolgen, d.h. durch die Wahl der Feldfrüchte, die Schlaggrößengestaltung, die Art und den Zeitpunkt des Maschineneinsatzes, aber auch durch Beachtung der Bearbeitungsrichtung. Dies sind nur die wichtigsten Größen, die einen wirksamen Einfluß nehmen können. Ein Verbau drängt sich bei uns lediglich in Steilreliefs auf - sofern dort Bodenerosion auftritt. Dies kann auch in Verbrachungsgebieten geschehen, wie man aus den Bayerischen Alpen weiß. Die "Vergrünlandung" - ohne Pflege des Grünlandes - ist keine Lösung, weil sie auf die Bodenerosion eher fördernd wirkt.

Leider wird der Bodenerosion in der Landwirtschaft z.Z. eine geringe Bedeutung beigemessen, weil ihre wirtschaftlichen Auswirkungen durch andere ökonomische Maßnahmen überdeckt werden. Der Bodensubstanz- und Bodenqualitätsverlust bleibt aber davon unberührt.

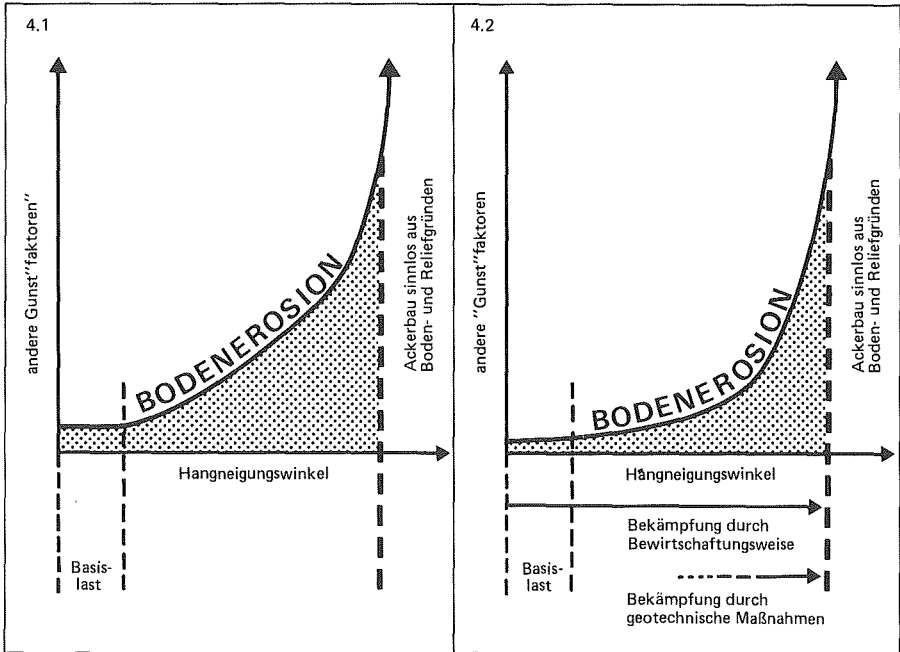


Abb. 4: Bodenerosion und ihre Bekämpfung

Bei der Bodenerosion gibt es drei Bereiche (Abb. 4.1): Die Basislast und damit das bestehende Gefährdungspotential, weil überhaupt geackert wird. Dann einen Bereich in dem, mit Zunahme der Ungunstkorenkonstellation, die Bodenerosion exponentiell ansteigt. Der dritte Bereich fällt als Gefahrenpotential aus, weil das Relief zu steil ist und der Boden für eine Beackerung überhaupt ungeeignet ist. Der gesamte mittlere Bereich der "Normalackerwirtschaft" läßt aber eine Bekämpfung der Bodenerosion durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zu, welche die Kurve der Bodenerosionsgefährdung herabdrücken (Abb. 4.2).

Résumé: Depuis 1978, un programme de recherche du Fonds national pour la promotion de la recherche scientifique porte sur l'érosion du sol dans divers paysages. Cette érosion, processus géo-écologique, est étudiée à l'aide d'une méthode complexe. En Suisse aussi, l'érosion du sol peut se produire sur la presque totalité des surfaces agricoles. Il s'agit donc d'élaborer une méthode permettant de représenter le risque. On explique la carte du risque d'érosion du sol. Cette carte peut être l'un des résultats partiels du programme de recherche. Les recherches fondamentales permettent dès maintenant de juger des méthodes dont dispose le chercheur. En outre, les facteurs principaux de l'érosion du sol ont été décelés.

## Literatur

Forschungsgruppe Bodenerosion, 1986: Schriftenverzeichnis Bodenerosion. Geographisches Institut Basel, Ordinariat für Physiogeographie, Forschungsgruppe Bodenerosion. - Basel, 5 S. (Als Manuskript vervielfältigt).

Leser, H., 1985: Das Basler Bodenerosionsforschungskonzept: Heutiger Stand und akute Probleme. - In: Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 6, S.I-XII.

Rohrer, J., 1985: Quantitative Bestimmung der Bodenerosion unter Berücksichtigung des Zusammenhanges Erosion-Nährstoff-Abfluß im Oberen Langete-Einzugsgebiet (Napfgebiet, südlich Huttwil). - = Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 6, 242 S.

Schmidt, R.-G., 1979: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. Methoden und ihre Anwendung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfeldern und Wallbach (Schweiz). - = Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 1, 240 S.

Seiler, W., 1983: Bodenwasser- und Nährstoffhaushalt unter Einfluß der rezenten Bodenerosion am Beispiel zweier Einzugsgebiete im Basler Tafeljura bei Rothenfluh und Anwil. - = Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd. 5, 510 S.

H. Kienholz (Geographisches Institut der Universität Bern)

### Einleitung

Von der Schweiz aus fasziniert uns in Nepal vor allem das Hochgebirge des Himalaya. Und wir sind beeindruckt von den Naturgewalten, die beispielsweise im Falle von Gletscherausbrüchen (vgl. VUICHARD, ZIMMERMANN, 1986) zu grossen Schäden und Umgestaltungen in der Landschaft führen können.

Grosse Teile der Bevölkerung Nepals leben jedoch im Mittelgebirge. Und wenn etwa Schlagworte zirkulieren wie: "Das wichtigste Exportprodukt Nepals ist Boden" oder "Nepal in der Krise" (BLAIKIE, P. et al., 1980: Nepal in Crisis. Delhi), so bezieht sich das vor allem auf die Situation im Hügelgebiet.

Als Hauptursache für ein grosses Potential von gefährlichen, natürlichen Prozessen werden vor allem die starken tektonischen Hebungen und das subtropische Monsunklima genannt, welches auf der Südabdachung des Himalaya die Gesteinsverwitterung beschleunigt. Häufig wird auch darauf hingewiesen, dass das Gefahrenpotential wegen der starken Abholzung und der Bewirtschaftung von zu steilen Hängen als Folge des Bevölkerungsdruckes stark erhöht wird.

Im Kreise dieser Fragen bewegt sich das Mountain Hazards Mapping Project des Nepal Committee for MAB und der United Nations University. Das Projekt umfasst im wesentlichen die Beurteilung der Hangstabilität und der Naturgefahren in zwei Testgebieten in Nepal sowie die Erstellung von Gefahrenkarten.

Ausgehend von Erfahrungen aus diesem Projekt, das sich vor allem mit Massenbewegungen und Gullyerosion befasst, sollen hier einige Überlegungen zum Thema Bodenerosion in Nepal angestellt werden. Dazu werden auch Untersuchungsergebnisse von Kollegen und Mitarbeitern verwendet (vgl. CAINE, MOOL, 1982, JOHNSON et al., 1982, KIENHOLZ et al., 1983, 1984 und PETERS, MOOL, 1983).

Die meisten Erfahrungen wurden im Kathmandu-Kakni-Testgebiet gewonnen.

## Das Kathmandu-Kakani Gebiet

Das Gebiet befindet sich ca. 8 km NW des Zentrums der nepalesischen Hauptstadt Kathmandu. Es ist mit seiner Höhenlage von 1'100 bis 2'400 m, seinem coupitierten, steilen Relief und seiner Geologie (Gneise, Phyllite und Quarzite) recht typisch für das nepalesische Mittelgebirge.

Die Jahresniederschläge weisen einen klaren saisonalen Zyklus auf: 80 % der Niederschläge fallen in der Periode Juni bis September. Für das Testgebiet betragen diese Monsunniederschläge 1'000 mm (Kathmandu) bis 2'400 mm (Kakani).

Aus diesen Umweltbedingungen erklärt sich die im allgemeinen mächtige Verwitterungsschicht, die im Bereich der Quarzitserie 10 m erreichen kann. Sie schafft gute Voraussetzungen für die Bodenbildung.

Das Gebiet wird von ca. 250 Einwohnern/km<sup>2</sup> bewohnt. Die verschiedenen ethnischen Gruppen angehörende Bevölkerung lebt weitgehend von der Landwirtschaft. Die Landnutzung konzentriert sich hauptsächlich auf den Ackerbau. Die ackerbaulich genutzten Flächen sind terrassiert. Auf irrigierbaren, horizontal ausgeebneten Terrassen wird Reis im Wechsel mit Weizen angebaut. Auf den geneigten Regenfeldbau-Terrassen wachsen im saisonalen Zyklus vor allem Mais, Hirse und Buchweizen. Andere Flächen werden als Weiden genutzt oder sind Ödland. In der landwirtschaftlich genutzten Zone fehlt Wald weitgehend.

## Spezielle Einflussgrößen auf die Hangstabilität und Bodenerosion im Kathmandu-Kakani Gebiet

E. FREI (1980) hat exemplarisch einige Böden untersucht und sie folgendermaßen charakterisiert:

- Bei den seltenen ungestörten Böden handelt es sich um Ultisole (Ustic Palehumults mit tiefem und deutlich horizontiertem Profil) sowie um Alfisole (Ultic und Mollic Paleustalfs).
- Die ackerbaulich genutzten Böden sind meist Inceptisols (Udic Ustochrepts auf nicht irrigierten Terrassen und Aeric Haplaquets auf irrigierten Terrassen).

Die Böden sind fruchtbar, weisen jedoch einen deutlichen Phosphatmangel auf. Die gute Durchlässigkeit der Böden (allgemein geringer Tongehalt) fördert die Einsickerung von Wasser in den Untergrund, was jedoch im Übergangsbereich zu weniger durchlässigem Material oft zu unterirdischer Erosion (Piping) führt. Erosion wird durch die grosse Mächtigkeit der Verwitterungsschicht begünstigt. Für lineare Erosion und für Rutschungen wirken Verhärtungen, Brüche und Klüfte im verwitterten Untergrund als kleintektonische Leitlinien.

Fetzer (1976) hat in seinen Untersuchungen festgestellt, dass die Erosivitäts-Schwellenwerte öfters überschritten werden. Kritische Niederschläge, d.h. Niederschläge, welche bezüglich ihrer Dauer und Intensität für die Auslösung von Rutschungen ausreichen würden, sind jährlich mehrmals zu erwarten. Die Monsunregen bewirken einen verstärkten Interflow mit entsprechendem Strömungsdruck im Juli und August. Dies könnte die Tatsache erklären, dass sich viele Rutschungen in dieser Zeit ereignen. Wichtiger als die unmittelbar mit den Niederschlägen in Zusammenhang stehenden Ereignisse dürften jedoch der allgemeine Anstieg des Grundwasserspiegels während der Monsunzeit sein.

Das massgebliche Substrat, in welchem sich die gefährlichen Prozesse abspielen, weist unter anderem folgende Eigenschaften auf:

1. Das Lockermaterial ist durch In situ-Verwitterung entstanden und lässt oft noch die Struktur des ursprünglichen Festgesteins erkennen.
2. Das Material ist sandig bis siltig, durchsetzt mit unterschiedlichem Anteil an Steinen und Blöcken.
3. Aus einem einfachen bodenmechanischen Modell liessen sich folgende, für die einzelnen Gesteine unterschiedlichen kritischen Hangwinkel ableiten (Tab. 1).

Auch wenn diese Werte wegen ihres modellhaften Charakters mit Vorsicht verwendet werden müssen, ist doch darauf hinzuweisen, dass grosse Teile des Testgebietes Hangwinkel zwischen 20° und 40° aufweisen.

4. Das Material verliert bei Störungen, beispielsweise durch Rutschungen, Erdbeben, Pflügen meist mehr als 50 % seiner Festigkeit.

Lithology	Critical slope angle	
	drained	saturated
Phyllite	32,8°	18,5°
Biotite Gneiss	41,5°	20,8°
Augen Gneiss	44,2°	24,4°
Granite	42,8°	21,8°

Tab. 1. Critical slope angles on debris (CAINE, MOOL, 1982, 164)

### Erosionsprozesse und Erosionsbeträge

Im Untersuchungsgebiet fallen zahlreiche verschiedenartige Erosionsschäden auf, wie Rutschungen, unterirdische Erosion und Oberflächenerosion entlang von natürlichen oder künstlichen Rinnen (Hohlwegen). Alle diese Erscheinungen entwickeln sich in der Regel zu Gullies (Abb. 1).

Der Mensch löst durch die Bewirtschaftung der steilen Hänge und durch das künstliche Einleiten von Wasser in diese Hänge zusätzliche Erosionsprozesse und Massenbewegungen aus, wobei der Schaden häufig bei defekten Irrigationskanälen beginnt. Neben der Gefährdung von Menschenleben, Häusern usw., die mit solchen Prozessen verbunden sind, bedeutet dies vor allem Bodenverlust.

Im Untersuchungsgebiet Kathmandu-Kakani wurde neben eingehenden Studien der Geomorphodynamik, der Rutschungen unter anderem auch eine Geomorphologische Schadenkarte (KIENHOLZ et al., 1983) aufgenommen, welche alle rezenten und deutlich erkennbaren relikten Schäden im Massstab 1:10'000 darstellt.

Zusammen mit den andern Untersuchungen im Rahmen des Projektes erlaubt es diese Aufnahme, einige grobe Schätzungen über den Bodenabtrag vorzunehmen. Dabei geht es um die bedeutenden, sichtbaren Prozesse. Nicht berücksichtigt in dieser Bilanz ist der Abtrag infolge flächenhafter Erosion an der Oberfläche.

Gemäss der Zusammenstellung in Tab. 2 sind vor allem Rutschungen und Gullyerosion für den enormen Abtrag verantwortlich.



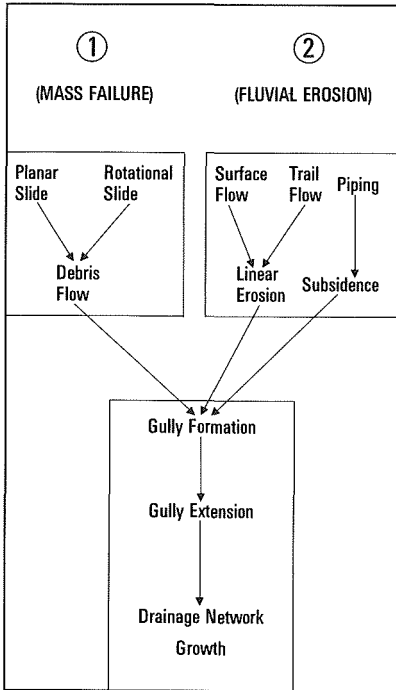


Abb. 1

Prozesse der Gullybildung  
im Kathmandu-Kakani Gebiet  
(CAINE, MOOL 1982)

Durch Abschätzung der "fehlenden" Volumina in den eindeutig auf Erosionsprozesse und Massenbewegungen zurückgehenden Hohlformen und unter der Annahme eines durchschnittlichen Alters der berücksichtigten Hohlformen von 6.5 bis 10 Jahren errechnen sich die totalen jährlichen Bodenverluste infolge der genannten Abtragungsprozesse auf ca. 60 - 95 t/ha/J (Tab. 2). Somit erhält man aufgrund dieser vorläufigen und groben Schätzungen über die ganze Fläche (horizontale Projektion) einen durchschnittlichen jährlichen Abtrag von ca. 4 - 6 mm. Dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, dass das erodierte Material zum Teil noch innerhalb des Gebietes wieder zur Ablagerung kommt und somit der jährliche Nettoverlust deutlich geringer sein dürfte. Die grössten Verluste sind naturgemäss in bereits entblösten Flächen zu beobachten, während im Bereich der gepflegten und intakten Ackerterrassen doch wesentlich kleinere Erosionsraten zu erwarten sind. Genauere Aussagen werden jedoch erst aufgrund von Messungen in Versuchspartellen möglich sein. Und im weiteren muss auch noch geklärt werden, wie weit sich die Reparaturmassnahmen der Bauern auswirken, die zwar oft mit unzulänglichen Mitteln, jedoch mit grosser Beharrlichkeit ausgeführt werden.

Tab. 2 Geomorphologische Schäden in der landwirtschaftlich genutzten Zone des Kolpu Khola Einzugsgebietes (Kathmandu-Kakani Gebiet)  
(nach HAFNER, SCHNEIDER, 1982, 230)

Type of damage	Estimated soil loss	
	tons/ha	mm
Rill erosion	3	0.2
Gully erosion, badlands	199	13.2
Slumps and landslides	389	25.9
Collapsed cultivated terraces	0.7	0.05
Sunken paths	17	1.1
TOTAL due to mass wasting (riverbank erosion not included)	609	40.6

Allgemein kann in Nepal, auch unter Berücksichtigung anderer Projekte (vgl. CARSON 1985) die jetzige Datenlage noch nicht befriedigen, und es ist offensichtlich, dass hier noch viele, systematische Forschungsarbeiten anstehen.

### Résumé

Dans le cadre du Mountain Hazard Mapping Project on s'est intéressé, entre autre, à l'ablation du sol et ses implications par l'homme dans un aire-test des montagnes moyennes de Népal. Les processus de l'érosion ("gullies" et glissements de terrain) qui se jouent surtout dans la roche-mère profondément érodée, convergent, en général, vers la formation des "gullies". Une estimation très approximative permet de conclure à une ablation annuelle de 60 à 95 t/ha (4 à 6 mm par an). La vérification de ces données, ainsi que la question de la capacité de régénération des sols, devront constituer les objets principaux de recherches futures.

## Literatur

Caine, N. & P. Mool, 1982: Landslides in the Kolpu Khola Drainage, Middle Mountains, Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 2, No. 2, S. 157-173, Boulder

Carson, B., 1985: Erosion and sedimentation processes in the Nepalese Himalaya. In: ICIMOD, monograph series No. 1, Kathmandu, 40 S.

Fetzer, K.D., 1977: Die Auswirkungen der Bodenerosion auf die Böden der Gebirgs-umrandung des Kathmandutales und Vorschläge für eine Landeignungsklassifizierung unter Berücksichtigung der soziologischen und ökologischen Bedingungen eines in der Nagarjun Lekh gelegenen Untersuchungsgebietes. Diss., Univ. Giessen, 293 S.

Frei, E., 1980: The properties and the use of the soils in the area of Kathmandu-Kakani. Manuskript (10 S.), Geogr. Inst., Univ. Bern

Hafner, H. & G. Schneider, 1982: Landnutzung und geomorphologische Schäden im Gebiet Kakani-Kathmandu. Unveröff. Diplomarbeit, Univ., Bern

Johnson, K., E.A. Olson & S. Manandhar, 1982: Environmental knowledge and response to natural hazards in mountainous Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 2, No. 2, S. 175-188, Boulder

Kienholz, H., H. Hafner & G. Schneider, 1983: Zur Beurteilung von Naturgefahren und der Hanglabilität - ein Beispiel aus dem nepalesischen Hügelland. In: Gies-sener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Bd. 8, S. 35-55, Giessen

Kienholz, H., H. Hafner, G. Schneider & R. Tamrakar, 1983: Mountain hazards mapping in Nepal's Middle Mountains with maps of land use and geomorphic damages (Kathmandu-Kakani Area). In: Mountain Research and Development, Vol. 3, No.3, S. 195-220, Boulder

Kienholz, H., 1984: Hangstabilitäts- und Gefahrenbeurteilung im nepalesischen Mittelgebirge. In: Internat. Symposium Interprävent, Tagungspublikation, Bd. 2, S. 331-342, Gesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung, Klagenfurt

Kienholz, H., G. Schneider, M. Bichsel, M. Grunder & P.K. Mool, 1984d): Mapping of mountain hazards and slope stability (Kathmandu-Kakani Area). In: Mountain Research and Development, Vol. 4, No. 3, S. 147-266, Boulder

Peters T. & P. Mool, 1983: Geological and petrographic basestudies for the Mountain Hazards Mapping Project in the Kakani-Kathmandu area, Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 3, No. 3, S. 221-226, Boulder

Vuichard, D. & M. Zimmermann, 1986: The Langmoche flashflood, Khumbu Himal, Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 6, No. 1, Boulder



## FOLGEN DER BELASTUNG DER BOEDEN DURCH SCHADSTOFFE (MIT BESONDERER BERUECKSICHTIGUNG DER SCHWERMETALLE) FUER DIE LANDWIRTSCHAFT

H. Häni (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene Liebefeld-Bern)

### Einleitung

Schwermetalle gelangen vor allem durch Niederschläge (einschliesslich Ausfall von Staub und anderen Aerosolen) und durch Stoffe, die dem Boden zugeführt werden (Handels-, Hof- und Abfalldünger sowie Kehrriechkompost) in den Boden. Quellen der Luftbelastung sind metallverarbeitende Industrien, Industrie- und Hausfeuerungen, Müllverbrennungsanlagen sowie der Kraftfahrzeugverkehr. Natürliche Emissionsquellen, wie z.B. Vulkantätigkeit, Bodenerosion und Verwitterung sind für die meisten Metalle vernachlässigbar klein. Nach Lantzy und Mackenzie (1979) übersteigen die anthropogenen Emissionen in die Atmosphäre signifikant jene der natürlichen Emissionen für die Metalle Kupfer, Cadmium, Zink, Arsen, Selen, Antimon, Molybdän, Silber, Quecksilber und Blei.

Da die Schwermetalle im Boden nicht abgebaut werden und die Einträge grösser sind als die Austräge (Pflanzenentzug, Erosion, Auswaschung), findet eine Anreicherung statt. So wird die mittlere jährliche Zunahme der Cadmiummenge in den Böden der Schweiz auf  $0,8 \text{ mg/m}^2$  geschätzt (Bericht einer bundesinternen Arbeitsgruppe, 1984). Nimmt man an, dass diese Menge auf die obersten 20 cm verteilt wird, ergibt dies eine durchschnittliche jährliche Erhöhung des Cadmiumgehaltes von  $3 \text{ } \mu\text{g/kg}$ , wodurch innerhalb von etwa 220 Jahren eine Zunahme um  $0,7 \text{ mg/kg}$  Boden (=ppm) stattfinden würde. Geht man von einem natürlichen Cadmiumgehalt von  $0,1 \text{ ppm}$  aus, würde innerhalb dieses Zeitraumes der gemäss Verordnung über Schadstoffgehalte des Bodens (VSBo) festgelegte Richtwert von  $0,8 \text{ ppm}$  erreicht.

In der Schweiz fehlen z.Zt. noch Angaben über den prozentualen Anteil von Böden, in denen eines oder mehrere Schwermetalle oberhalb des VSBo-Richtwertes liegen. Es sei in diesem Zusammenhang eine deutsche Arbeit zitiert, wonach von 2000 Proben aus Hessen  $0,1\%$  und von 3000 Proben aus Baden-Württemberg  $1,6\%$  Gehalte  $> 3 \text{ ppm}$  Cadmium aufwiesen (Vetter, 1982). Die  $3 \text{ ppm}$  entsprechen einem früheren deutschen Bodenrichtwert (heute beträgt dieser  $2 \text{ ppm}$ ).

Als weitere Problemstoffe bezüglich Bodenbelastung sind das Fluorid (in den Abgasen aus der Aluminiumindustrie) und diejenigen organischen Schadstoffe, die sich durch eine schlechte Abbaubarkeit auszeichnen, von Bedeutung. Dazu gehören die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH), die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen und die halogenierten Kohlenwasserstoffe (bspw. PCB, das in Kunststoffen, Farben und Transformatoren Verwendung findet).

Anschliessend wird versucht, die Folgen dieser Bodenbelastungen für den Boden selbst, für die Pflanzen und Bodenmikroorganismen aufzuzeigen.

### Das Verhalten der Schwermetalle im Boden

Gemäss dem Schema von Hodgson (1963) können die Schwermetalle im Boden folgendermassen gebunden werden:

- Adsorption an Oberflächen anorganischer und organischer Bodenkomponenten;
- Okklusion während der Bildung neuer Festphasen, in welchen die Schwermetalle nicht Hauptbestandteil sind;
- Fällung unter Bildung einer neuen definierten Phase;
- Diffusion in das Kristallgitter von Bodenmineralen;
- Einschluss in biologische Systeme und ihre Rückstände im Boden.

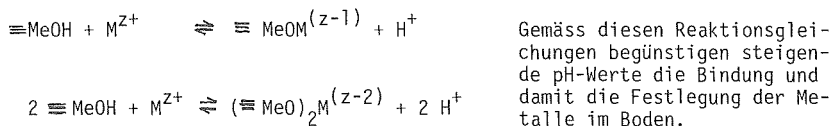
Von diesen Reaktionsmöglichkeiten ist die Adsorption die wichtigste. Sie findet an unspezifischen und spezifischen Bindungsplätzen von Bodenkomponenten statt. Die unspezifische Adsorption, die eine relativ geringe Bindungsstärke aufweist, ist vor allem elektrostatischer Natur. Diese Art von Bindung erfolgt hauptsächlich an Tonmineralen, deren Oberflächen dank isomorpher Substitution im Gitter negativ geladen sind.

Bei der spezifischen Adsorption werden Kationen auch bei positiver Oberflächenladung adsorbiert. Es müssen also Adsorptionskräfte wirksam sein, die sich von einer gewöhnlichen elektrostatischen Anziehung unterscheiden. Entsprechend sind spezifisch gebundene Schwermetalle durch Salzlösungen nicht austauschbar.

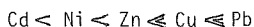
Die spezifische Adsorption kann als eine koordinative Wechselwirkung von Metallionen mit funktionellen Gruppen an Oberflächen anorganischer oder organischer Bodenkomponenten angesehen werden. Es sind dies OH-Gruppen der Eisen-, Aluminium- und Manganoxide sowie vorwiegend Carboxyl- und Phenolgruppen der Huminstoffe.

Die pH-Abhängigkeit der Metallionen-Adsorption erklärt sich aus der Tatsache,

dass die funktionellen Gruppen bei der Metallbindung deprotoniert werden. Für Metalloxide lässt sich dieser Vorgang wie folgt formulieren (Stumm et al. 1976):



Die OH-Gruppen der Metalloxide - je nach pH-Wert positiv, neutral oder negativ geladen - wirken gegenüber Schwermetallkationen basisch. Es ist deshalb verständlich, dass das Ausmass der spezifischen Adsorption an Oxidoberflächen mit zunehmender Acidität der hydratisierten Metallionen in der Reihe



ansteigt (Grimme, 1968).

Eine ähnliche Stabilitätsreihe wird für Metallkomplexe der Huminstoffe angegeben (Scheffer und Schachtschabel, 1982).

#### Verlagerung der Schwermetalle im Bodenprofil

Aus der eben gezeigten Stabilitätsreihe lässt sich die Leichtigkeit, mit der Schwermetalle innerhalb des Bodenprofils verlagert werden, voraussagen. In Tabelle 1 ist die Verteilung von Blei, Cadmium und Zink in einem belasteten sauren Waldbodenprofil und einem belasteten alkalischen Gartenbodenprofil dargestellt. Das Waldbodenprofil ist ungestört, während das Gartenbodenprofil durch Umgraben bis in eine Tiefe von 40 cm gestört ist. Da die Standorte nahe beieinander liegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Grundgehalte in den Schichten 60-80 cm ähnlich sind. Unter dieser Annahme wird deutlich, dass Cadmium und Zink innerhalb des sauren Profils bis in Tiefen von 60-80 cm verlagert werden, während Blei wegen seiner bedeutend stärkeren Bindung an die Bodenpartikel nicht bis in diese Tiefen eingewaschen wird.

Tabelle 1: Blei, Cadmium und Zink in einem belasteten sauren Waldbodenprofil und einem belasteten alkalischen Gartenbodenprofil. Metallgehalte in ppm.

Waldboden Tiefe (cm)	pH	Pb	Cd	Zn	Gartenboden- profil Tiefe (cm)	pH	Pb	Cd	Zn
0 - 2	4,7	1020	3,37	1020	0 - 2	7,3	187	0,97	488
2 - 5	4,6	240	0,84	268	2 - 5	7,5	193	0,92	467
5 - 10	4,5	45	0,37	116	5 - 10	7,5	190	0,85	437
10 - 20	4,3	23	0,25	79	10 - 20	7,5	177	0,81	381
20 - 40	4,3	21	0,22	68	20 - 40	7,5	151	0,67	317
40 - 60	4,2	21	0,21	65	40 - 60	7,7	31	0,15	76
60 - 80	4,4	16	<u>0,20</u>	<u>63</u>	60 - 80	7,9	18	<u>0,08</u>	40

#### Pflanzenaufnahme von Schwermetallen

Die Pflanzenaufnahme folgt dem gleichen Muster wie die Verlagerung innerhalb des Bodenprofils. So nehmen Pflanzen Cadmium, Nickel und Zink relativ leicht aus Böden auf, während Kupfer und vor allem Blei in viel geringerer Masse in die Pflanzen übergehen.

In verschiedenen Gefäßversuchen konnte gezeigt werden, dass neutrale Salzlösungen (bspw. 0,1 M  $\text{NaNO}_3$ ) am besten geeignet sind, in belasteten Böden die biologisch wirksame Schwermetallfraktion zu erfassen (Gupta et al. 1983; Häni and Gupta, 1984; Häni and Gupta 1985). Aus Abb. 1 erkennt man, dass eine 0,1 M  $\text{NaNO}_3$ -Lösung diejenige Cadmiumkonzentration anzeigt, die unabhängig von den Bodeneigenschaften mit der Pflanzenaufnahme in Beziehung gesetzt werden kann. Werden dagegen stärkere Extraktionsmittel, wie bspw.  $\text{NH}_4\text{OAc} + \text{EDTA}$  (pH 4,65) verwendet, erhält man verschiedene Geraden, deren Steigungen von den Bodeneigenschaften abhängen. Das gleiche gilt auch für Lösungsmittel, wie starke Mineralsäuren, die die Schwermetalle praktisch vollständig aus dem Boden herauslösen.

Natriumnitrat hat sich als Lösungsmittel neben dem Cadmium auch für die Erfassung biorelevanter Zink-, Kupfer- und Nickelkonzentrationen bewährt.



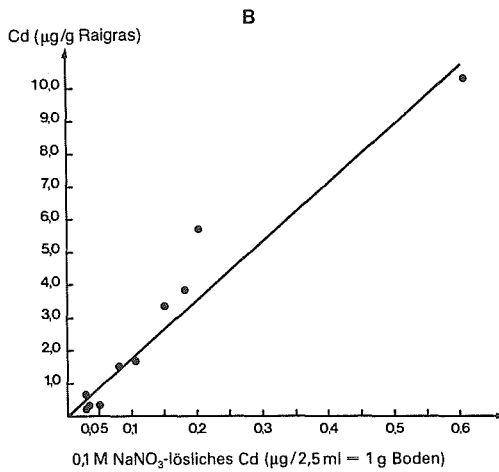
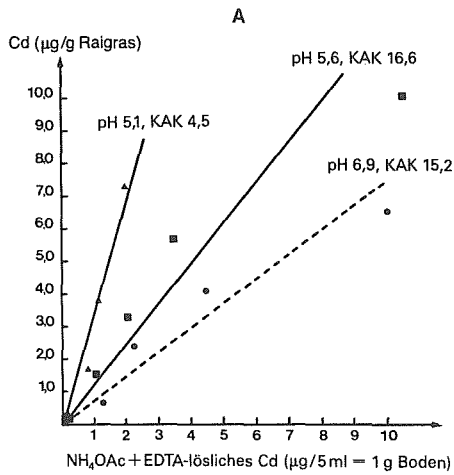


Abb. 1 Abhängigkeit der Cadmium-Konzentration in Raigras von den  $0,1 \text{ M NaNO}_3$ -löslichen Cadmium-Gehalten dreier Böden

Von einem gesundheitsschädigenden Risiko für Mensch und Tier muss dann gesprochen werden, wenn die auf schwermetallbelasteten Böden gewachsenen Pflanzen Gehalte aufweisen, die nach toxikologischen Erkenntnissen nicht mehr verantwortbar sind. Cadmium ist ein Metall, dem in diesem Zusammenhang besondere Beachtung zu schenken ist, indem die Pflanzen, ohne selbst wesentlich geschädigt zu werden, Mengen aufnehmen, die für den Konsumenten bereits kritisch sind. Die Elemente Kupfer, Nickel und Zink dagegen wirken zuerst auf Pflanzen und erst nachher auf Warmblüter toxisch, d.h. die phytotoxische Schwelle dieser Elemente ist tiefer als die zootoxische Schwelle.

Wirkung von Schwermetallen auf Bodenmikroorganismen

Aehnlich wie die Metallkonzentrationen in der Bodenlösung (0,1 M NaNO<sub>3</sub>) zu den Pflanzengehalten in Beziehung stehen, reagieren auch die Bodenmikroorganismen auf lösliche Bodengehalte. Tabelle 2 veranschaulicht diese Aussage.

Tabelle 2: Wirkung von Cadmium in der Bodenlösung auf die prozentuale C-Mineralisierung (Gupta et al. 1985).

	Boden	
	Sandiger Lehm pH 5,7	Sandiger Lehm pH 7,0
% C Mineralisierung	59	101
Total zugefügtes Cd (mg/kg Boden)	16	16
Lösliches Cd (mg/kg Boden)	0,61	0,05
KAK (mval/kg Boden)	80	124

Die Bodenmikroorganismen reagieren besonders empfindlich auf Kupfer. So wurde festgestellt, dass die lösliche Bodenkonzentration, die eine Reduktion der C-Mineralisierung um 20% bewirkte, siebenmal tiefer war als die Konzentration, die zu phytotoxischen Gehalten von 20 ppm in Pflanzen führte.

## Böden aus Kontaminationsgebieten

Wurden in den bis jetzt zitierten Versuchen mit Pflanzen und Bodenmikroorganismen die Schwermetalle als Salzlösung dem Boden zugeführt, sind in Tabelle 3 und Abb. 2 Resultate eines Versuches wiedergegeben, in dem Böden aus verschiedenen Kontaminationsgebieten in Gefässe eingefüllt und mit Rettich bepflanzt wurden (Häni and Gupta, 1985). Die Analyse des Rettichs auf Cadmium, Zink, Nickel und Blei zeigte nur für Cadmium und Zink Gehalte, die in einigen Fällen deutlich über den natürlichen Gehalten lagen. Damit ist erneut die relativ grosse Mobilität dieser Schwermetalle in Böden dokumentiert.

**Tabelle 3:** Einfluss von Zink in Böden - angereichert aus verschiedenen Kontaminationsquellen - auf Zinkgehalt und Wachstum von Rettichknollen (Bodeneigenschaften, s. Abb.2)

Verschmutzungs- quelle	Totalschwermetallgehalte				Rettichknollen		Boden Nr.
	Boden (ppm)				mg Zn/kg TS	Ertrag (g/Gef.)	
	Pb	Ni	Cd	Zn			
Verzinkerei: A	34.8	23.3	0.60	885	114.7	27.97	1
Verzinkerei: B	33.8	10.0	0.43	217	<u>521.2</u>	<u>11.67</u>	2
Autobahn: C	47.5	28.6	0.25	84.6	33.7	29.88	3
Autobahn: D	40.2	18.3	0.14	51.9	181.0	28.85	4
KVA: E	56.8	40.9	0.53	118	37.5	35.38	5
KVA: F	42.4	14.7	0.34	74	70.1	28.09	6
Kompost: G	610	75.8	6.1	1212	89.7	33.29	7
Klärschlamm: H	28.9	30.0	0.37	77.2	30.5	28.12	8
Klärschlamm: I	172	42.7	6.1	612	69.8	34.69	9
Klärschlamm: K	79.5	16.3	0.51	121	67.6	30.60	10

In Abb. 2 findet sich bestätigt, dass der Totalgehalt des Zinks im Boden in keiner Weise eine Abschätzung der Bioverfügbarkeit erlaubt. Dies gilt vor allem für Böden 4 und 7: Wegen ungünstigen Eigenschaften von Boden 4 (sauer, KAK tief) führen bereits 51,9 ppm Totalzink zu 1,91 ppm löslichem Zink mit entsprechend hohem Gehalt in den Rettichknollen. Die Eigenschaften von Boden 7 dagegen (alkalisch, KAK hoch) verhindern eine namhafte Zunahme der löslichen Fraktion sogar bei einem Totalgehalt von 1212 ppm.

In den auf Boden 2 mit den höchsten löslichen Zinkgehalten (0,1 M NaNO<sub>3</sub>) gewachsenen Rettichknollen können aufgrund des tiefen Ertrags (s. Tabelle 3) toxische Wirkungen nicht ausgeschlossen werden.

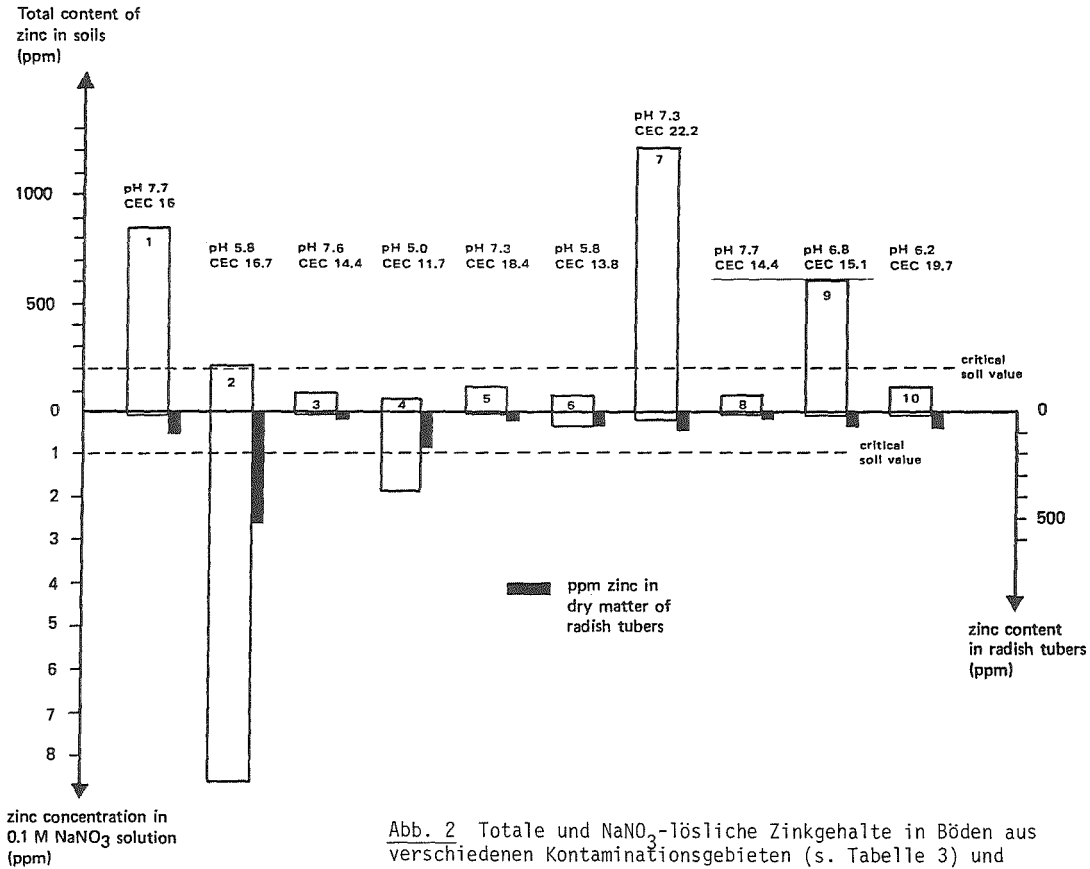


Abb. 2 Totale und NaNO<sub>3</sub>-lösliche Zinkgehalte in Böden aus verschiedenen Kontaminationsgebieten (s. Tabelle 3) und Zinkgehalte in Rettichknollen (mg/kg Trockensubstanz)

## Fluor

Fluor gelangt als Fluorid in den Boden. Hier beruht seine ausgeprägte Reaktionsfreudigkeit auf der Komplexbildung mit Aluminium. Dadurch wird einerseits der Ton-Humus-Komplex, worin dem Aluminium als Brückenatom eine grosse Bedeutung zukommt, angegriffen, andererseits erfahren auch gewisse Tonminerale nicht unwesentliche Veränderungen (Häni, 1975). Das Herauslösen von organischer Substanz aus dem Boden durch Fluorid als Folge der Reaktion mit dem Ton-Humus-Komplex ist als besonders schwerwiegend anzusehen. In sauren Böden wurde zudem eine Fluoridaufnahme durch die Pflanzen über die Wurzeln nachgewiesen.

## Organische Schadstoffe

Im Vergleich zu den Schwermetallen ist das Wissen über organische Schadstoffe noch recht lückenhaft. Es sei auf die Zusammenstellung im Pilotprojekt 3 des NFP 22 (Die Belastung der Böden mit Schadstoffen, 1984) verwiesen. Danach ist zwischen dem Eintrag aus der Atmosphäre (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, halogenierte Kohlenwasserstoffe, metallorganische Verbindungen) und demjenigen durch die landwirtschaftliche Praxis (Pestizide) zu unterscheiden. Steht bei den Pestiziden nicht die Problematik der Akkumulation im Boden im Vordergrund, muss doch der Frage der Beeinflussung der Mikroorganismenpopulationen ernsthaft nachgegangen werden. Schwer abbaubare synthetische organische Schadstoffe gelangen zusätzlich zum Eintrag aus der Atmosphäre via Verwertung von Siedlungsabfällen auf die landwirtschaftlich genutzten Böden. Zur Zeit ist weitgehend unbekannt, welche Mengen über diesen Weg in die Böden gelangen, welche Umsetzungen im Boden stattfinden und wie sich diese auf Bodenlebewesen, Pflanzen und Tiere auswirken können.

## Massnahmen

Die Massnahmen zum qualitativen Schutz der Böden müssen darauf abzielen, den Boden auch für spätere Generationen in einem gesunden und fruchtbaren Zustand zu erhalten. Dazu kann jeder einzelne durch umweltbewusstes Handeln, der Bauer durch einen gut überlegten, gezielten und wohldosierten Hilfsstoffeinsatz auf seinem Betrieb beitragen.

Auf gesetzlicher Ebene ist dank des anfangs 1985 in Kraft gesetzten Umweltschutzgesetzes einiges in Bewegung geraten. Verschiedene Verordnungen, die 1986 im Zusammenhang mit diesem Gesetz erlassen werden, enthalten eine Reihe von Vorschriften

ten, welche für den Schutz des Bodens von grosser Bedeutung sind: Luftreinhalteverordnung, Stoffverordnung, Verordnung über Schadstoffgehalte des Bodens. Als Bestandteil dieser letzten Verordnung ist das Bodenüberwachungsnetz (NABO) zu erwähnen.

Zudem ist die Forschung (ein Anfang stellt das Nationale Forschungsprogramm "Boden" dar), die Beratung an Schulen, Kursen und in Medien zu intensivieren.

### Résumé

#### CONSEQUENCES POUR L'AGRICULTURE DE LA CHARGE DU SOL EN POLLUANTS (PLUS PARTICULIEREMENT LES METAUX LOURDS)

---

Les métaux lourds d'origine anthropogénique finissent par arriver dans le sol où ils s'accumulent. Une pollution du sol par ces métaux signifient non seulement un danger pour les plantes, et indirectement pour les hommes et les animaux supérieurs, mais bien pour l'ensemble de la biocénose de ce sol.

Les recherches sur le comportement des métaux lourds dans le sol sont importantes pour comprendre leur mobilité, car c'est par elle qu'on pourra le mieux estimer les risques de lessivage, de même que l'ordre de grandeur de leur action biologique.

Pour cela, on présente la répartition des métaux lourds dans un profil du sol et les résultats d'essais effectués avec des plantes ayant poussé dans des sols dont les sources de contamination étaient différentes (industries métallurgiques, installations d'incinération des ordures, autoroutes, composts, boues d'épuration) ces résultats confirment ceux d'essais effectués dans des vases de végétation avec des sols contaminés artificiellement à l'aide de solutions de sels de métaux lourds. Il ressort que l'effet biologique des métaux lourds dans divers sols se laisse le mieux prévoir à partir des fractions extraites à l'aide de solvants non agressifs (des solutions de sels neutres par exemple). Des résultats des mesures de la minéralisation du carbone faites en laboratoire servent comme illustration de l'influence des métaux lourds sur les processus microbiens dans les sols.

Avant la discussion des mesures possibles pour réduire l'apport des polluants dans l'environnement, on présente encore un court aperçu de la problématique des polluants organiques et du fluor.

## LITERATUR

- Hodgson J.F. 1963: Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Adv. in Agronomy* 15, 119
- Grimme H. 1968: Die Adsorption von Mn, Co, Cu und Zn durch Goethit aus verdünnten Lösungen, *Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde* 121, 58
- Häni H. 1975: Wechselwirkungen von Fluorid mit einem mineralischen illithaltigen Boden und Veränderungen in den darauf wachsenden Maispflanzen. *Schweiz. Landw. Fo.* 14, 189
- Stumm W., Hohl H. and Dalang F. 1976: Interaction of metal ions with hydrous oxide surfaces. *Croatica Chemica Acta* 48, 491
- Lantzy R.J. und Mackenzie F.T. 1979, *Geochim. Cosmochim Acta* 43, 511
- Scheffer F. und Schachtschabel P. 1982: *Lehrbuch der Bodenkunde*. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart
- Vetter H. 1982: Schwermetalle in der Nahrungskette. Belastungsgrenzen für Pflanzen. *Landwirtsch. Forsch., Sonderh.* 39, Kongressband, 12
- Gupta S.K., Häni H. und Siegenthaler A. 1983: Bedeutung von Gesamt- und biorelevanten Schwermetallgehalten zur Festlegung von Richtwerten in Böden. *Schweiz. Landw. Fo.* 22, 177
- Bericht einer bundesinternen Arbeitsgruppe, 1984: Cadmium in der Schweiz, *Schriftenreihe Umweltschutz*, Nr. 32. Herausgegeben vom Bundesamt für Umweltschutz
- Die Belastung der Böden mit Schadstoffen, 1984: Nationales Forschungsprogramm NFP 22 Nutzung des Bodens in der Schweiz, Pilotprojekt 3. Bearbeiter: Manuela Schneider (EAWAG, Dübendorf), Anton Candinas (FAC), André Desaulles (BUS/FAC)
- Häni H. and Gupta S.K. 1984: Choice of an extractant for simulating the availability and absorption of heavy metals by plants. In *processing and use of sewage sludge* (P. L'Hermite and H. Ott, Eds) 387. D. Reidel, Dordrecht, Holland
- Gupta S.K., Häni H. and Rudaz A. 1985: Relationship between metal ion concentration and biological effects. *Proc. of Int. Conf. on Heavy Metals in the Environment*. Athens. Publ. CEP Consultants Ltd. (in press)
- Häni H. and Gupta S.K. 1985: Chemical methods for the biological characterization of metal in sludge and soil. In *processing and use of sewage sludge*, 4th International Symposium Rome, 8-11 October (in press)





## LA RECHERCHE DE RENDEMENTS ELEVES EST-ELLE PREJUDICIALE AU SOL ?

J-A. Neyroud (Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Changins  
CH - 1260 Nyon)

### Introduction

Dans de nombreux milieux, la question posée par le titre de cette communication reçoit une réponse affirmative péremptoire. Celle-ci est parfois étayée par une argumentation fondée, mais elle est le plus souvent de nature émotionnelle. En effet, le concept "sol" est diversement perçu dans notre société : le sol est à la fois le milieu de croissance des végétaux assurant notre alimentation, et le milieu sur lequel nous nous mouvons, que nous façonnons et modifions à notre gré, au risque parfois de lui porter des atteintes irrémédiables.

Le sol est un bien limité. L'agriculteur tente de le faire produire au mieux, la population citadine s'en attribue sans cesse d'importantes portions pour ses besoins démographiques, la croissance des entreprises mobilise des surfaces supplémentaires, et chacun de ces groupes participe à la lente dégradation de l'environnement. Il est dès lors normal que les préoccupations sur la qualité de nos sols soient partagés par chacun, et il est humain que chaque groupe tente de faire porter aux autres groupes la responsabilité des dégâts causés. Cet aspect politique obscurcit souvent le débat.

Il est indéniable que la production agricole a connu un accroissement spectaculaire durant les dernières décennies (Conseil Fédéral, 1984). Des rendements élevés, de nouvelles espèces, de plus grosses machines, des moyens techniques d'avant-garde, font désormais partie du paysage traditionnel de notre agriculture.

Les causes de cette évolution ne seront pas analysées ici. Nous nous bornons à nous demander si l'intégrité du sol est gravement remise en question par la recherche systématique de rendements élevés.

## La recherche de rendements élevés

Il est généralement admis que les niveaux de rendements ont doublé au cours des cinquante dernières années. On s'accorde pour attribuer environ 50 % de cette augmentation au progrès génétique, et le reste aux techniques culturales: travail du sol, fertilisation, protection phytosanitaire,...

L'appréciation du succès d'une culture en termes de rendement physique seulement est sujette à caution : qu'en est-il de la qualité des produits récoltés ? Plusieurs travaux montrent en effet qu'il y a une liaison inversement proportionnelle entre rendement et qualité; citons par exemple le cas de la vigne (forte charge sur le cep souvent liée à une plus grande acidité et à une relative pauvreté en sucres, MURISIER, 1985), ou celui des cultures maraîchères intensives, dont la saveur et la qualité des produits est parfois moindre (NEYROUD *et al.*, 1985).

A part quelques cas précis, il est difficile de soutenir que la recherche de rendements élevés est incompatible avec le maintien ou l'amélioration de la qualité. En fait, si la mesure du rendement physique est la plus facile à effectuer, il n'en demeure pas moins que l'appréciation de la qualité reste une préoccupation majeure, comme en témoignent les deux exemples suivants :

Betterave sucrière : Presque tous les essais conduits avec cette culture sont interprétés en fonction du rendement en tonnes/ha de racines, du % de sucre brut, du % de sucre cristallisable et du rendement en sucre brut et en sucre cristallisable. Il est périodiquement question de remplacer le mode de paiement au sucre brut produit par un paiement au sucre cristallisable. Les rendements en betterave sucrière ont certes augmenté, mais il en est de même de la production en sucre à l'unité de surface. L'attention portée au taux de sucre cristallisable indique bien que le rendement physique accru n'est pas le seul but visé, mais qu'il s'agit plutôt d'une recherche de rendement optimal, limitant au maximum les pertes survenant au cours des opérations industrielles de raffinage du sucre.

Céréales panifiables : Il existe un assortiment de variétés dites "officielles" dans notre pays, possédant chacune un certain nombre de propriétés (rendement, précocité, résistances diverses,...), qui déterminent leur prix d'achat par la Confédération. Les variétés récemment admises présentent des améliorations de la plupart des propriétés testées, dont bien sûr le rendement et la qualité.

Les préoccupations quant à la qualité de la farine sont au centre d'un vaste débat : il n'est pas certain que le taux de protéines - mesuré par le dosage selon Kjeldahl de l'azote total du grain - soit suffisant. C'est plutôt la nature des acides aminés formant les protéines qui serait le critère décisif. La réponse à la question n'est pas encore connue, mais le débat lui-même montre l'importance attribuée à la qualité des céréales panifiables; (FOSSATI *et al*, 1984).

Le public oublie fréquemment le fait qu'un rendement élevé ne s'obtient pas sans une qualification professionnelle élevée de l'agriculteur. Connaissances techniques, connaissances sur le sol et les plantes, capacités d'observation de la culture, mise en oeuvre rationnelle des moyens disponibles, tout cela est devenu indispensable.

En résumé, la recherche de rendements élevés n'est pas un but en soi, elle est indissolublement liée au développement des connaissances et des capacités des praticiens et de leur encadrement technico-scientifique. En ce sens, elle constitue un progrès pour notre société.

#### La notion de qualité du sol

Le développement des pratiques agricoles remonte à des temps reculés : maîtrise de l'hydrologie chez les Nabatéens, Ulysse rentrant de Troie et retrouvant son vieux chien Argo assis sur le tas de fumier,... Depuis longtemps la qualité du sol se mesure à son aptitude à assurer la subsistance de la population.

La Science pédologique est née il y a environ 100 ans; elle s'est progressivement séparée de la géologie, pour devenir une discipline autonome carrefour de nombreuses autres sciences (biologie, biochimie, physique, chimie,...). De nos jours, elle offre un vaste éventail de moyens et de méthodes à qui désire mesurer la qualité du sol.

Au début de ses travaux, la pédologie a étudié des sols "naturels", leur genèse et leur évolution. De nos jours, il est particulièrement difficile de trouver un sol naturel : même nos forêts ont été déboisées et replantées dans un passé encore récent.

Les propriétés originales du sol sont souvent modifiées par les pratiques humaines : un sol brun lessivé à pseudogley régale les yeux du pédologue pur, mais fait le désespoir du cultivateur, qui espère l'améliorer par un réseau de drainage judicieux. La qualité est donc une notion subjective, dépendant d'un ordre de valeurs choisies par l'expert :

- pour l'agriculteur, un sol de qualité est un sol sur lequel il est possible d'obtenir des rendements optimaux (élevés) compte tenu de la situation climatique, et ceci de manière durable;
- pour le naturaliste, un sol de qualité est un sol qui abrite une flore ou une faune intéressante et peu répandue.

#### La liaison rendement élevé - qualité du sol

Personne ne contestera qu'un rendement élevé ne puisse être obtenu ailleurs que sur un sol de qualité satisfaisante. Ce qui est remis en question par plusieurs milieux est le fait que la recherche de rendements élevés soit un objectif à court terme, dont la satisfaction masque une lente détérioration de la qualité des sols : de nombreuses propriétés des sols ne se modifient que lentement, ce qui rend tout diagnostic difficile.

Trois ensembles de facteurs peuvent modifier les propriétés des sols : les pratiques de fertilisation, l'entretien de l'activité biologique et les actions mécaniques.

Pratiques de fertilisation L'apport d'éléments fertilisants est indispensable, ne serait-ce que pour compenser les exportations de la récolte précédente. VEZ (1977) rapporte les conclusions d'un colloque international sur les essais de fertilisation de longue durée, montrant que la non-fertilisation est préjudiciable : baisse de rendement, de l'humus et de l'activité biologique. La fumure minérale s'avère un précieux complément.

Tout écosystème subit d'inévitables pertes : les éléments chimiques en solution sont soumis au lessivage par les eaux de drainage. A cet égard, les apports de fertilisants peu solubles ou organiques sont bénéfiques, mais leurs effets sur les rendements souvent décevants. Les recommandations de fumure tiennent compte de ces deux faits et tentent de limiter les pertes tout en visant des rendements acceptables. Ces normes sont périodiquement adaptées pour mieux tenir compte soit de la protection de l'environnement (réduction en viticulture), soit des exigences accrues des variétés à hauts rendements (Bore pour la betterave sucrière).

Il est clair que les pertes sont plus importantes en terre ouverte que sous une végétation pérenne, mais on se souviendra également qu'un sol forestier, non fertilisé, est souvent dix fois plus acide (une unité de pH) qu'un sol agricole.

Un excès de fumure peut provoquer un phénomène de salinité du sol, ou modifier la composition botanique d'une prairie, mais il est difficile de le relier à une baisse de qualité du sol. Par contre, il n'est pas certain que la qualité des végétaux produits ne soit pas influencée par les pratiques de fertilisation: recours à des engrais à haut titre et haute pureté, relativement pauvres en oligo-éléments,...

Activité biologique, taux d'humus L'activité agraire apporte sans aucun doute des perturbations majeures aux cycles biologiques et biochimiques du sol. L'intensification de cette activité aggrave bien sûr l'étendue de ces perturbations. Ceci est notamment le cas en matière de phytopathologie, où le développement de champignons et de nématodes parasites est lié aux déséquilibres causés par les techniques agronomiques, et où les mesures de correction (rotations,...) ne parviennent pas à rétablir les équilibres initiaux des biocénoses. Il peut même arriver que certains sols soient contaminés, comme par exemple des sols viticoles par le cuivre (QUINCHE 1985).

En dernière analyse, la simplification excessive des méthodes culturales - assolement simplifié à l'extrême, prééminence de l'économique sur l'agronomique dans la prise de décision - peut être à l'origine d'une baisse de qualité du sol. Malheureusement, ce risque est difficile à mettre en évidence, faute de méthodes idoines.

Les anciennes plaines marécageuses transformées en terres labourées méritent une mention particulière. Le drainage, la fertilisation, l'aération par le travail du sol modifient l'évolution de la matière organique et aboutiront à terme à la disparition de ces sols.

Des développements récents en matière de conseil de fumure azotée ont mis en évidence la nécessité d'une bonne connaissance des processus biochimiques se déroulant dans le sol. En effet, des paramètres nouveaux, comme l'histoire culturale récente, la fréquence des apports organiques passés, la présence de prairie dans la rotation, l'objectif moyen de rendement,... sont pris en compte dans la réflexion. Ils montrent que l'engrais, souvent bon marché, ne suffit plus à assurer le bon rendement, mais qu'une réflexion sur le potentiel de production de sol est indispensable : de nouveaux termes entrent dans le vocabulaire courant : azote mobilisable, "turnover" de la matière organique,...

Dans le même temps, les inhibiteurs de nitrification, bloquant sélectivement l'activité de la bactérie *NITROSOMONAS*, ne sont pas homologués en Suisse, par crainte d'un possible effet secondaire sur la vie du sol.

Propriétés physiques L'intensification comporte des risques d'atteinte à l'intégrité physique des sols : la stabilité structurale, la densité apparente, la résistance à la pénétration peuvent subir d'importantes altérations. La sanction est souvent immédiate sur le rendement des cultures (REUST et NEYROUD, 1981), elle se manifeste également sur le long terme, comme en atteste le relevé statistique de nos mesures de tassement (28 paires de sols).

	SOLS SAINS	SOLS TASSES
Poids de 100 cm <sup>3</sup> au prélèvement (g)	170	179
Poids sec de 100 cm <sup>3</sup> (g)	136	144
Porosité au prélèvement (%)	14	11
Porosité totale (%)	50	47
Perméabilité (cm/h)	36	17
Indice S d'instabilité	1,3	1,7
Indice K de stabilité	8,8	8,6

Il convient de préciser que ces risques sont nettement perçus par la pratique agricole et la technique des machines (nouveaux pneumatiques par exemple).

#### Conclusion

L'hypothèse avancée dans le titre a-t-elle été vérifiée ?

Dans certains cas particuliers, il y a effectivement baisse de qualité : plaines organiques drainées, "quasi-monoculture" avec traitements chimiques répétés, machines mal adaptées aux sols,... Pour le reste, les craintes émises sont déjà prises en compte par la recherche agronomique, qui a pris conscience des limites de la technique dans sa capacité à compléter le potentiel naturel du sol.

Les atteintes possibles à l'intégrité physique et biologique des sols sont interprétés en termes de RISQUE; il s'en suit qu'on ne recherche plus systématiquement la maximalisation du rendement, mais plutôt son OPTIMALISATION. Le sol, bien vital menacé, doit conserver sa fertilité naturelle sur le long terme. L'accumulation de connaissances scientifiques nouvelles a été spectaculaire. Grâce à ces travaux, de judicieux conseils peuvent être donnés. La notion de risque, basée sur un diagnostic rigoureux et vérifié par l'expérimentation, permet une démarche orientée vers le progrès. Se contenter d'exprimer des craintes n'est pas suffisant.

Zusammenfassung In einigen bestimmten Fällen erzeugt das Streben nach hohen Erträgen eine Verminderung der Bodenqualität : organische Böden der Talebenen, Quasi-Monokultur, zu schwere Maschinen,... Bei den anderen Fällen ist die Forschung dabei, diese Befürchtungen abzuklären, und das Ertragspotential zu untersuchen. Veränderungen im Boden werden als tragbare bzw. untragbare Risiken interpretiert, aus denen eine Ertragsoptimierung abgeleitet wird. Die Kenntnisse sind jetzt grösser geworden, und erlauben eine bessere Schätzung des Risikos.

### Bibliographie

- Conseil Fédéral, 1984: Sixième rapport sur l'agriculture.
- FOSSATI A., PACCAUD F.X., SAURER W., WEILENMANN F., FRIED P.M., WINZELER H., JAQUIERY R., 1984: Bernina, nouvelle variété de blé d'automne à haut rendement. *Revue Suisse Agric.* 16. 141-144.
- MURISIER F. 1985; Limitation du rendement en viticulture. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 17. 181-187.
- NEYROUD J.A., COLLET G.F., GRANGES A., JELMINI G., QUINCHE J.P., 1985; Etude de quelques causes d'accumulation des nitrates dans la laitue pommée. *Rech. Agronom. en Suisse* 24. 7-25.
- QUINCHE J.P. 1985: Teneurs en Cu, Zn, Pb, Cd et Hg des sols de quelques vignes de la Suisse Romande et du Tessin. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 17. 341-344.
- REUST W., NEYROUD J.A. 1985: Effets du tassement du sol sur la croissance de la pomme de terre et les propriétés physiques de la rhizosphère. *Revue Suisse Agric.* 17. 273-278.
- VEZ A. 1977: Colloque international sur les essais de fertilisation et de rotation de très longue durée, Paris 1986. *Chronique. Revue Suisse Agric.* 9. 28-30.





## MÖGLICHKEITEN UND MASSNAHMEN ZUR SICHERUNG DER PFLANZENBAULICHEN ANSPRÜCHE BEI DER REKULTIVIERUNG VON BÖDEN

F. Jäggli (Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau,  
Zürich-Reckenholz)

### Zusammenfassung

Saat, Pflanzenwachstum und Ernte sind pflanzenbauliche Stadien, aus denen die Ansprüche an Rekultivierungen und Bodenverbesserungen abgeleitet und beurteilt werden können. Ordnet man diesen Entwicklungsstufen die entsprechenden Bodeneigenschaften zu, so kommt man zu folgenden Paarbildungen:

Saat	Bearbeitbarkeit und Nährstoffzustand der Ackerkrume
Pflanzenwachstum	Geordneter Wasser- und Lufthaushalt des Bodens
Ernte, Ertrag	Genügendes Wasserspeichervermögen des Bodens

Bearbeitbarkeit und Nährstoffzustand der Ackerkrume:

Zur Erreichung optimaler Saat- und Auflaufbedingungen sollte die Ackerkrume möglichst folgende Zusammensetzung und Eigenschaften aufweisen:

- |  |   |
|--|---|
| a) Bodenart: Sandiger Lehm                       | (Tongehalt 20 %)  |
|  | (Schluffgehalt 50 %)  |
|  | (Sandgehalt 30 %)   |
| b) Steine:                                       | Grösster Steindurchmesser bis 5 cm  |
|  | Steingehalt bis 10 Vol %  |
| c) Bodenstruktur:                                | Krümelgefüge  |
| d) org. Substanz:                                | 3 bis 10 %  |
| e) pH-Wert (H <sub>2</sub> O):                   | 6 bis 7,5   |
| f) Versorgungsgrad mit Pflanzen-<br>nährstoffen: | genügend<br>Bei kalkreichem Material ist besonders die Versorgung mit Spurenelementen zu beachten |

#### Geordneter Wasser- und Lufthaushalt:

Eine genügende Durchwurzelung des Bodens ist nur gewährleistet, wenn

- das überschüssige Regenwasser absickern kann und eine genügende Durchlüftung des Bodens stattfindet. Dazu ist normalerweise ein Anteil von 5 bis 10 Vol % sickerfähiger Poren (0 - 0.03 mm) nötig.
- die Lagerungsdichte der festen Bodenbestandteile nicht zu gross ist, d.h. das Trockenraumgewicht (scheinbare Dichte) nicht mehr als 1.3 bis 1.5 kg/dm<sup>3</sup> beträgt.

#### Genügendes Wasserspeichervermögen:

Soll ein guter Ertrag gewährleistet sein, muss der Boden ein genügendes Wasserspeichervermögen besitzen. Damit eine Kultur auch eine zwei- bis dreiwöchige Trockenperiode ohne wesentliche Ertragseinbusse übersteht, ist ein Speichervermögen von rund 80 mm leicht verfügbaren Wassers nötig oder als Bodenmächtigkeit ausgedrückt, rund 80 cm pflanzennutzbare Gründigkeit.

Um diese Ansprüche zu befriedigen, sind bei der Rekultivierung von Böden im wesentlichen die folgenden Grundsätze zu beachten:

- 1.) Zur Sicherung der Wegfuhrmöglichkeit von überschüssigem Wasser soll den Rekultivierungsflächen ein Gefälle von etwa 5 % gegeben werden.
- 2.) Zur Sicherstellung einer ausreichenden Bodenmächtigkeit ist für genügend Bodenmaterial zu sorgen.
- 3.) Um insbesondere die Bodenstruktur aufzubauen und eine geeignete Porosität des Bodens zu erhalten, sollen die Rekultivierungsflächen nie im nassen Zustand bearbeitet werden, immer möglichst begrünt überwintern, d.h. die Rekultivierungsarbeiten sollen nicht vor anfangs April aufgenommen und nicht später als Mitte September abgeschlossen werden.
- 4.) Bewährt hat sich das mehrstufige Rekultivierungssystem mit der biologischen Voraktivierung im Herbst und dem Humusauftrag im kommenden Frühling.



