

# BULLETIN

---

# 12

JAHRESTAGUNG VOM  
25./26. FEBRUAR 1988 IN UETIKON ZH

---

Bodenkunde in der Schweiz  
Vorstellung von Forschungsgruppen und Institutionen

---

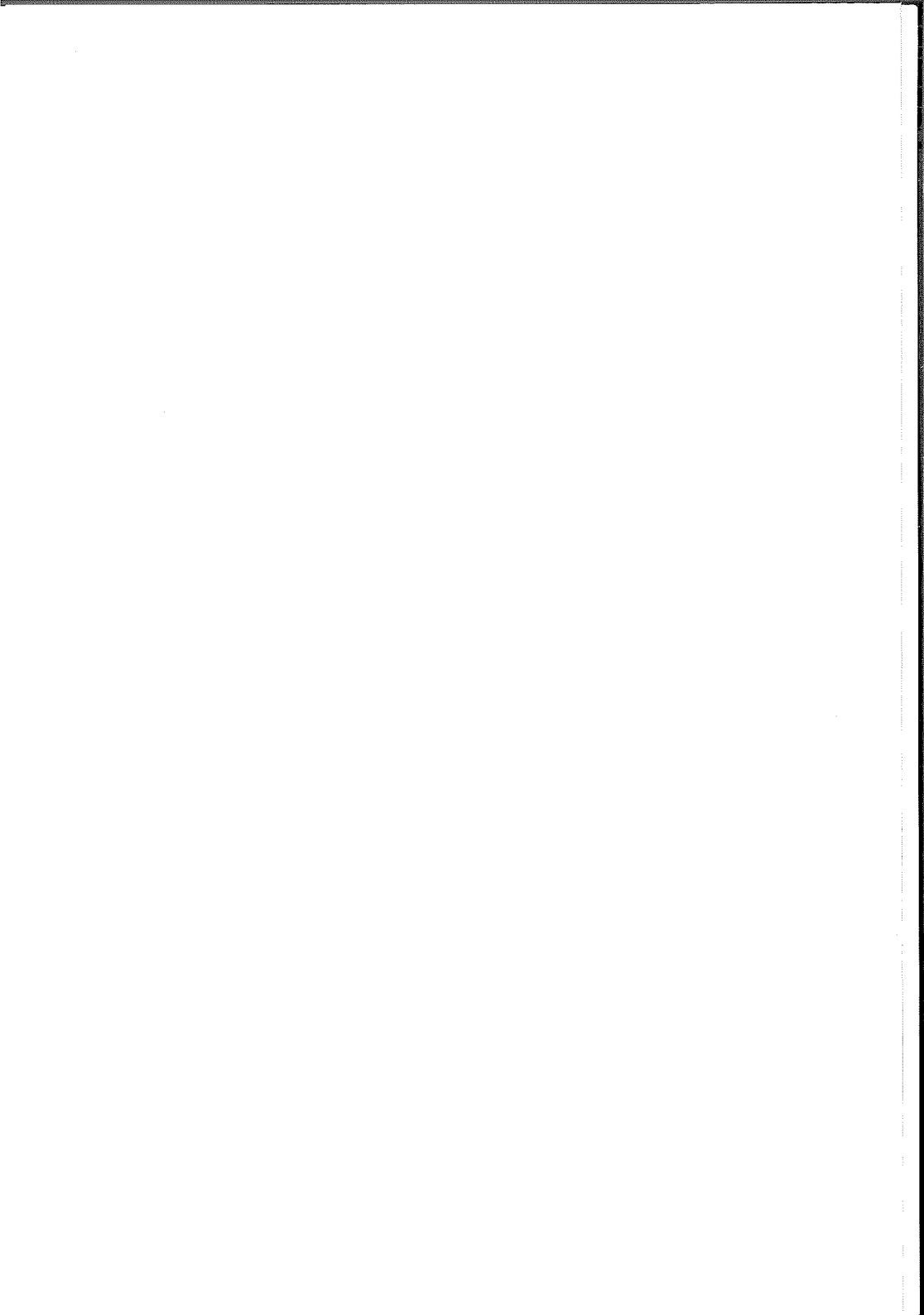
Bodenkundliche Lehre und Forschung in Oesterreich

---

Referate  
Texte zu den Postern

---

Tätigkeitsberichte



**BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ  
SOCIETE SUISSE DE PEDOLOGIE**

**BULLETIN 12  
1988**

**Jahrestagung vom  
25./26. Februar 1988  
in Uttikon**

**Bodenkunde in der Schweiz  
Vorstellung von Forschungsgruppen und Institutionen**

**Bodenkundliche Lehre und Forschung in Oesterreich**

**Referate, Texte zu den Postern**

**Koordination: M. Müller, Zürich-Reckenholz**

---

**Juris Druck, Zürich**

**BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ**

**SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE**

**Adresse:** Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau,  
8046 Zürich-Reckenholz 01 57 88 00  
ab 8. Juni 88: 01 371 88 00

**Vorstand / Comité 1987 - 1989**

Präsident / Président: P. Lüscher, Birmensdorf  
Vize-Präsident / Vice-Président: H. Häni, Liebefeld  
Sekretär / Secrétaire: L.-F. Bonnard, Zürich-Reckenholz  
Kassier / Caissier: A. Kaufmann, Zollikofen  
Beisitzer / Assesseur: Th. Mosimann, Basel

**Dokumentationsstelle / Service des documents:**

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

**Vorsitzende der Arbeitsgruppen / Présidents des groupes de travail:**

Klassifikation und Nomenklatur: J. Presler, FAW Wädenswil  
Körnung und Gefüge: E. Kramer, Tänikon  
Lysimeter: W. Stauffer, Liebefeld  
Bodenzoologie: W. Matthey, Neuchâtel  
Bodenschutz: H. Bieri, Zürich

**Koordination Ausstellung BODEN/SOL:** U. Zihlmann, Zürich-Reckenholz

---

**Bodenkunde in der Schweiz: Vorstellung von Forschungsgruppen und Institutionen**

NFP 22 Nutzung des Bodens in der Schweiz	9
Abteilung Physische Geographie, Geographisches Institut der Universität Zürich	13
Physiogeographie und Geoökologie, Geographisches Institut der Universität Basel	15
Gruppe für Bodenkonservierung, Geographisches Institut der Universität Bern	21
Fachbereich Bodenphysik, IWHF, ETH Zürich	22
Labor für Bodenchemie, ILW, ETH Zürich	26
Tonmineralogisches Labor, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich	30
Bereich Bodenbiologie, Gruppe Phytomedizin, Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich	31
Unité "Hydrologie et aménagements", Institut de Génie rural, EPF Lausanne	33
Unité "Pédologie", Institut de Génie rural, EPF Lausanne	34
Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC), Liebefeld-Bern	35
Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau (FAP), Zürich-Reckenholz	36
Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (FAW), Wädenswil	38
Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon TG	38
Station fédérale de Recherches Agronomiques de Changins (RAC), Nyon	39
Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV), Birmensdorf	43
Laboratoires ACEPSA, Oulens	47
Sektion Boden und allgemeine Biologie, Bundesamt für Umweltschutz, Bern	48

Laboratoire d'écologie végétale, Institut de botanique, Université de Neuchâtel	50
Gruppe Bodenzöologie, Zoologisches Institut der Universität Bern	53
Chemische Fabrik Uetikon	56
Arbeitsgruppe Lysimeter der BGS	59
<b>Bodenkundliche Lehre und Forschung in Oesterreich</b>	<b>63</b>
<b>Referate, Texte zu den Postern</b>	
E.E. HILDEBRAND Strukturgebundene chemische Ungleichgewichte in Waldböden	67
I. NEUWINGER Forstökologisch-bodenkundliche Untersuchungen in der subalpinen Stufe der Tiroler Alpen	87
P. LUESCHER Umsetzungsmöglichkeiten der Reihe "Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz" für die Standortsbeurteilung aus bodenkundlicher Sicht in der Forstpraxis	93
P. LUESCHER Humusbildung und Humusumwandlung in Waldbeständen	99
C. ANGEHRN-BETTINAZZI, J. HERTZ und P. LUESCHER Schwermetalle in der organischen Auflage von Waldstandorten	103
E. DISERENS, A. MECHSNER und H. STICHER Schadstoff- und Nährelementflüsse in einem Hanggley unter einem Fichtenbestand des Voralpengebietes	111
A. ABD-EL-RAZIK, R. HAAB, L. HARTMANN, U. GASSER, S. JUCHLER und H. STICHER Verteilung von Chrom und Nickel auf subalpinen Fichtenstandorten	115
U. GASSER, S. JUCHLER und H. STICHER Zum Verhalten von Chrom und Nickel in goethithaltigen Bodenhorizonten	117
H.W. SCHMITT, K. BARMETTLER und H. STICHER Schwermetallkompetition und -verlagerung in mehrhorizontigen Böden	123

U. HOINS und H. STICHER	
Bedeutung der in den Niederschlägen vorhandenen Schwefelverbindungen für die Mobilität von Schwermetallen	129
C. HILFIKER et J.-C. VEDY	
Mesure et modélisation des flux de polluants aux interfaces air-sol/végétation	133
F.-L. DOMERGUE, C. STREHLER et J.-C. VEDY	
Les métaux lourds dans les eaux gravitaires de sols modélisés	137
C. KELLER et J.-C. VEDY	
Transferts et redistribution du cuivre dans deux écosystèmes acidophiles et à pollution diffuse de Suisse romande	143
J. LUSTER, B. MAGYAR und P. BLASER	
Cu(II)-Komplexierung durch Molekularfiltrations-Fractionen eines Edelkastanien-Laubstreu-Extraktes	149
A. BLATTER, S.K. GUPTA und H. HAENI	
Ionische Kupferkonzentrationen in Rebbereböden	153
P. PERRET und M. HAAB	
Einfluss von Bepflanzung und Zusatzstoffen auf den Schwermetallgehalt (Cu) und die Pufferung der Bodenlösung belasteter Rebbereböden	157
W. JAEGGI und H.R. OBERHOLZER	
Aufgaben und Ziele der bodenmikrobiologischen Forschung	163
B. DEHN, H. STICHER und H. SCHUEEPP	
Einfluss von VA-Mykorrhiza-Pilzen auf die Aufnahme und Verteilung der Schwermetalle Cd und Zn in <i>Lactuca sativa</i>	169
H. SCHUEEPP, D.D. MILLER und M. BODMER	
Eine neue Methode zur Untersuchung der Besiedlung des Bodens durch Vesiculäre-Arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze	175
S. EGLI und I. KÄELIN	
Die Wettbewerbsfähigkeit von künstlich geimpften Mykorrhizapilzen im natürlichen Boden	181
P. REUTIMANN	
Mikroheterogenität des Waldbodens: Besteht eine Beziehung zwischen dem pH-Wert und der Mikroverteilung von Arthropoden?	185
M. GLASSTETTER	
Die Bodenfauna als Nährstoffspeicher in Geoökosystemen des Tafel- und Faltenjura	191
O. DANIEL und M. BIERI	
Stichprobenplan für die Regenwurmart <i>Lumbricus terrestris</i> L.	195

J. POLOMSKI Morphologische und physiologische Variabilität von Pflanzen- wurzeln	199
U. VOEKT, CH. SALM und G. HASINGER Die Spatenprobe	203
J.A. NEYROUD, W. STAUFFER und P. WEISSKOPF Ringversuch Krümelstabilität	207
B. MULLER et J.A. NEYROUD Consistance et cohésion du sol	211
V. PRASUHN und D. SCHAUB Quantitative Bodenerosionsforschung auf schweizerischen Agrarflächen	217
L.-F. BONNARD, M. MUELLER und U. ZIHLMANN Bodenkartierung im Dienste von Planung, Land- und Forst- wirtschaft / Les cartes des sols au service de la planification, de l'agriculture et de la sylviculture	221
V. SCHMID und R. BOLLIGER Erarbeitung von landw. Grundlagen für die Nutzungsplanung nach Raumplanungsgesetz und für die Bezeichnung von Frucht- folgeflächen im Kanton Aargau	227
M. KRAUSE und H.S. FISCHER Boden- und Vegetationssimulation in Davos (GR)	231
C. GUENAT et M. GRATIER Ecologie des sols rubéfiés de la région subjurassienne	237
W. STAUFFER, A. SIEGENTHALER, J.P. CLEMENT und A. DUBLER Das Naturlabor Lüscherzmoos als Grosslysimeter	243
M. BRAUN Zusammenhänge zwischen Schneedecke, gefrorenem Boden und Güllenabschwemmung	249
J.A. NEYROUD, V. PONT, J.F. PARISOD et M. BENATHAN L'azote mobilisable du sol	253
U. SCHMIDHALTER und J.J. OERTLI Einfluss der Wasserversorgung auf die Ertragsleistung von Kulturpflanzen im Jugendstadium	257
U. SCHMIDHALTER und J.J. OERTLI Bodenversalzung im Unterwallis: Ursachen, Mechanismen und Meliorationsmassnahmen	263
L. LOCHER-AZEVEDO, M. NEUENSCHWANDER und F. BALDUZZI Stabilisation von Böden mit organischen Bindemitteln	269



Jahresbericht 1987	275
Berichte der Arbeitsgruppen	
Klassifikation und Nomenklatur	277
Lysimeter	277
Bodenschutz	278
Körnung und Gefüge	280
Bodenzoologie	280
Autorenverzeichnis	281



## Das nationale Forschungsprogramm 22 NUTZUNG DES BODENS IN DER SCHWEIZ

H. STICHER

Präsident der Expertenkommission

## 1. VORGESCHICHTE UND FORSCHUNGSPHASE I

Angesichts der zunehmenden Gefährdung des Bodens durch Kontamination, Uebernutzung und mechanische Schäden sowie der ungebremsten baulichen Nutzung und der damit verbundenen Markt- und Preisprobleme bewilligte der Bundesrat 1983 10 Millionen Franken für ein Nationales Forschungsprogramm **"Nutzung des Bodens in der Schweiz"**. Aufgrund umfangreicher Vorarbeiten verschiedener Gremien wurden dem Programm folgende allgemeine Zielsetzungen vorangestellt:

1. Langfristige Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens
2. Verringerung des Verlustes an gewachsenem Boden
3. Bessere Verteilung der Bodennutzungen

Dass dabei nicht an eine unkoordinierte Bearbeitung einzelner Sachfragen gedacht war, mag der Ausschnitt aus einem Editorial von Frau Bundesrätin E. Kopp für die Zeitschrift NATUROPA veranschaulichen:

"Die Forschungsbestrebungen sollen Massnahmen aufzeigen, die diese Zielsetzungen unterstützen. Neben Massnahmen gesetzgeberischer oder technischer Natur scheint es wünschbar, im Rahmen des Forschungsprogramms auch grundsätzliche und ethische Fragestellungen zu bearbeiten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen, die somit nicht nur analysieren sollen, wie es heute um den Boden steht, sondern die uns auch Aufschluss darüber geben können, wo wir weiterdenken und umdenken lernen müssen, können langfristig nur in die Praxis umgesetzt werden, wenn die Bevölkerung mitmacht. Aus diesem Grunde geht es darum, durch Information und Öffentlichkeitsarbeit das Bewusstsein der Verantwortung der jetzt lebenden Generation für die Erhaltung des Bodens zu schärfen."

(Naturopa Heft 47, 1987)

Anfangs 1984 nahm die der Abteilung IV (Nationale Forschungsprogramme) des Schweizerischen Nationalfonds zugeordnete Expertenkommission unter dem Vorsitz von Prof. M. Rotach (ETHZ) die Tätigkeit auf und arbeitete, basierend auf den vorgegebenen Programmzielen, einen Ausführungsplan aus, in welchem Teilziele und sich daraus ergebende Forschungsfragen dargelegt waren. (Abb. 1)

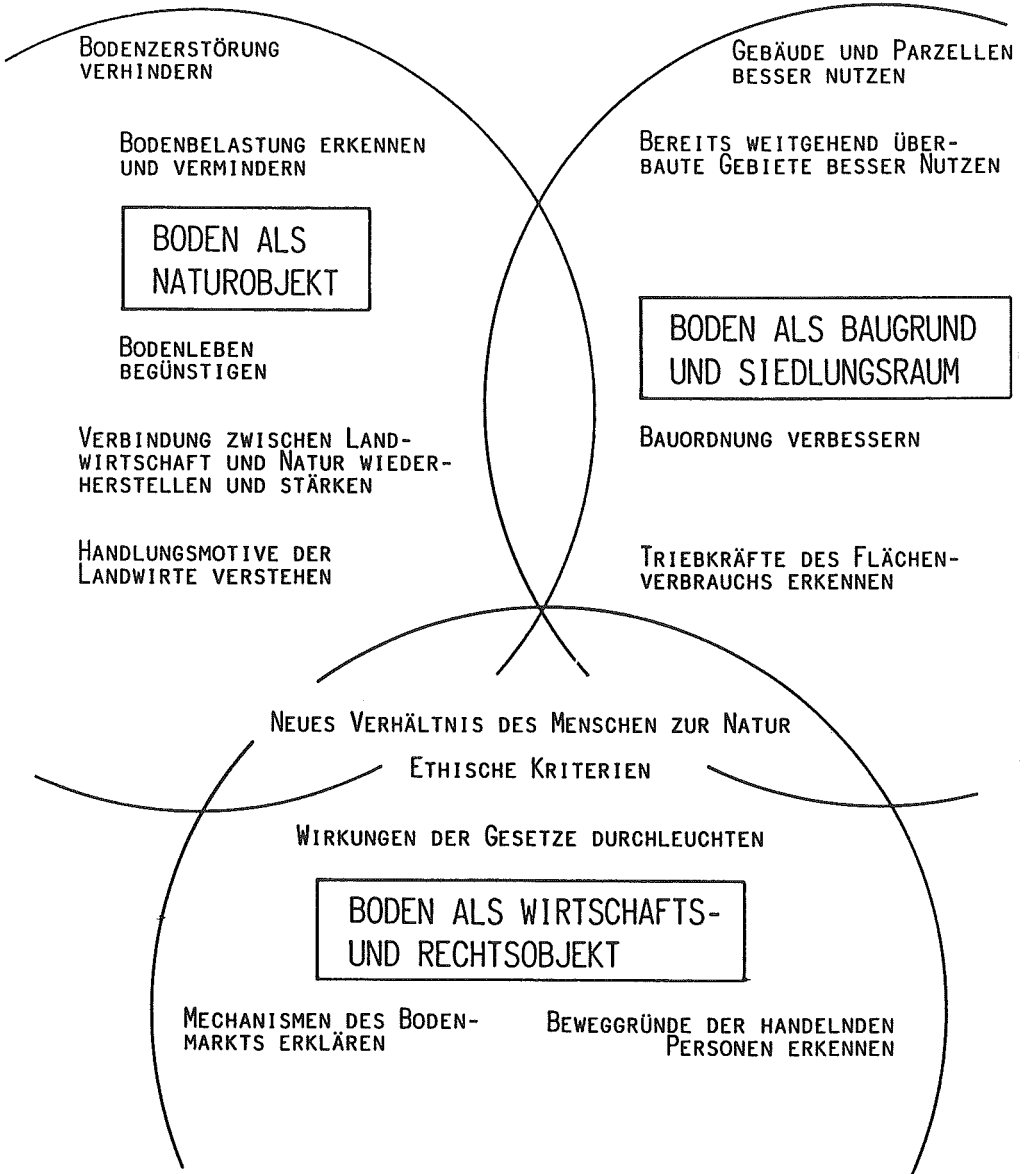


Abb. 1: Hauptthemen der 3 Forschungsbereiche

Aus über 350 eingereichten Projektskizzen wurden schliesslich 39 zur Ausführung eingeladen und vom NF bewilligt. Später kamen noch 6 ergänzende Projekte dazu. In der seit 1986 laufenden Phase I werden diese 45 Projekte von Universitätsinstituten, Forschungsanstalten und privaten Büros bearbeitet. Von vereinzelt Projekten liegen heute (Stand 1.3.1988) bereits die Schlussberichte vor.

## 2. FORSCHUNGSKOORDINATEN

Im Sinne einer frühzeitigen Koordination verwandter Projekte werden unter der Führung des Programmleiters periodische **Workshops** veranstaltet, bei welchen die Forscher über den Verlauf der Arbeiten berichten, Erfahrungen austauschen und hängige Fragen diskutieren. Im übrigen wird jedes Projekt von einem Experten begleitet, so dass auch von dieser Seite her eine Verbindung zwischen den einzelnen Projekten gewährleistet ist.

## 3. OEFFENTLICHKEITSARBEIT

Ueber den Stand der Arbeiten, über neue Projekte, über Veranstaltungen, erste Ergebnisse usw. wird im **Bulletin des NFP 22** etwa halbjährlich berichtet. Das Bulletin wird mit einer Auflage von ca. 2500 Exemplaren bewusst breit gestreut, um bei den verantwortlichen Stellen und in der Bevölkerung das Interesse für das Programm wachzuhalten. Von Zeit zu Zeit werden von der Programmleitung **Pressekonferenzen** organisiert, an welchen ausgewählte Projekte vorgestellt und wenn möglich im Felde vorgeführt werden. Dabei sei an die Präsentation des Projektes Erosion erinnert, welches bei Fernsehen, Radio und Presse auf grösste Aufmerksamkeit stiess und bei den betroffenen Stellen einen nachhaltigen Widerhall fand.

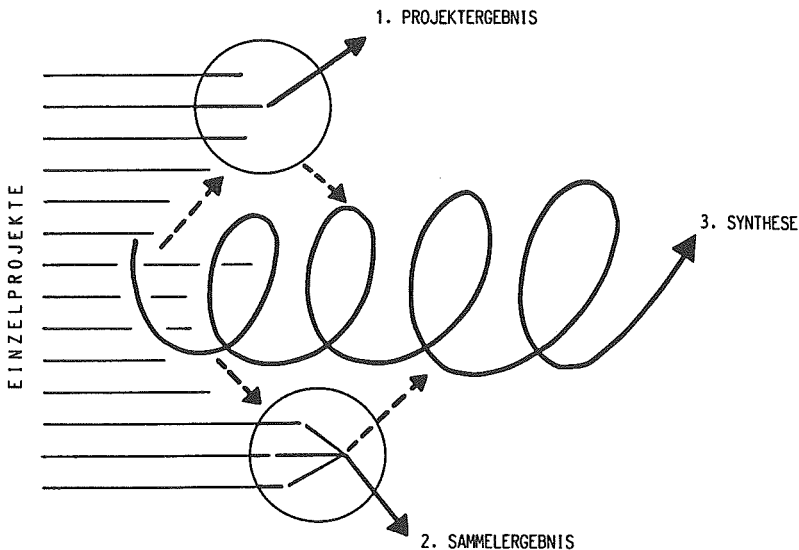


Abb. 2: Verschiedene Möglichkeiten von Synthese und Umsetzung

#### 4. SYNTHESE UND UMSETZUNG

Mit dem Schlussbericht werden von jedem Projektleiter Vorschläge für praktikable und auf ihre Auswirkungen überprüfte Massnahmen erwartet. Die Ergebnisse und Massnahmenvorschläge mancher Projekte werden direkt auf interessierte Zielgruppen ausgerichtet sein. Die Umsetzung der Resultate kann in einem solchen Falle unmittelbar erfolgen (Fall 1, Abb. 2).

Da, wo zu einem komplexen Thema mehrere Projekte durchgeführt worden sind, wird es zweckmässig sein, diese zur Koordination und Gewichtung der Massnahmen vernetzt aufzuarbeiten (Fall 2, Abb. 2).

Schliesslich wird es die Aufgabe einer Gesamtsynthese sein, möglichst alle Projekte in den weiteren Rahmen des ganzen Programms und darüber hinaus in denjenigen der Gesellschaft einzuordnen. Die Synthese ist ein interaktiver Prozess, der bereits zu Anfang des Programms in die Wege geleitet wurde und durch eine spezielle Gruppe von Fachleuten in engem Kontakt mit den Forschungsgruppen programmbegleitend bearbeitet wird. (Fall 3, Abb. 2).

#### 5. PUBLIKATIONEN

Die Schlussberichte der Projekte werden nach Diskussion in der Expertengruppe als **Berichte NFP 22** in loser Folge publiziert. Sie können bei der Programmleitung zu einem bescheidenen Preis abonniert oder als Einzelhefte bezogen werden. Vereinzelte grössere Arbeiten sowie die Synthesebände werden im Buchhandel erscheinen.

#### 6. ADRESSEN

Nationales Forschungsprogramm 22 BODEN  
 Programmleitung: Dr. Rudolf Häberli  
 Schwarzenburgstr. 179  
 3097 Liebefeld-Bern

Tel. 031 59 88 51

Präsident Expertenkommission NFP 22:  
 Prof. Dr. H. Sticher  
 ETH-Zentrum / LFO  
 8092 Zürich

Tel. 01 256 32 86

PETER FITZE

Geographisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich

## 1. BODENKUNDE IN DER LEHRE

Die bodenkundliche Ausbildung für Studierende der Geographie umfasst eine zweistündige Vorlesung, ein mehrtägiges bodenkundliches Geländepraktikum sowie einen Laborkurs von einer Woche Dauer. Während die Bodenkunde bis heute nur im Fachstudium vertreten ist, soll in Zukunft mit dem Inkrafttreten des neuen Lehrplanes eine einstündige Vorlesung im Rahmen des Grundstudiums (und somit für alle Studierenden obligatorisch) gehalten werden.

Auch im Rahmen des Nebenfachs "Umweltlehre" an der Universität Zürich wird im landschaftsökologischen Teil der aktuellen Bodenproblematik grosses Gewicht beigemessen.

## 2. BODENKUNDE IN DER FORSCHUNG

Die Akzente der Bodenforschung an unserem Institut liegen sehr verschieden: Die Böden als Hilfsmittel für die Landschafts- und Klimageschichte einzusetzen, bildet einen fast schon traditionellen Schwerpunkt. Ein zweiter wichtiger Forschungsakzent bildet die Datierung von Böden mit Hilfe der Radiocarbonmethode in einem eigenen Labor. Ein neuer Schwerpunkt hat sich in den letzten Jahren mit der Umweltsensibilisierung auch an unserem Institut im Bodenbereich herausgebildet.

### 2.1 Böden als Hilfsmittel für die Landschafts- und Klimageschichte

Dieser Forschungsansatz benutzt den Boden eigentlich nur als Hilfsmittel. Wichtig ist in diesem Zusammenhang vor allem der bodengenetische Aspekt, geht es doch darum, aus dem Entwicklungszustand von rezenten oder fossilen Böden zeitliche, klimatische oder geomorphologische Aspekte abzuleiten. Einige Beispiele mögen dies verdeutlichen:

- Aus der Kenntnis des Ausprägungsgrades eines rezenten Bodens lassen sich unter Umständen Rückschlüsse auf die Ausdehnung des Gletschereises während der letzten Kaltzeit machen, sind doch im Schweiz. Mittelland die holozänen Böden beispielsweise höchstens bis in eine Tiefe von 1,5-2 m

entkarbonatisiert.

- Junge und unreife Böden deuten meist auf Erosionsprozesse hin, sofern sie nicht anthropogen verursacht sind. Aufgrund dieser Erkenntnisse nehmen wir beispielsweise an, dass am Rossberg schon vor dem Bergsturz von Arth Goldau (1806) ein prähistorischer Sturz niederging.

- Fossile Bodenbildungen deuten auf Ruhezeiten hin. Aufgrund ihrer Lage im Aufschluss und ihrem Entwicklungszustand lassen sich Schlüsse für die Landschaftsentwicklung und die Klimageschichte ableiten. So wissen wir aufgrund unserer Untersuchungen im Schweiz. Nationalpark und im Engadin, wo wir ganze Sequenzen von fossilen Böden finden, dass das Postglazial in dieser Höhenlage durch einen dauernden Wechsel von Ruhephasen mit morphologisch aktiven Phasen charakterisiert ist, wobei wir mit Hilfe der absoluten Datierung auch Aussagen über die zeitliche Einordnung dieser Phasen machen können.

## 2.2 Bodendatierung mit Hilfe der Radiocarbonmethode

Die absolute Datierung von Böden (und anderem Material) kann in einem eigenen Labor durchgeführt werden. Pro Jahr können auf diese Weise etwa 150 Proben bestimmt werden. Das maximale Alter, das an unserem Institut bestimmt werden kann, liegt bei rund 30'000 Jahren B.P. Je nach Fragestellung (und Kontaminationsgefährdung) werden die Huminsäuren oder die organische Restsubstanz bestimmt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Mittelenergiephysik an der ETH Höggerberg ist sogar eine Altersdatierung von Kleinstmengen mit Hilfe des dort installierten Beschleunigers aufgrund der Isotopentrennung möglich.

## 2.3 Die aktuelle Umweltbeeinflussung des Bodens

Das seit 1984 laufende Projekt "Gubrist" setzt sich mit der aktuellen Umweltgefährdung des Bodens unter Wald auseinander. Den aktuellen Bodenzustand zu ermitteln, ist das erste Ziel dieses Projekts. Langfristig sollen zudem die Veränderungen beim Boden erfasst werden, die sich aus der Umweltbelastung ergeben. Erste Resultate aus diesem etwa 170 ha umfassenden Untersuchungsgebiet belegen eine unerwartet komplexe Bodensituation, auf die bereits mehrfach im Rahmen der BGS hingewiesen wurde.

Daneben beschäftigen uns immer wieder die die Einflüsse von Einzelernittenten (KVA, Tunnellüftungen) auf den Boden. Dabei kommt natürlich auch der Erfassung der meteorologischen Situation eine grosse Bedeutung zu.

Die Analysen der Proben können zumeist am Institut selbst durchgeführt werden, da wir in unserem Labor über eine AAS-Anlage verfügen. Für spezielle Analysen und Doppelbestimmungen sind wir auf die Hilfe von andern Instituten oder Anstalten angewiesen, was an dieser Stelle mit einem besonderen Dank vermerkt werden soll.



DER BODEN IN DER LANDSCHAFTSÖKOLOGISCHEN FORSCHUNG AM GEOGRAPHISCHEN INSTITUT  
DER UNIVERSITÄT BASEL

---

TH. MOSIMANN

Geographisches Institut der Universität, Physiogeographie und Geoökologie,  
Klingelbergstr. 16, 4056 Basel

## 1. DIE BEDEUTUNG DES BODENS IN DER LANDSCHAFTSÖKOLOGIE

Die Bodenforschung nimmt in der Landschaftsökologie eine bedeutsame Stellung ein. Dies ergibt sich aus den zentralen ökologischen Funktionen, welche die Bodendecke im Landschaftshaushalt ausübt und den besonderen Eigenschaften des Bodens als stabiles Landschaftsmerkmal:

- Im Boden findet der grösste Teil der Stoffumwandlung statt.
- Der Boden steuert die vertikalen und zum Teil auch lateralen Transportprozesse in der Landschaft.
- Der Boden übt im Landschaftshaushalt die Filter- und Senkenfunktion aus.
- Boden und Wasserhaushalt sind eng verknüpft.
- Durch seine relative Stabilität und den engen Zusammenhang zum Relief verfügt der Boden über hervorragende Eigenschaften als Indikator für mittel- und langfristige ökologische Veränderungen in der Landschaft.
- Wegen seiner flächenhaften Aufnehmbarkeit eignet sich der Boden hervorragend für die Erhebung räumlich-ökologischer Zusammenhänge.

Damit sind einige Aspekte streiflichtartig genannt. Zur weiteren Verdeutlichung der Stellung des Bodens in der Landschaftshaushaltsforschung zeigt Abb. 1, wie die Landschaftsökologie den Boden "sieht" und welche Hauptaspekte Gegenstand der Forschung bilden können.

## 2. DIE LANDSCHAFTSÖKOLOGISCHEN FORSCHUNGSBEREICHE DES INSTITUTS UND DIE ZUGEHÖRIGEN BODENKUNDLICH - BODENGEOGRAPHISCHEN ARBEITSBEREICHE

### 2.1 Allgemeines

Landschaftsökologische Forschung muss vom Ansatz her vielseitig sein. Demzufolge müssen auch die Untersuchungen im Bereich "Boden" ein vielfältiges Spektrum aufweisen. Die sich mit dem Boden beschäftigenden Landschaftsökologen gehören deshalb innerhalb der Bodenkunde zu den Generalisten.

Gute landschaftsökologische Forschung ist zu erheblichem Teil Feldforschung. Dies gilt besonders auch für den Bereich "Boden". Laboruntersuchungen erfüllen immer "nur" eine Zubringerfunktion. Feldbodenkunde wird gepflegt.

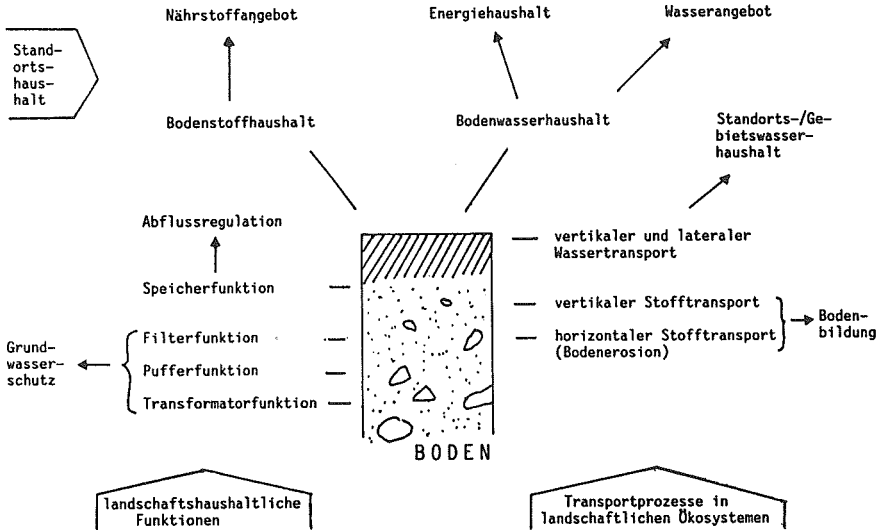


Abb. 1 Der Boden in der landschaftsökologischen Betrachtungsweise am Geographischen Institut der Universität Basel

Die Abb. zeigt die vielfältigen Aspekte, unter denen der Boden im Rahmen ökologischer Forschungsprojekte betrachtet wird.

Landschaftsökologische Forschung bringt immer raumbezogene Aussagen. Die Kartierung, die vor allem auch prozessuale Analyse von Standortsequenzen sowie der Bezug zu Relief und Substrat spielen deshalb in der bodenkundlichen Arbeit des Geoökologen eine bedeutsame Rolle.

Landschaftsökologische Forschung ist zu einem erheblichen Teil angewandte Forschung. Die Affinität zur Angewandten Bodenkunde ist deshalb sehr hoch.

## 2.2 Bodenkundliche Arbeitsbereiche

Auf Abb. 2 sind die im weiteren Sinne landschaftsökologischen Forschungsbereiche des Instituts, in denen bodenkundlich- bodengeographisch gearbeitet wird, aufgelistet. Aus Platzgründen erfolgt keine Nennung von Einzelprojekten. Beispiele lassen sich jedoch aus der Literaturlauswahl in Kap. 5 entnehmen. Verschiedene Projekte überschneiden zudem die genannten Forschungsbereiche.

Es können gemäss Abb. 2 im wesentlichen acht bodenkundliche Arbeitsbereiche unterschieden werden, die sich in drei Gruppen gliedern lassen:

1. Bodenkundliche Standortaufnahme und Kartierung einschliesslich besonderer Untersuchungen zur Bodenstruktur.
2. Bodenwasserhaushalt und Stofftransport mit dem Wasser im Boden.
3. Angewandte Bodenkunde (Bewertungen, Schutzkonzepte).

Forschungsbereiche bodenkundlich/ bodengeographische Arbeitsbereiche	landschafts- haushaltliche Prozessforschung	Bodenerosions- prozessforschung	angewandte Bodenerosions- forschung	angewandte land- schaftsöko- logische Forschung und Gutachter- tätigkeit	regionale boden- geographische Forschung	klimatologisch- klimaökologische Forschung
Bodenkartierung						
Analysen des boden- physikalischen und bodenchemischen Status						
Bodenstruktur						
Bodenwasser- haushalt						
Stofftransporte im Boden						
bodenbiologische Untersuchungen						
Bewertung von Bodenfunktionen						
Bodenschutz						

Tab. 1 Landschaftsökologische Forschungsbereiche und zugehörige bodenkundlich-bodengeographische Arbeitsbereiche

Selbstverständlich haben schon aus Kapazitätsgründen nicht alle bodenkundlichen Arbeitsbereiche die gleiche Bedeutung. Teilweise zeigt dies schon die Rasterung auf Abb. 2. Wichtige bodenkundliche Arbeiten sind Bestandteil praktisch aller Projekte, andere beschränken sich auf einzelne Projekte. Zudem werden die verschiedenen Bereiche natürlich nicht in voller Breite, sondern bezogen auf die jeweiligen landschaftsökologischen Problemstellungen bearbeitet. Dazu folgende

Beispiele:

Bodenstruktur: Fragen im Zusammenhang mit der Bodenerosion und Abflussregulation.

Stoffhaushalt: Umsätze anorganischer Stoffkomponenten.

Bodenbiologie: z.B. Zelluloseabbau (Komplexgrösse), Regenwurmfaua.

Bodenschutz: z.B. Erosionsschutzkonzepte.

Welches sind die bodenkundlich-bodengeographischen "Spezialitäten" des Instituts? Diese Frage lässt sich im Sinne einer Nennung von einigen Forschungsschwerpunkten beantworten. Eine Spezialisierung im strengen Sinne, wie sie teilweise in der heutigen "Laborbodenkunde" festgestellt wird, findet nicht statt. Sie würde den Zielsetzungen und der Arbeitsweise der Landschaftsökologie widersprechen.

Forschungsschwerpunkte:

- Bodenerosion,
- Bodenwasserhaushalt,
- Lössböden und Juraböden (landschaftshaushaltliche Funktionen, Verbreitung),
- Gebirgs- und Polarböden und ihr Wasser- und Stoffhaushalt,
- künstlich geschaffene Böden auf Skipisten.

### 3. FORSCHUNGSGEBIETE DER ABTEILUNG PHYSIOGEOGRAPHIE UND GEOÖKOLOGIE MIT BODENKUNDLICH - BODENGEOGRAPHISCHEN FELDARBEITEN

Auf Abb. 3 sind die Regionen/Gebiete verzeichnet, in denen aktuell bodenkundlich-bodengeographische Untersuchungen laufen oder bis 1985 liefen. Aus allen diesen Gebieten liegen bodenkundliche Standortaufnahmen, ergänzt mit Laboranalysen, vor. Die Gebiete mit Kartierungen im Massstab 1 : 5'000 sind besonders bezeichnet. In allen Forschungsgebieten mit geökologischen Prozessuntersuchungen laufen oder liefen mehrjährige Messreihen zum Bodenwasserhaushalt und Stoffhaushalt im Boden. In den Bodenerosionstestgebieten wurden und werden Bewertungskarten, Gefährdungskarten und Karten mit Erosionsschutzkonzepten erstellt.

Die bodenkundliche Arbeit unterscheidet sich also in der Schwerpunktsetzung von Gebiet zu Gebiet je nach der Richtung der jeweiligen landschaftsökologischen Forschung. Die Erfassung solider Grundlageninformation über den Boden durch Standortaufnahmen ist jedoch Bestand jeder Arbeit.



## 4. RESUME

Cet exposé présente d'abord quelques aspects qui expliquent la signification du facteur sol et l'importance de la pédologie dans la recherche géoécologique. Fig. 2 présente les domaines de la recherche géoécologique de l'institut et le champ d'activité en pédologie dont les méthodes les suivantes sont les plus importantes: analyse des sols in situ et levé cartographique, analyse des régimes d'humidité du sol, analyse du bilan de l'eau et du bilan nutritif et la pédologie appliquée. L'institut concentre ses efforts surtout sur l'érosion du sol, le bilan d'eau sur les sols loessiques et les sols du Jura, les sols alpins et les sols de la région arctique (fonction géoécologique, extension, bilan de l'eau et bilan nutritif).

## 5. AUSWAHL VON NEUEREN VERÖFFENTLICHUNGEN MIT STARKEM BODENKUNDLICHEM BEZUG

BONO,R: Geoökologische Untersuchungen zur Naturraumgliederung und Regenwurmfauuna des niederen und hohen Sundgau (Elsass, Frankreich). = Physiogeographica Bd. 8, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Basel 1986, 300 S.

BONO,R. und T. MOSIMANN: Ökologische Standortstypen in der subalpinen und alpinen Stufe der Sierra Nevada (Spanien). In: Die Erde, 118 (1987), S. 171 - 191

HERWEG,K: Bodenerosion und Bodenkonservierung in der Toscana, Italien (Testgebiet Roccatederighi, Provinz Grosseto). = Physiogeographica, Bd. 9, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Basel 1988, 175 S. und Kartenband.

LESER,H: Die Bedeutung des Bodens für die Raumplanung aus landschaftsökologischer Sicht. In: Schriftenreihe zur Orts-, Regional- und Landesplanung, Nr. 34, Zürich 1985, S. 29 - 52

LESER,H: Bodenerosion - Erforschung eines geoökologischen Prozesses. In: Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 11 (1986), S. 1 - 17

LESER,H. & W. SEILER: Geoökologische Forschungen in Südspitzbergen. In: Die Erde, 117 (1986), H. 1, S. 1 -21

MOSIMANN,T: Untersuchungen zur Funktion subarktischer und alpiner Geoökosysteme (Finnmark (Norwegen) und Schweizer Alpen). = Physiogeographica, Bd. 7, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Basel 1985, 488 S.

MOSIMANN,T: Skitourismus und Umweltbelastung im Hochgebirge. In: Geographische Rundschau, 38 (1986), H. 6, S. 303 - 311

SCHAUB,D. u.a.: Erodibilitätskarten dreier Agrargebiete der Nordwestschweiz. In: Regio Basiliensis, 28 (1987), S. 115 - 122

VAVRUCH,S: Böden und Erosion im Schweizerischen Tafeljura. In: Regio Basiliensis, 28 (1987), S. 103 - 114

Bodenerosion in landwirtschaftlichen Oekosystemen

Autoren:

Hans Hurni und Jürg Krauer  
Gruppe für Bodenkonservierung (GfB)  
Tel. 031 65 88 76

Bodenerosion ist ein globales Problem, bei dem der Mensch als Verursacher eine zentrale Rolle spielt. Die erodierte Bodenmenge auf Kulturland ist weltweit mit durchschnittlich 16 Tonnen pro Hektare rund viermal höher als tolerierbar wäre. Flächen- und Rinnenspülung wird kaum als Problem erkannt, obschon gerade diese Formen der Bodenerosion am gefährlichsten sind.

Das Geographische Institut der Uni Bern beschäftigt sich seit 1974 mit der Sammlung und Auswertung von Felddaten zum Problemkreis Bodenerosion und Bodenkonservierung. 1987 wurde die Gruppe für Bodenkonservierung aufgebaut, die sich mit der Betreuung von Projekten und Studenten, sowie mit Unterricht und Konsultationen befasst. Die Aktivitäten folgen methodisch dem Oekosystemansatz und konzentrierten sich bisher ausschliesslich auf ausländische Projekte, z.B. in Aethiopien.

Ein Hauptanliegen der Gruppe ist es, die Forschungsergebnisse direkt in Konservierungsaktivitäten umzusetzen. Die GfB berät mit Empfehlungen aus der angewandten Forschung zahlreiche Projekte, die mit ländlicher Entwicklung in Drittweltländern arbeiten. Das Beispiel des Aethiopienprogramms dient als Illustration derartiger Umsetzung von Forschung in Anwendung.

## BODENPHYSIK ETHZ – EIN PORTRÄT

Hannes Flühler und Mitarbeiter  
 IWHF, Fachbereich Bodenphysik  
 NO H 45.1, ETH-Zentrum  
 8092 Zürich

**DAS CURRICULUM VITAE DER BODENPHYSIK AN DER ETHZ**

Die Bodenphysik als Forschungsgruppe entstand 1952 als "Forstliche Bodenkunde" an der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Felix Richard importierte diese Arbeitsrichtung aus den USA. Als ehemaliger Doktorand und Assistent von Hans Pallmann, dem nachmaligen Schulratspräsidenten, musste Felix Richard den Weg für diese in der Schweiz neue Arbeitsrichtung ebnen und sich Gehör verschaffen. Dies hat er gern und gut getan. 1963 wurde er zum Titularprofessor, 1966 zum ausserordentlichen Professor für Bodenphysik ernannt. Die Gruppe von 1 Assistenten, 1 Laborantin und 1 Förster (1964) wuchs und ging Schritt für Schritt an die Abteilung für Forstwirtschaft an der ETHZ über. Felix Richards berufliche Herkunft (Forstingenieur) und das Forschungsumfeld bestimmten die Ausrichtung seiner Bodenphysik. Das Schwergewicht lag auf der Erfassung des Wasserhaushaltes von Waldböden im Feldexperiment. 1983 trat er zurück und hinterliess ein gut eingespieltes und modern ausgerüstetes Team von drei Förstern, einem Elektroniker und einem Unterrichtsassistenten. Mit seinem Rücktritt wurde die Bodenphysik ganz von der EAFV an die ETHZ verlegt.

**DIE AUFGABEN DER BODENPHYSIK**

- **Grundausbildung der Studenten** in Bodenphysik und Forstlicher Bodenkunde an den Abteilungen:
  - Forstwirtschaft VI
  - Landwirtschaft VII
  - Kulturtechnik VIII
  - Naturwissenschaften XAa
 und in den neuen Studiengängen
  - Umweltnaturwissenschaften (seit WS 87/88)
  - Umwelttechnik (-ingenieur) (ab 1988 oder 89)
- **Wissenschaftliche Weiterausbildung** von Absolventen der Abteilungen VI, VII, VIII, IX, XAa (+ UWnatw. und UWing.) auf dem Gebiet der **Quantifizierung von Zuständen und Vorgängen im natürlich strukturierten Boden.**
- **Mobilisieren und Umsetzen vorhandener Kenntnisse und Erforschen echter Kenntnislücken** im Bereich der **Bodenphysik** und in **angrenzenden Gebieten.** Dabei stehen folgende **Forschungsziele** im Vordergrund:
  - Verstehen und Modellieren dominanter Prozesse und Kopplungsmechanismen,
  - Bereitstellen von methodischen Grundlagen ausgerichtet auf die aktuelle Problematik "belasteter Böden".
  - Quantifizieren der Bedeutung von Bodenstrukturen auf Transmissionseigenschaften (Wärme-, Wasser-, Gas- und Stofftransport im Bodenwasser).



## DIE AKTEURE DER BODENPHYSIK

Die Bestandaufnahme im Zeitpunkt der BGS-Jahresversammlung 1988 ergab Bild 1 und Tabelle 1.



Fachbereich Bodenphysik ETH-Zürich

Funktion	Name	Ausbildung	Eintritts- jahr
Fachbereichsleiter	Flühler, Hannes	dipl.Forsting.ETH,Dr.sc.techn.	1983
Oberassistent (Stv.)	Schulin, Rainer	dipl.Forsting.ETH,Dr.Natw.UNI	1982
Sekretärin	Crameri, Flavia	Handelsdiplom	1970
Techniker	Läser, Hanspeter	Förster	1966
Techniker	Leuenberger, Jörg	Förster	1970
Techniker	Attinger, Werner	Förster	1972
Elektroniker	Wydler, Hannes	dipl.Ing.HTL	1983
Elektroniker	Wunderli, Hans	dipl.Ing.HTL	1985
Laborantin	Kuster, Regula	dipl.Biol.Laborantin	1985
Postdoktorand in spe	Schnider, François	dipl.Forsting.ETH	1984
Postdoktorand	Buchter, Bernhard	dipl.Forsting.ETH,Dr.sc.techn.	1988
Postdoktorand	Kienast, Felix	dipl.Geogr.,Dr.Natw.UNI	1988
Doktorand	Roth, Kurt	dipl.Phys.ETH	1984
Doktorand	Schneebeili, Martin	dipl.Kulting.ETH	1984
Doktorand	Braun, Markus	dipl.Kulting.ETH	1985
Doktorand	Papritz, Andreas	dipl.Natw.ETH	1985
Doktorand	Richner, Gérald	dipl.Ing.agr.ETH	1985
Doktorand	Gimmi, Thomas	dipl.Natw.ETH	1986
Doktorand	Käppeli, Thomas	dipl.Forsting.ETH	1987



## DIE ARBEITSMORAL DER BODENPHYSIK

Faksimile einer Wunschliste aus den

ACTA PEDOPHYSICA BENEVOLENTIAE 1(1): 1.

## The 10 fundamental rights of a scientist

- \* to be wrong once in a while
- \* to admit to those who came up with travel money that meetings can be fun
- \* to have an opinion without a data base
- \* to be inefficient before 8:00 a.m. and after 5:00 p.m.
- \* to have fun at least once a day
- \* not to do what many ..... expect you to do (fill in ..... according to your needs)
- \* to be tired, moody, nervous, absentminded, unreliable, or happy, excited, euphoric, and selfcontent just as everybody else
- \* to miss one out of ten deadlines imposed on you and to postpone the selfimposed ones
- \* to write research proposals for which the first progress report's data are not at hand yet
- \* to be forgiven for well-meant remarks which turned out to have been recieved as nasty remarks

## DAS LABOR FUER BODENCHEMIE AM INSTITUT FUER LEBENSMITTELWISSENSCHAFT

Vorsteher: Prof. Dr. H. Sticher

### 1. KURZER GESCHICHTLICHER RUECKBLICK

Nach dem allzufrühen Hinschied von Prof. Hans Deuel im Jahre 1962 wurde die damalige Professur für Agrikulturchemie zweigeteilt. H. Neukom wurde als eigentlicher Nachfolger zum Professor für Agrikulturchemie (lebensmittelchemische Richtung) gewählt. R. Bach wurde zum Professor für Bodenkunde ernannt. Damit erhielt die Bodenkunde, welche bislang nebenbei oder schwergewichtig von den Agrikulturchemikern G. Wiegner (1913-1935), H. Pallmann (1935-1949) und H. Deuel (1949-1962) betreut worden war, an der ETH erstmals einen eigenen Lehrstuhl. 1975 kam eine zweite Professur (Bodenchemie, Sticher) dazu. Nach dem Hinschied von R. Bach im Jahre 1981 wurde dessen Professur nicht wiederbesetzt und mit jener für Bodenchemie vereinigt.

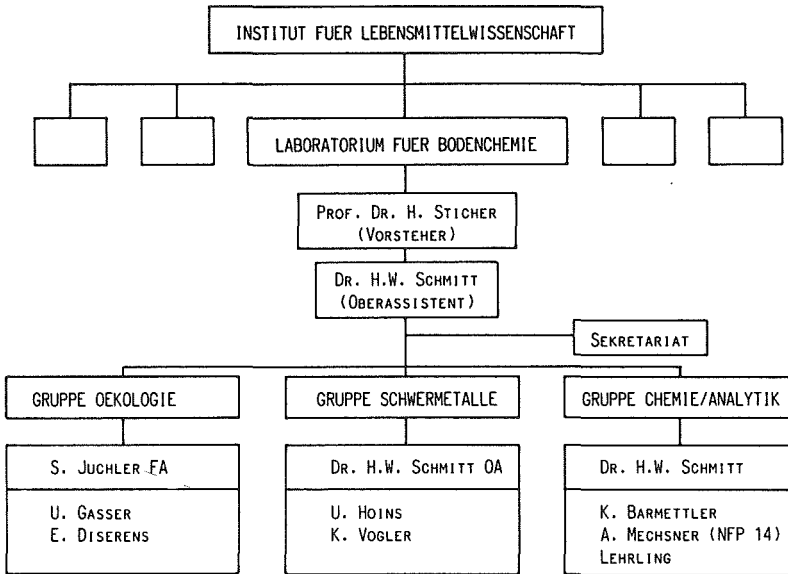
Das ehemalige Agrikulturchemische Institut, dem die Bodenkunde nach wie vor angehörte, ging 1974 im neu geschaffenen Institut für Lebensmittelwissenschaft auf. In diesem bildet das Laboratorium für Bodenchemie heute eine eigenständige und weitgehend unabhängige Einheit.

### 2. STANDORT UND AUSRUESTUNG

Mit dem Institut für Lebensmittelwissenschaft zusammen belegt das Labor für Bodenchemie Räume im LFO an der Schmelzbergstrasse. Neben der üblichen Standardausrüstung chemischer Laboratorien verfügt das Labor über UV-, IR- und AA-Spektrometer, Polarograph, FIA-Gerät, und hat Anteil an einem Röntgendiffraktometer. Die Geräte werden teilweise vom Fachbereich Bodenphysik mitbenutzt.

### 3. ORGANIGRAMM

Das Labor für Bodenchemie ist entsprechend den Tätigkeitsschwerpunkten (s. unten) in drei Forschungsgruppen aufgeteilt. Die Zuordnung der Mitarbeiter geht aus dem nachfolgenden Schema hervor (Stand 1.1.88):



#### 4. UNTERRICHTSVERPFLICHTUNGEN

Das Labor für Bodenchemie betreut die **bodenkundliche Grundausbildung** an den Abteilungen Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Kulturtechnik und Naturwissenschaften der ETH (Vorlesungen, Uebungen, Praktika, Exkursionen: Sticher): Im Rahmen der Fachausbildung für Oekologen (Abt. XA) wird eine Vorlesung **Bodenchemie** gehalten (Sticher). In Semesterarbeiten werden die Studenten anhand kleiner Forschungsprojekte in die Labortechnik und die bodenkundliche Methodik eingeführt. Diplomarbeiten werden praktisch ausschliesslich an den Abteilungen Landwirtschaft und Naturwissenschaften betreut. Neben Bodenkunde und Bodenchemie ist das Labor am chemischen Grundunterricht für Agronomen und Forstingenieure beteiligt (Vorlesung Allg. und Anorg. Chemie, Chem. Praktikum: Dr. Schmitt).

#### 5. FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Das Schwergewicht der Forschung liegt auf dem **Verhalten der Schwermetalle im Boden**. Die Projekte reichen von der Aufklärung der Adsorptions- und Desorptionsmechanismen bis zu den Schwermetallflüssen in landwirtschaftlichen und naturnahen Ökosystemen. Besondere Beachtung wird der Speciation und der Konkurrenz der Metalle geschenkt.

Die wichtigsten Projekte sind in diesem Band im Detail dargestellt. Daneben gilt

das Interesse der Degradation von organischen Böden sowie der archäologischen Bodenkunde.

#### 6. NEUERE PUBLIKATIONEN (Auswahl)

- |  |   |   |
|--|---|---|
| Juchler, S.<br>Sticher, H., 1985             | Der Totalpbergsturz bei<br>aus bodenkundlicher Sicht  | Geographica Helvetica,<br><b>40</b> , 123-132.                        |
| Juchler, S.,<br>Sticher, H., 1986            | Soils on Serpentinite near<br>Davos (Switzerland)   | Mitt.Dtsch.Bodenk.Ges.<br><b>48</b> , 91-105.                         |
| Juchler, S.<br>Sticher, H., 1987             | Chrom- und Nickeldynamik<br>in Serpentinböden   | Bulletin Bodenkundl. Ge-<br>sellschaft Schweiz, <b>11</b> ,<br>11-17. |
| Presler, J.<br>Sticher, H., 1987             | Die Veränderung des Mikrore-<br>liefs und des Bodeninventars<br>als Folge der durch Moor-<br>sackung und Torfverzehr ver-<br>ursachten Höhenverluste in<br>einem meliorierten Nieder-<br>moorgebiet | Mitt.Dtsch.Bodenk.Ges.<br><b>53</b> , 225-230.                        |
| Schmitt, H.W.<br>Sticher, H., 1986           | *Prediction of heavy metal<br>contents and displacement<br>in soils   | Z. Pflanzenernähr. Bo-<br>denk., <b>149</b> , 157-171.                |
| Schmitt, H.W.<br>Sticher, H., 1986           | Long-term trend analysis<br>of heavy metal content and<br>translocation in soils  | Geoderma, <b>38</b> , 195-207.  |
| Schmitt H.W.<br>Sticher, H., 1987            | Modelle für die Berechnung<br>der Verlagerung von Schwer-<br>metallen in mehrhorizonti-<br>gen Böden  | Mitt.Dtsch.Bodenk.Ges.<br><b>55</b> , 421-426.                        |
| Schüepp, H.<br>Dehn, B.<br>Sticher, H., 1987 | Interaktionen zwischen VA-<br>Mykorrhizen und Schwermetall-<br>belastungen  | Angew. Botanik, <b>61</b> ,<br>85-96.                                 |

- |   |   |  |
|---|---|--|
| Sticher, H.<br>Gasser, U.<br>Juchler, S., 1986    | Die Böden auf Serpentin<br>bei Davos. Entstehung, Ver-<br>breitung, Eigenschaften   | Veröff. Geobot. Inst.<br>ETHZ, Stiftung Rübel,<br><b>87</b> , 275-290. |
| Sticher, H.<br>Gupta, S.K.<br>Schmitt, H.W., 1987 | Auswirkung der Sättigung und<br>Kompetition von Schwermetal-<br>len im Klärschlamm auf die<br>Pflanzenaufnahme  | Schweiz. Landw. For-<br>schung, <b>26</b> , 69-86.                     |
| Sticher, H.<br>Juchler, S.<br>Gasser, U., 1987    | Speciation von Chrom und<br>Nickel in Serpentinböden  | Mitt.Dtsch.Bodenk.Ges.<br><b>55</b> , 433-438.                         |
| Tok, H.H.<br>Sticher, H., 1986                    | The influence of DDT and lin-<br>dane application on the nitri-<br>fication and amonification in<br>some common soil series of<br>Cukurova Region (in Türkisch) | Cevre, <b>1</b> , 47-57.   |

## 7. ADRESSE

Laboratorium für Bodenchemie, ILW  
ETH-Zentrum / LFO  
8092 Zürich

Tel. (Auskunft, Sekretariat): 01 256 33 75

Tonmineralogisches Labor, Institut für Grundbau und Bodenmechanik,  
ETH Zürich

---

Prof. Dr. M. Müller-Vonmoos

Das tonmineralogische Labor des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der ETH-Zürich besteht seit 1960.

Zur Zeit arbeiten drei Akademiker, vier technische Mitarbeiter, drei Doktoranden und eine Teilzeitsekretärin in der Gruppe.

Untersucht werden tonmineralogische Probleme des Grundbaues, die sich vor allem bei der Bearbeitung von Aufträgen stellen, wie Scherverhalten und Hangstabilität, sowie Messung und Berechnung von Quelldruck. Seit 1981 wird im Auftrag der NAGRA die Verwendung von hochverdichtetem Bentonit zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle untersucht. Tonmineralogische Untersuchungen werden seit 1987 auch für die Lagerung mittelaktiver Abfälle durchgeführt. Seit 1980 arbeitet das Institut an der Sanierung Grundwasser-gefährdender Industrieabfall-Deponien mit. So ist das Institut auch beauftragt worden, an der Sanierung der Sondermülldeponie Köllikon mitzuarbeiten.



**Tätigkeiten im Bereich Bodenbiologie der Gruppe Phytomedizin vom  
Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich.**

M. Bieri

Institut für Pflanzenwissenschaften, Phytomedizin ETH, Clausiusstrasse 21,  
8092 Zürich

Erste Arbeiten in Bodenbiologie begannen 1975 mit dem Studium der Carabiden- und der Mikroarthropodenfauna in landwirtschaftlichen Kulturflächen. In diesem Zusammenhang wurden spezielle Sammel- und Extraktionstechniken für Bodenmikroarthropoden entwickelt.

Gegenwärtig sind im Bereich der Phytomedizin folgende Projekte in Bearbeitung:

Studium der Ursachen natürlich vorkommender Suppressivität in landwirtschaftlich genutzten Böden gegenüber bodenbürtigen phytopathogenen Pilzen.

Es konnte gezeigt werden, dass die Böden, welche natürlich das Auftreten von *Thielaviopsis basicola* in Tabak unterdrücken, auf Moränen des Rhonegletschers liegen. Diese Moräne-Böden wiesen im Gegensatz zu den umliegenden Illit-haltigen Molasse-Böden höhere Vermiculit-Gehalte auf. Aus diesen Böden konnten Pseudomonaden (Bakterien) isoliert werden, welche in der Lage sind eine Infektion des Pilzes zu verhindern. Im Labor gelang es mit Vermiculit-Gaben in Quarzsand *T. basicola* mit den Pseudomonaden zu unterdrücken, währenddem mit Illit-Zusätzen keine Suppression von *T. basicola* auftrat. Schliesslich fand man, dass die Pseudomonaden auf das im Vermiculit eingelagerte Eisen angewiesen sind. Dieser Befund steht im Gegensatz zu amerikanischen Ergebnissen. Aus Böden der Ost-Staaten der USA wurden Pseudomonaden isoliert, welche auf Magnesium angewiesen sind.

Projektleitung: Frau Dr. G. Défago.

Studium der Biologie der Bodenraubmilbe *Hypoaspis angusta*.

Die Bedeutung der bodenbürtigen Raubmilben für die landwirtschaftlichen Schädlinge ist noch weitgehend unbekannt. Aus Feldern mit hohem Besatz an Zystenematoden wurden Raubmilben isoliert und nach Nematoden fressenden Arten gesucht. Die Art *H. angusta* erwies sich als Nematodenräuber mit einem breiten Nahrungsspektrum. Gegenwärtig wird die Biologie dieses Tieres in Laborstudien genauer untersucht.

Projektbearbeitung: Frau U. Habersaat

Untersuchungen der Moosfauna in Abhängigkeit lokaler Immissionen.

Anhand faunistischer Untersuchungen in Moospolstern in der Stadt Zürich, welche unterschiedlichen Luftschadstoffbelastungen ausgesetzt waren, will man Aufschluss über deren Verwendung als Indikatoren zur Erfassung von Dauerbelastungen erhalten. Die Ergebnisse werden mit denen von künstlichen Begasungsversuchen verglichen.

Projektbearbeitung: Herr W. Steiner

**Erarbeiten eines Populationsmodells des Tauwurmes (*Lumbricus terrestris* L.).**

Diese Arbeiten sind Bestandteil des Projektes "Simulation der Bioakkumulation und -dispersion von Schadstoffen im Boden, basierend auf einem Populationsmodell von *Lumbricus terrestris* L.)", welches gemeinsam mit dem Institut de Génie de l'Environnement der ETH Lausanne (Dr. J. Tarradellas) bearbeitet wird. Gegenwärtig werden im Labor an der ETH Zürich Studien über den Streueintrag, die Nahrungsaufnahme, die Entwicklungsraten in Abhängigkeit der Umgebungs-Temperatur und die Kokonproduktion vorgenommen. Im Freiland wird parallel zu den Laboruntersuchungen die Dynamik einer Feldpopulation erhoben. Dazu wurden vorgängig Extraktionserfahren und Stichprobenpläne erarbeitet, welche eine zuverlässige Erfassung von Freilandpopulationen des Tauwurmes erlauben.

Projektbearbeitung: Herr O. Daniel

**Erhebungen der Regenwurmfauna in den Beobachtungsflächen des Projektes "Bodenfauna als Bioindikator für die Bodenqualität" im Rahmen des NFP22.**

In dem Gemeinschaftsprojekt von Prof. W. Matthey (Institut de zoologie, Université de Neuchâtel) und Dr. J. Zettel (Zoologisches Institut, Universität Bern) wurden an den 8 Beobachtungsstandorten die Regenwurmerhebungen durchgeführt. Gegenwärtig werden die Erhebungen ausgewertet.

## LA RECHERCHE A L'UNITE "HYDROLOGIE ET AMENAGEMENTS" DE L'EPFL

La recherche à l'unité "Hydrologie et aménagements" de l'Institut de Génie rural (IGRHAM) est orientée essentiellement vers les **aménagements agricoles des terres et des eaux**. Elle vise à fournir des moyens de nature à améliorer:

a) la **planification** des ouvrages en fonction non seulement des objectifs techniques mais aussi des contraintes liées à l'environnement.

b) la **compréhension** et la **modélisation** de certains phénomènes naturels afin d'aboutir à un meilleur dimensionnement des ouvrages et à mieux saisir leur comportement.

c) la **protection** des eaux et du sol, compte tenu de leur utilisation et de leur exploitation dans un contexte technique et climatique donné.

d) la **gestion** des aménagements et des systèmes en regard des ressources naturelles qu'ils utilisent et des demandes qu'il convient de satisfaire.

Les **ouvrages** étudiés concernent surtout les irrigations, l'assainissement agricole, la protection des sols contre l'érosion, le contrôle du ruissellement superficiel, les corrections de cours d'eau et les dispositifs de stockages annuels ou saisonniers. Les principaux **systèmes** analysés portent sur les aménagements hydro-agricoles et fonciers, sur l'équipement rural et sur diverses structures et constructions hydrauliques utilisées en agriculture.

Actuellement, quatre orientations principales sont suivies à l'IGRHAM en matière de recherche, à savoir:

- la **physique du sol**, soit l'étude des états et des transferts de matière et d'énergie dans le sol

- l'**hydrologie** qui étudie les différents processus liés au cycle de l'eau, tels que les précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration, le ruissellement et les écoulements

- l'**érosion hydrique** qui se préoccupe de l'étude des phénomènes naturels d'entraînement des particules de sol par l'eau

- la **téledétection** utilisée pour la détermination de l'occupation du sol et le traitement numérique d'informations pour les besoins de planification et de gestion des aménagements.

ments.

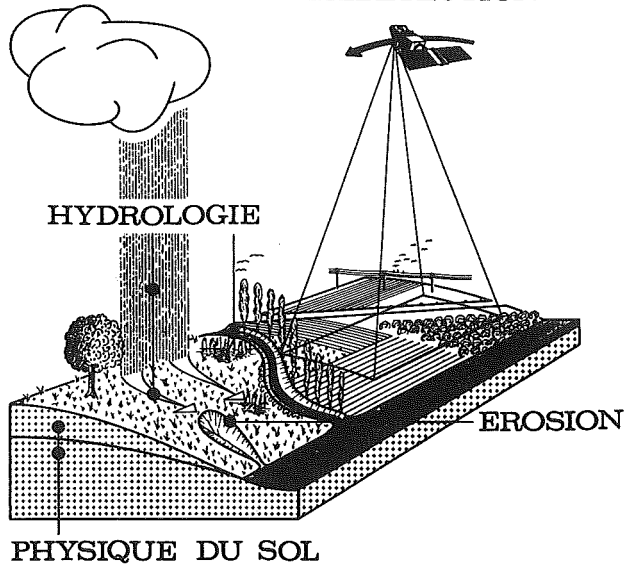
Ces études se développent sur deux plans:

- au **niveau fondamental**, elles visent essentiellement la compréhension et la simulation de certains processus

- en matière de **recherche appliquée**, elles sont orientées principalement vers l'analyse in situ des phénomènes naturels influencés ou non par des aménagements.

L'IGRHAM collabore dans le domaine de la recherche avec de nombreuses institutions suisses et étrangères.

### TELEDETECTION



## LA RECHERCHE A L'UNITE "PEDOLOGIE" DE L'EPFL

L'épiderme de la Terre constitue un milieu unique en son genre dans tout l'Univers: des sols peuvent s'y former et constituer le lieu privilégié à la biosynthèse organique et au développement de la vie. Ce sol, point de contact entre la matière inerte et la matière vivante, sert de support et assure l'alimentation hydrique et minérale des plantes, épure nos déchets et conserve, par son humus, une fraction importante de l'énergie solaire que reçoit la Terre. Les sols sont donc bien des "systèmes entretenant la vie".

Mais les sols constituent également une ressource limitée de la Planète: les terres non cultivables y représentent les 78% de la surface des terres émergées. Dans le même temps, et d'après les estimations de la FAO, 5 à 7 millions d'hectares cultivés dans de mauvaises conditions sont perdus chaque année par dégradation.

Systèmes entretenant la vie, ressource limitée, les sols sont aussi des objets non renouvelables si l'on pense qu'il faut plusieurs milliers d'années pour former, sous nos climats, un sol d'épaisseur inférieure à 30 centimètres. A l'échelle d'une vie humaine tout sol détruit peut donc être considéré comme définitivement perdu pour l'humanité.

L'unité "Pédologie" s'inscrit en droit fil des courants actuels de la Science des sols: connaître scientifiquement le fonctionnement du sol-système pour mieux aménager l'espace rural dans le contexte d'une gestion optimisée respectant l'environnement.

La Science des sols, telle qu'elle est développée à l'EPFL, s'appuie sur les préoccupations du Génie rural proprement dit et sur celles du Gé-

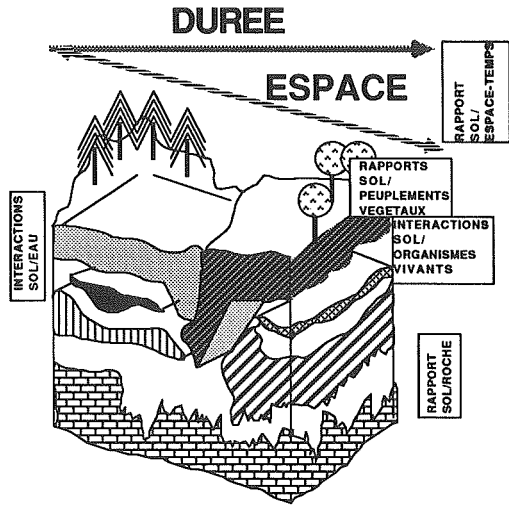
nie de l'environnement dans ses composantes biotechnologiques (réutilisation des déchets dans les agrosystèmes) et écotoxicologiques (dynamique des polluants dans la biosphère continentale). La Science des sols est donc bien une science "carrefour".

Deux secteurs de la Science des sols sont plus particulièrement pris en compte. Il s'agit:

- d'une part de l'étude des relations "sols-espace/temps" qui concerne les recherches relatives à l'étude de la distribution et de la mise en place des sols dans le paysage et ce, à toutes les échelles de l'espace. C'est l'aspect cartographique qui est ici privilégié avec orientation vers la télédétection et l'infographie.

- d'autre part de l'étude des rapports "sols-peuplements végétaux". C'est l'aspect "cycles biogéochimiques" qui est développé. L'approche expérimentale est de règle: expérimentation en halle de végétation sur modèles simplifiés, stations de mesures in situ en écosystèmes naturels complexes.

Dans ces deux contextes, l'aspect "pollution du milieu" par les métaux lourds, l'azote et le phosphore est prépondérant. La prise en compte des mouvements de matière dans le paysage (érosion) est abordé au double plan hydrochimique et isotopique; dans cette optique, les échelles de dimension de la parcelle d'érosion et du microbassin versant élémentaire sont privilégiées.



### LES DOMAINES D'ACTION DE LA SCIENCE DES SOLS

## **Bodenforschung an der FAC-Liebefeld**

### **Schwerpunkte in unserer Bodenforschungstätigkeit 87-90**

- Schwermetalle als Schadstoffe im Boden:
  - o Verhalten im Boden, Löslichkeit, Fixierung, Interaktionen, Untersuchungen in anthropogen belasteten Gebieten
  - o Auswirkungen auf Bodenmikroorganismen
  - o Ueberwachung des Bodens auf Schadstoffe (NABO gem. Verordnung über Schadstoffe im Boden VSBO)
  - o Natürliche Grundgehalte und Akkumulationsgehalte
- Stickstoffumsetzungen im Boden:
  - o Kreisläufe, Dynamik, Mikroorganismen, Nitrat im Bodenprofil, Auswaschung.
- Gewässerschutz :
  - o Nährstoffauswaschung, Lysimeterversuche, Einzugsgebiete, Oberflächenabfluss
- Bodenbelastung durch Ueberdüngung, einseitige Fruchtfolge und Bewirtschaftung
- Methodik, Grundlagen, Automatisierung , Beratung

### **Auswirkungen der bisherigen Tätigkeiten auf die Umweltschutzgesetzgebung**

- Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBO)
- Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung)
- Gewässerschutzgesetz

## DIE BODENKUNDLICH ORIENTIERTEN TÄTIGKEITSBEREICHE DER FORSCHUNGSANSTALT ZÜRICH - RECKENHOLZ

---

K. PEYER

Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau Zürich - Reckenholz

Bodenuntersuchungen gehören zu den traditionellen Tätigkeiten der Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz (bis 1968 Zürich-Oerlikon). Neuere Tätigkeitsgebiete sind die Bodenkunde und die Bodenkartierung, einschliesslich die Untersuchungen zum Sickerwasserschutz, sowie die Bodenbiologie.

### Gruppe Bodenkunde

Einen Schwerpunkt bildet die Erforschung des Gefüges im Ackerboden. In langjährigen Fruchtfolgeversuchen auf verschiedenen Böden will man den Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungs- und Bearbeitungssysteme auf das Bodengefüge kennen lernen. Methodische Verbesserungen zur Gefügeanalyse sind ein weiteres Ziel der Untersuchungen. Erste Ergebnisse zeigen, dass mit einfacheren, z.T. auch mit pfluglosen Bearbeitungsverfahren ein gutes Gefüge des Bodens und angemessene Ackererträge zu erreichen sind. Diese Resultate zusammen mit solchen aus dem Projekt "Verdichtungsgefährdete Ackerböden der Schweiz" des NFP-Programms "Boden" sollen in die praktische Beratung umgesetzt werden.

Mit der Versuchsanlage der wägbaren Grosslysimeter soll in einem längerfristigen Projekt der Wasserbedarf verschiedener Kulturen einer Fruchtfolge ermittelt werden. Dazu wird der Einfluss des Wasserhaushalts zweier verschiedener Böden, der Temperatur und der Strahlung auf den Ertrag sowie die Qualität von Ackerfrüchten untersucht. Wichtige Ergebnisse, insbesondere auch über Sickerverluste, werden halbjährlich in den "Mitteilungen für die Schweiz. Landwirtschaft", ab Juni 1988 "Landwirtschaft-Schweiz", publiziert.

Ebenfalls als langfristig ist das Forschungsvorhaben "Ertragsvermögen von Bodenformen" zu betrachten. 12 verschiedene Böden werden im Reckenholz unter gleichen Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen (gleiche Fruchtfolge) in Betonparzellen auf ihr Ertragsvermögen geprüft. Eine Vertiefung der Erkenntnisse erfolgt in einer künftigen Untersuchungsreihe zur systematischen bodenphysikalischen, -chemischen und biologischen Charakterisierung wichtiger Ackerstandorte des schweizerischen Mittelandes.

Eine wichtige Rolle spielen die Untersuchungen über die pflanzenbau- und umweltgerechte Rekultivierung vorübergehend nicht landwirtschaftlich genutzter Bodenflächen, wie aufgefüllte Kiesgruben, Abfalldeponien etc.. Mehr und mehr dienen solche bodenkundlichen Gutachten als Grundlage zur Bewilligung grösserer Bodenveränderungsvorhaben (Materialentnahme, Deponien, Strassen- und Leitungsbau, etc.) durch kantonale Instanzen.

### Gruppe Bodenkartierung

Ein Team von wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern ist in 31 regionalen Detailbodenkartierungen tätig. Ueber die wichtigsten Ziele sowie ausgewählte Ergebnisse der Tätigkeit der Bodenkartierung der FAP orientiert ein Beitrag in diesem Bulletin. Während vor einigen Jahren die Bodenbewertung in Güterzusammenlegungen als praktisches Ziel bei Bodenkartierungen dominierte, steht heute die Boden- und Standortbeurteilung als Grundlage für den Sickerwasserschutz im Vordergrund. Im Kanton Zürich soll beispielsweise in den nächsten Jahren eine flächendeckende Bodenkartierung im Massstab 1:5000 eine Basis für umweltgerechte Landbaunutzung und den Schutz vor Nitratauswaschungen ins Grundwasser bilden.

Die systematische Kartierung der Bodenverhältnisse M 1:25 000 des Landwirtschafts- und Waldareals wird weitergeführt. Vermehrt wird künftig die Bodenkarte 1:25 000 in EDV-gestützter Form und mit interpretativen Folgekarten dargestellt, um ihr zu einem grösseren Anwendungsbereich zu verhelfen.

### Gruppe Bodenbiologie

Kenntnisse über die potentielle Stickstoffnachlieferung des Bodens in einem bestimmten Zeitpunkt sind dringend erwünscht. Die  $N_{mob}$ -Anteile, vor allem des Ackerbodens im Frühling, sollen mit praxisfreundlichen Laborverfahren ermittelt werden. Methodische Vergleiche und Eichuntersuchungen in Ackerbauversuchen stehen vor einem vorläufigen Abschluss.  $N$ -Nachlieferungsdaten sollen die  $N_{min}$ -Werte bei einer umweltschonenden und pflanzenbaufördernden  $N$ -Düngung ergänzen. Daneben befasst sich diese Gruppe mit der bodenbiologischen Charakterisierung ausgewählter landwirtschaftlicher Standorte in allen Landesteilen der Schweiz. Erste Ergebnisse wurden auch anlässlich der ISSS-Exkursion 1986 (Alpentransversale) präsentiert. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Suche nach Einflussfaktoren für die biologische  $N$ -Bindung in Kulturen, bei welchen die Symbiose mit Rhizobien nutzbar gemacht werden kann. Informationen zur Bodenbiologie FAP enthält der nachfolgende Beitrag auf Seite 163.

### Gruppe Bodenuntersuchung und Düngungsberatung

Wie zu Beginn erwähnt, gehört diese Forschungsgruppe zu den ältesten der FAP. Neu ist jedoch, dass die Zielsetzung der Düngung im Feldbau vielfältiger und die Verwirklichung des Ziels komplizierter geworden sind. Das dabei im Vordergrund stehende Düngungskonzept der Forschungsanstalten basiert auf der schlagbezogenen Untersuchung von Bodenproben im Labor ( $N_{min}$ ,  $P$ ,  $K$  und  $Mg$ ), deren Kennzahleninterpretation auf eine laufende Eichung in Gefäss- und Feldversuchen angewiesen ist.

Forschungsschwerpunkte: Allgemein: Bodenkunde im Bereiche der Spezialkulturen  
Speziell: Bodenmikrobiologie,  
Düngung, insbesondere Stickstoff-Problematik

**Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft  
und Landtechnik, FAT, 8356 Tänikon/TG**

Die Forschungsanstalt Tänikon, FAT, befasst sich mit betriebswirtschaftlichen und landtechnischen Fragen und Entwicklungen der schweizerischen Landwirtschaft. Im landtechnischen Bereich werden im Zusammenhang mit dem Befahren und Bearbeiten der Kulturböden Fragen der Struktur und Ertragsfähigkeit behandelt. Diese mechanischen Einwirkungen auf den Boden bewirken sowohl physikalische als auch chemische und biologische Veränderungen.

Fragen unterschiedlicher Einwirkungen durch das Befahren auf das Bodengefüge werden sowohl im Rahmen eines Projektes des nationalen Forschungsprogrammes "Boden" an 40 Standorten in der Schweiz untersucht als auch in einem 6-jährigen Feldversuch an der FAT studiert. In beiden Projekten werden Belastungs- und Beanspruchungskalkulationen durchgeführt und diese Werte auf Zusammenhänge mit physikalischen Bodeneigenschaften (Porengrößenverteilung, k-Wert, Krümelstabilität etc.) überprüft. Die Versuche auf dem Standort Tänikon erstrecken sich zudem auf bodenchemische und -biologische Parameter. Dazu besteht eine entsprechende Zusammenarbeit mit diversen Instituten, namentlich mit der Forschungsanstalt Reckenholz. Die FAT selbst verfügt über keine Bodenlabors.

Bodenbearbeitungsversuche umfassen sowohl konventionelle als auch konservierende Verfahren wie z.B. Mulchsaat. Zur Beurteilung neuer Techniken und Systeme werden bodenphysikalische, -chemische und -biologische, aber auch pflanzenbauliche Parameter beigezogen. Neue landtechnische Lösungen werden einem Verfahren zugeordnet und in bezug auf deren Wirtschaftlichkeit beurteilt.

E. Kramer



## RAC - CHANGINS, Section SOL ET FERTILISATION

Activités liées à l'étude du sol. J.A. NEYROUD, 1260 NYON

L'effectif des collaborateurs de la Station fédérale de Recherche Agronomique de Changins (RAC) rattachés à l'étude du sol est de 3 scientifiques et 9 collaborateurs techniques. Il convient d'ajouter les collaborateurs de Sol-Conseil: 2 sci. et 3 collab. Sol-Conseil assure l'analyse et le conseil de fumure des échantillons en provenance du Tessin et de la Suisse Romande, pour tous types de cultures. Sa collaboration avec RAC est très étroite, chaque partenaire en retire un précieux bénéfice. Sol-Conseil s'occupe aussi de gestion de boues.

Plusieurs autres équipes de la RAC consacrent une partie de leur temps à l'étude du sol. Citons entre autres:

- Sct Agroclimatologie: irrigation
- Sct Mycologie: fatigue et maladies du sol
- Sct Phytotechnie: rotations, travail du sol
- Tous spécialistes de cultures: normes de fumure

## AGRO-PEDOLOGIE

La pédologie au sens strict n'est que peu pratiquée à la RAC, suite à un partage des tâches avec Reckenholz. Des descriptions de sols sont néanmoins souvent exécutées, en utilisant la plupart des critères admis par la SSP.

L'étude pédologique d'un sol apporte un heureux complément aux observations et mesures chim et phys, ainsi qu'à la connaissance de l'histoire culturelle récente de la parcelle. Elle permet l'appréciation au champ par des personnes convenablement formées. Une collaboration avec la vulgarisation a permis à ce jour de montrer à beaucoup d'agriculteurs l'importance du sol en place et des limitations naturelles ou anthropiques à sa fertilité. Actuellement nous développons des méthodes de diagnostic rapide devant le profil cultural, et montrons la contribution de la pédologie dans des travaux interdiscipli-

naires sur des "domaines à techniques intégrées".

L'acidité ou la richesse en humus de certains sols cultivés posent des problèmes: opportunité du chaulage, effet fertilisant décevant de la mat. org. et du phosphore, toxicité éventuelle de l'aluminium, ...

La nuance d'appréciation entre un métal lourd et un oligo-élément est faible. Nos plantes cultivées, de plus en plus dépendantes de l'engrais minéral, parviennent-elles encore à s'approvisionner? Notion de qualité nutritionnelle des produits.

Les métaux en traces, comme les autres d'ailleurs, sont dosés grâce à des méthodes et des instruments toujours plus sophistiqués. En période de restriction budgétaire, le renouvellement est difficile, que dire de nouvelles acquisitions?

#### FERTILISATION

Nos sols sont souvent bien pourvus en éléments fertilisants, et l'on se préoccupe maintenant des équilibres souhaitables entre eux. Ceci est particulièrement le cas en viticulture où les normes de fumure tendent très nettement à la baisse. Un système de culture est soumis à des pertes en éléments fertilisants qui sont d'autant plus élevées que le système est plus intensif. Comme les pertes portent préjudice à l'environnement, une préoccupation nouvelle a vu le jour, visant à une utilisation optimale des engrais et limitant le risque de perte par diverses techniques de fractionnement et de mode de culture.

Des mesures en cases lysimétriques ou en serre sont complétées par des mesures de fluctuations mensuelles des teneurs en plein champ et par des comparaisons entre plusieurs méthodes d'extraction de fertilisants du sol. Les résultats escomptés permettront de mieux dispenser le conseil de fumure et d'adapter encore mieux les normes aux besoins réels des plantes. Cette solution par l'amélioration de la connaissance nous paraît préférable à toute autre solution "juridique" qui taxerait les engrais afin d'en restreindre l'emploi.

La mise en valeur des résultats accumulés depuis des années est devenue possible grâce au traitement électronique des données (TED). Celui-ci exige non seulement un investissement financier considérable, mais encore une adaptation des esprits aux concepts informatiques, ce qui prend un certain temps. Le potentiel TED des analyses de sol (100 000 dosages/an) ne sera exploitable qu'après la formation adéquate du personnel.

La fumure azotée occupe une place à part dans la fertilisation. Constatons d'emblée que la mise à disposition de l'azote pour la plante résulte principalement de phénomènes biochimiques (enzymes, ..) et que nous tentons - souvent maladroitement - de comprendre ce phénomène par une approche exclusivement chimique. Ce seul fait explique une grande partie des succès rencontrés à ce jour. Le dosage  $N_{\min}$  du sol s'avère utile pour la prévision du besoin des céréales d'automne, en utilisant une méthode de bilan du N. L'analyse du  $N_{\min}$  permet aussi de signaler les cas d'enrichissement excessif de sols maraîchers et le risque de produire des légumes trop riches en nitrates. Pour les autres cultures, la prévision par  $N_{\min}$  du besoin ne peut être donnée avec assez de certitude.

Azote mobilisable du sol: sous ce vocable se cachent plusieurs définitions et modes de détermination. La mesure du potentiel de minéralisation de l'azote par incubation est excellente, mais (trop?) longue. Nous testons divers agents d'extraction de l'azote mobilisable du sol, dont la valeur prédictive paraît excellente sur des sols ne recevant pas de fertilisation azotée, mais diminue sur des sols normalement fertilisés.

La matière organique du sol est étudiée par le biais de l'effet fertilisant des amendements organiques (effet N surtout). Ce travail s'étend également à des applications nouvelles, par exemple à l'étude des substrats de culture à base des déchets les plus divers, bruts ou préalablement compostés. La teneur souhaitable en humus d'un sol cultivé continue à susciter des discussions, et à montrer l'intérêt des essais de longue durée.

## PHYSIQUE DES SOLS

L'étude physique du sol a permis à ce jour de quantifier les principales qualités souhaitables d'un sol cultivé, ainsi que ses défauts, résultant plus particulièrement d'erreurs d'appréciation du cultivateur: tassement,.. L'effet des diverses techniques culturales sur l'état physique du sol est régulièrement suivi par l'analyse en laboratoire. Les travaux dans le cadre du PNR 22 ont ouvert une nouvelle discipline, la mécanique des sols, qui permet de mieux comprendre l'effet physique des diverses contraintes appliquées par les machines. Des méthodes d'appréciation de la consistance et de la cohésion du sol agricole sont mises au point.

## ACTIVITES ANNEXES A L'ETUDE DU SOL

Le diagnostic foliaire, analyse de la composition chimique du végétal, constitue un heureux complément à l'analyse du sol, mais ne suffit pas à lui seul à clarifier toutes les situations.

Le bilan hydrique du sol permet de mieux évaluer l'opportunité de l'irrigation. On fait appel ici à des tensiomètres et aux données de la météo.

La fatigue du sol se caractérise par un syndrome d'affaiblissement général du végétal. Elle est mise en évidence par plusieurs tests permettant d'exclure successivement des causes biologiques, chimiques, phytosanitaires,...

## CONCLUSION

Nous éprouvons quelque difficulté à exécuter l'ensemble de nos projets avec un effectif assez limité. Il ne faut en effet pas oublier qu'une Station Agronomique consacre une grande partie de ses efforts à des activités de conseil, de contrôle et de transmission à la pratique. Par rapport à un Institut Universitaire, ceci constitue un handicap sérieux, compensé par l'assurance de la continuité des projets et des personnes en place.

**Die Bodenkunde an der EAFV in Birmensdorf****Peter Blaser**

An der Versuchsanstalt sind gegenwärtig folgende Personen mit bodenkundlichen Projekten beschäftigt:

**Projektleiter****Peter Blaser****Peter Lüscher****Jörg Luster****Als Mitarbeiterinnen im Labor wirken:****Frau A.Diarra****Frau L.Meier**

Ferner können für bestimmte Arbeiten die Dienstleistungen des Zentrallabors in Anspruch genommen werden.

**Definition des Auftrages**

In Uebereinstimmung mit dem allgemeinen Auftrag der Versuchsanstalt ist die Forschung so ausgerichtet, dass sie für die schweizerische Forstwirtschaft die notwendigen Grundlagen erarbeitet, für:

- \* Bestandesbegründung
- \* Bestandespflege
- \* Walderhaltung

## Vorstellung der wichtigsten Projekte

### 1. Standorts- und Bodenbeurteilung

Am Anfang jeder bodenkundlichen Arbeit steht eine möglichst genaue Profilsprache. Es gehört zu den permanenten Aufgaben der Bodenkunde EAFV, die Methodik der Feldaufnahme sowie die Möglichkeiten der Interpretation zu verbessern und in geeigneter Form der Praxis zugänglich zu machen.

Zur Vertiefung der Kenntnisse werden ausgewählte, möglichst typische Bodenprofile mit den klassischen chemischen und physikalischen Methoden untersucht. Die Eigenschaften solcher "Leitprofile" werden zusammen mit weiteren standorts- und ertragskundlichen Daten interpretiert. Eine Sammlung solcher Leitprofile wird unter der Bezeichnung "Lokalformen" veröffentlicht. Diese Sammlung ist nicht abgeschlossen.

Weiter wird versucht, die Erkenntnisse der genau untersuchten Lokalformen mit Hilfe von Analogieschlüssen auf Standorte mit ähnlichen Bodenbildungsfaktoren zu übertragen. Zu diesem Zweck wird die Bodeneignungskarte der Schweiz (1:200'000) herangezogen. Durch zusätzliche Nutzung der im LFI erhobenen standortkundlichen Grössen ist es gelungen, einen ersten groben Überblick über die Waldstandorte der Schweiz zu erarbeiten.

### 2. Chemismus von Oberbodenproben aus Waldböden.

Diese Untersuchungen stehen in Zusammenhang mit der Bodenschutzverordnung, in der die Überwachung und Beurteilung der Schadstoffbelastung des Bodens festgelegt ist. Die Beurteilung der Schadstoffbelastung erfolgt anhand von sog. Richtwerten, die von unseren Kollegen in Liebefeld erarbeitet werden müssen. Zur Festsetzung solcher Richtwerte braucht man u.a. ein einigermaßen gesichertes Wissen über die natürlicherweise vorkommenden Konzentrationen der zur Diskussion stehenden Elemente und zwar bezogen auf :

- ein geochemisch definiertes Ausgangsmaterial
- eine Boden- oder Humusform
- eine Vegetationsart usw.

Im Rahmen des LFI bestand die Gelegenheit, von jeder Stichprobe eine Oberbodenprobe einsammeln zu lassen. Diese ca. 11'000 Proben wurden aufgearbeitet und archiviert. Mit verschiedenen Methoden werden an ausgewählten Probenkollektiven die Elemente extrahiert und bestimmt. Auf diese Weise soll eine statistische Basis erarbeitet werden, auf welcher die Festlegung von Richtwerten besser abgestützt werden kann.

### 3. Humusformen

Generell sind kurzfristige Veränderungen chemischer, physikalischer oder morphologischer Bodenmerkmale kaum oder nicht feststellbar. Am schnellsten reagiert die Streuschicht und mit etwas Geduld lassen sich allenfalls Veränderungen der Humusform registrieren.

Im Zusammenhang mit dem sog. Waldsterben ist bekannt, dass die weitherum feststellbare Kronenverlichtung vieler Bäume zwangsläufig einen stärkeren Streufall nach sich zieht. Dieser kann, zusammen mit anderen Faktoren (saurer Niederschlag, Eintrag von Nährstoffen), zu einer veränderten Humusbildung führen. Im Rahmen einer Dissertation untersucht Peter Lüscher Humusbildung und Humusumwandlung in verschiedenen Waldbeständen. Diese Untersuchungen beinhalten eine genaue Messung des Streueintrages über eine Beobachtungszeit von 2-3 Jahren sowie morphologische, chemische und physikalische Untersuchungen zur Humusbildung.

### 4. Komplexierungseigenschaften von wasserlöslichen, organischen Komplexbildnern

Wasserlösliche, organische Stoffe, die aus Streuschicht, Humus oder als Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln in den Boden gelangen, können mit vielen wichtigen Metallen stabile Komplexe bilden und damit in den Haushalt dieser Stoffe eingreifen. In einem ersten Ansatz wurde die Komplexierung von Cu, Fe und Al durch wasserlösliche organische Stoffe aus frischer Laubstreu untersucht. Dazu mussten zuerst geeignete Methoden geprüft oder entwickelt werden, mit denen die Komplexbildung im pH-Bereich 4-9 gemessen werden kann. Mit unterschiedlichem Erfolg kamen folgende Methoden zum Einsatz:

- \* spektroskopische Methoden
- \* Dialysetechnik
- \* Ionentauscher
- \* Bioassay-Technik

Bis anhin ist es gelungen, die Komplexierung der drei oben genannten Elemente durch die WS aus Kastanienlaubstreu recht gut zu bestimmen und die experimentell ermittelten konditionalen Stabilitätskonstanten modellmässig in pH-unabhängige Konstanten umzurechnen. Dadurch können solche Konstanten in allgemeine Spezierungsprogramme eingebaut werden (GEOCHEM).

Eine Weiterentwicklung dieser Komplexierungsstudien stellt die Arbeit von Herrn Luster dar, der im Rahmen seiner Dissertation die

#### 5. Cu-Komplexierung durch Fraktionen der organischen Substanz aus wässrigen Streuextrakten

studiert.

Herr Luster versucht herauszufinden, ob sich die organische Substanz aus Streuextrakten in komplexchemisch deutlich unterscheidbare Fraktionen auftrennen lässt und ob zwischen Strukturmerkmalen und Komplexbildungseigenschaften dieser Fraktionen korrelative Zusammenhänge bestehen. Auf diese Weise hofft er Hinweise auf das "Wie" der Metallbindung zu erhalten.

#### 6. Bodenwasser-Projekt

In diesem Projekt wird die Bodenlösung in situ mit geeigneten Unterdrucklysimetern gewonnen. Das Ziel dieser Untersuchung besteht darin, die Zusammensetzung der Bodenlösung in Abhängigkeit von

- \* Bodentyp
- \* Horizont
- \* Jahreszeit
- \* Vegetation
- \* Düngungsmassnahmen

charakterisieren zu können. Zusätzlich wird versucht, zwischen organisch gebundenem und "freiem" Aluminium experimentell zu unterscheiden, um so die in den speziellen Bindungsstudien ermittelten Bindungsparameter überprüfen zu können.



Laboratoires ACEPSA; Oulens

MESURE DE LA VITALITE DES MILIEUX VIVANTS AU MOYEN DU  
 =====  
 SYSTEME INTEGRE D'ANALYSE PAR BIOLUMINESCENCE NIVAC.  
 =====

Le système NIVAC a été conçu spécifiquement pour l'analyse par bioluminescence des adénines nucléotides (ATP, ADP et AMP) dans tout matériel d'origine biologique, simple ou complexe.

Le système NIVAC comprend 3 types de produits qui permettent de prendre en charge l'intégralité de l'analyse, de l'extraction des molécules à analyser, à l'exploitation des résultats.

Ces 3 produits sont :

- NIVAC 260 : préparateur et analyseur automatique, de conception modulaire et adaptable à de nombreuses applications analytiques.
- NIVAC PROGRAM : logiciels de commande et d'exploitation de l'appareil.
- NIVAC CHEMIC : kits de réactifs prêts à l'emploi.

Ce système a été entièrement développé en Suisse par les laboratoires ACEPSA, à Oulens, et par NIVAROX-FAR SA, au Locle. Il s'agit d'une nouveauté susceptible d'intéresser au plus haut point les sciences du sol et l'agronomie.

Sektion Boden und allgemeine Biologie, Bundesamt für Umweltschutz, Bern

---

Bodenschutz beim Bundesamt für Umweltschutz

Aus dem Organigramm des Bundesamts für Umweltschutz geht hervor, wo Fragen des Bodenschutzes bearbeitet werden. Gemäss konzeptioneller Vorgabe des Umweltschutzgesetzes aus dem Jahr 1983 ist der Bodenschutz, bzw. die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, in den Bereichen der Luftreinhaltung, der umweltgefährdenden Stoffe und der Abfälle sicherzustellen.

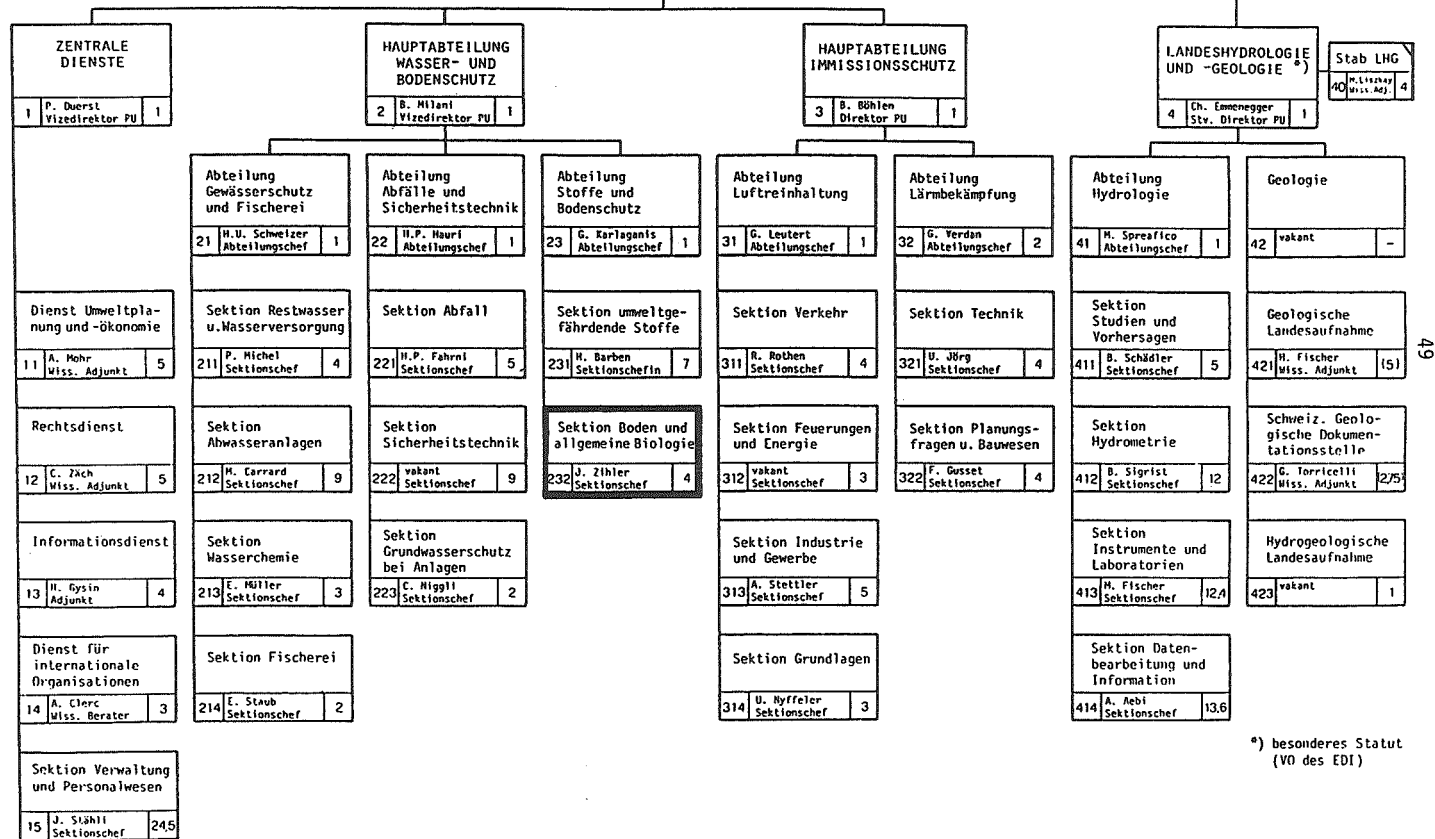
Direkt mit dem Bodenschutz gemäss der Verordnung vom 9. Juni 1986 über Schadstoffe im Boden (VSBo) und der Verordnung vom 9. Juni 1986 über umweltgefährdende Stoffe (StoV, Anhänge 4.3 und 4.5 über den Einsatz von Pflanzenbehandlungsmittel und Dünger) befasst sich die mit drei Mitarbeitern dotierte Sektion Boden und allgemeine Biologie. Der Sektionschef (Biologe) und zwei Mitarbeiter (Agronomen) bearbeiten sämtliche Fragen administrativer und grundsätzlicher Art, die mit dem Bodenschutz zu tun haben. Sie stellen auch innerhalb des Bundesamts die Querverbindung zu bodenschutzrelevanten Tätigkeiten anderer Sektionen und Abteilungen sicher.

Nach aussen bestehen enge Kontakte zur NABO-Fachstelle der Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene in Liebefeld (FAC), sowie zu in- und ausländischen Fachvereinigungen, Instituten und Behörden, welche Bodenschutzfragen bearbeiten. Ein Schwerpunkt bildet auch die Information und die Aufklärung der Oeffentlichkeit und von Berufsverbänden über Fragen des qualitativen Bodenschutzes.

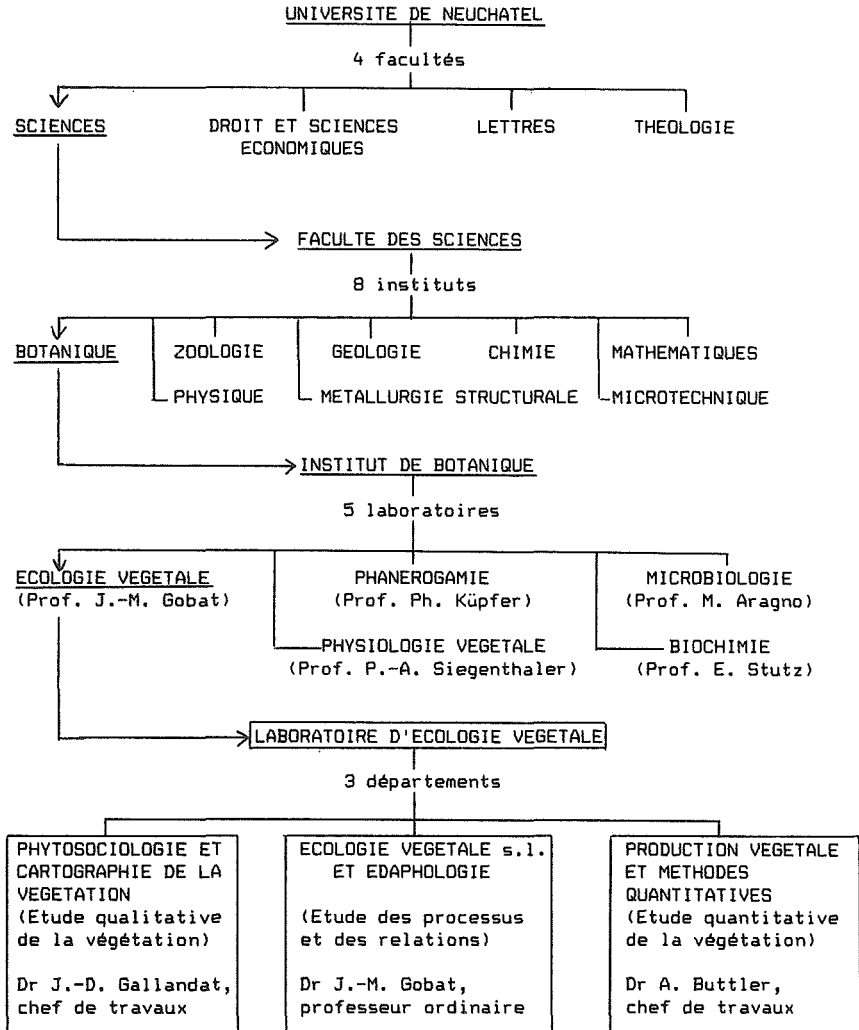
Mit Hilfe des dem Bundesamt zur Verfügung stehenden Forschungskredits können hin und wieder dringende Fragen zum Bodenschutz gezielt an geeigneten Instituten untersucht werden. So ist gerade vor kurzem eine Arbeit an der FAC mit einer umfassenden Veröffentlichung abgeschlossen worden (Stadelmann, F.X. und Santschi, E., Beitrag zur Abstützung von Schwermetall-Richtwerten im Boden mit Hilfe von Bodenatmungsmessungen, Januar 87).

---

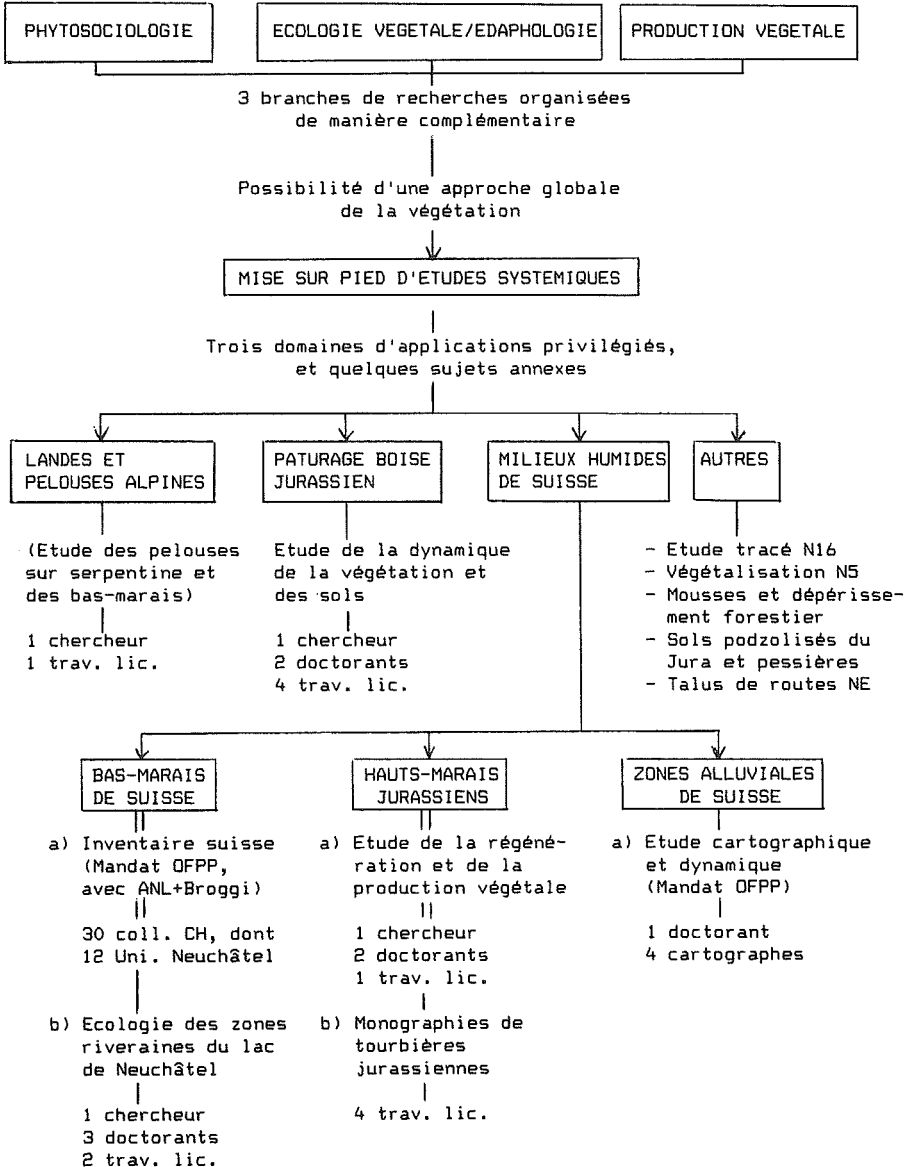
DIREKTION		
DIREKTOR	:	B. BÖHLEN
STV. DIREKTOR	:	CH. EMMENEGER
VIZEDIREKTOREN:		P. DUERST
		B. MILANI
319	0	169,5



<sup>\*)</sup> besonderes Statut (VO des EDI)

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE VÉGÉTALE, UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL1. Situation du laboratoire au sein de l'Université

## 2. Domaines de recherches (Etat au 1.3.1988)



### 3. Buts des études pédologiques dans notre laboratoire

- a) Définir les conditions de répartition des groupements végétaux, par une description mixte et complémentaire de la station

Moyens: - Description de terrain  
 - Analyses classiques de laboratoire  
 - Analyses particulières, adaptées à la compréhension de la végétation, et aux types de matériaux rencontrés (tourbes p. ex.)

- b) Définir les conditions pédologiques de la production primaire et des cycles biogéochimiques

Moyens: - Approche globale du sol: litière, formation de l'humus, etc.  
 - Etudes complémentaires en hydrodynamique et hydrochimie  
 - Relations étroites avec microbiologie et écologie animale

- c) Préciser certains cas où la description de la végétation le nécessite

Moyens: - Calcul d'indices (valeurs indicatrices de l'écologie et relation avec les analyses édaphiques, p. ex.).  
 - Utilisation de fiches codées de description simplifiée des sols (p. ex. pour le degré de maturation des terrasses alluviales)

- d) Obtenir une description complète de milieux naturels de référence pour le canton de Neuchâtel, en vue d'une utilisation sylvicole, aménagiste, etc.

### 4. Niveau d'intégration des recherches

Le laboratoire fait ses recherches dans les niveaux d'intégration III et IV des systèmes naturels (cf tableau ci-dessous).

J. Zettel

Zoologisches Institut der Universität Bern,  
Baltzerstr. 3, 3012 Bern

Die Abteilung Synökologie unseres Institutes umfasst 4 Arbeitsgruppen: Hydrobiologie (Prof. P. Tschumi), Ornithologie (Prof. U. Glutz von Blotzheim), ökologische Genetik (PD J. Fischer) und Bodenzoologie (PD J. Zettel). Letztere wurde seit 1976 aufgebaut und beschäftigt sich bisher hauptsächlich mit Mikroarthropoden (Milben und Springschwänze).

In der Bodenzoologie können allgemein 3 Themenblöcke unterschieden werden, welche unter sich in enger Beziehung stehen.

- Ökologie einzelner Arten: weil die Bodentiere in der Regel sehr klein sind (in einem Zündholzkopf haben rund 100 Milben und Springschwänze Platz) und sich in einem für Direktbeobachtungen nicht zugänglichen Lebensraum aufhalten, sind ihre Biologie, ihre ökologischen Ansprüche und ihre Funktionen für den Stoffhaushalt und -kreislauf weitgehend unbekannt.
- Interaktionen und funktionale Aspekte der Bodenfauna: obschon bereits Darwin die überragende Bedeutung der Regenwürmer für den Boden erkannte, blieb die Bodenfauna lange nur ein Betätigungsfeld für Taxonomen. In den letzten Jahrzehnten und Jahren mehrten sich die Erkenntnisse, dass auch andere faunistische Gruppen (z.B. Nematoden, Milben, Collembolen, Fliegen- und Mücken-Larven) eine wesentliche Rolle im Stoffhaushalt unserer Böden spielen, sei es als Zerkleinerer von Streu, als Beweider von mikrobiellen Populationen oder sogar als Nährstoff-Freisetzer aus Bakterien und Pilzen.
- Bioindikation: viele Bodentiere reagieren empfindlich auf Veränderungen ihrer Umgebung, seien sie chemischer, physikalischer oder biologischer Natur. Deshalb können sie als Indikatoren für den Zustand, die Qualität des Bodens, verwendet werden. Bioindikatoren wären ein wertvolles, integrierendes Instrument zur Beurteilung unserer Böden, wenn dieses einfach anzuwenden wäre. Bisherige Untersuchungen lassen sich in der Praxis nur schwer verwenden.

In allen 3 Themenbereichen bestehen noch grosse Lücken im Grundlagenwissen, die einen Einsatz der Bodenfauna in der Erforschung der biologischen Vorgänge im Boden erschweren.

In unserer Arbeitsgruppe widmen wir uns drei Forschungsbereichen. Ein Erster, der hier nicht weiter dargestellt werden soll, umfasst ökophysiologische Arbeiten zur Überwinterungsstrategie alpiner Collembolen. Ein zweiter widmet sich der Bodenfauna von Wäldern, deren Beteiligung am Streuabbau und Beeinflussung durch saure Niederschläge (bisher 1 Diplomarbeit, 1 laufende Dissertation). Ein dritter Themenbereich befasst sich mit der Bodenfauna von landwirtschaftlich genutzten Böden. Untersucht werden die Einflüsse von Bodenbearbeitung, Düngung und Hilfsstoffen (bisher 7 Diplomarbeiten und 2 laufende Dissertationen). In der Folge sollen einige Resultate summarisch dargestellt werden.

Seit 1976 begleiten wir einen Bodenbelastungsversuch der FAC Liebefeld bodenzologisch. In Dauergrünlandparzellen wird der Einfluss von mineralischer Volldüngung, Schweinegülle (5t OS/ha a) und Klärschlamm (2, bzw. 5t OS/ha a) auf die Boden-Mikroarthropoden verfolgt und mit den Verhältnissen in den ungedüngten Kontrollparzellen verglichen. Ueber die bisher 3 Untersuchungsperioden (1976/77, 1979/80, 1986) zeigen sich deutliche Sukzessionen, welche als Einpendeln in ein neues Gleichgewicht zu verstehen sind (vorher organisch gedüngter Acker). Während die Bestände in allen gedüngten Parzellen langfristig auf ca. 50% zurückgingen, lagen sie 1986 in den ungedüngten Parzellen für Collembolen bei 75% und für Milben bei 135%. Schweinegülle beeinträchtigte die Collembolen weniger als Klärschlamm, beide Klärschlamm-Konzentrationen wirkten sich in gleichem Umfang negativ aus (WALTER 1980, TSCHUMI 1981, BACHMANN 1981, BREUER 1983, ZETTEL & KLINGLER 1983, MAERKI in prep).

In einem Vergleich von biologisch-dynamisch, biologisch-organisch und konventionell bewirtschafteten Wintergetreidefeldern zeigten sich folgende Tendenzen: Biologisch bewirtschaftete Felder wiesen eine grössere Formenvielfalt und mehr Ameisen auf als konventionelle Aecker. Ernte und Herbizideinsatz beeinträchtigten die Bewohner der tieferen Schichten kaum; Bodenbruch wirkte sich über das ganze Profil negativ aus (ISENSCHMID & STOECKLI 1982).

Ein Vergleich von begrüneten und unbegrüneten Rebbergböden am Bielersee ergab eine bis 20x höhere Besiedlung durch Mikroarthropoden in begrüneten Parzellen, wo dank gepuffertem Mikroklima und optimalem Nahrungsangebot wesentlich günstigere Lebensbedingungen für die Bodenfauna herrschen; entsprechend war auch der Gehalt an organischer Substanz in unbegrüneten Parzellen deutlich niedriger. Bodenbearbeitung wirkte sich sehr negativ aus, mechanische Unkrautbekämpfung reduzierte die Populationen stärker als chemische. Die besonders empfindlich reagierenden Hornmilben (Oribatiden) waren in der biologischen Parzelle am häufigsten, die ebenso als Indikatoren geeigneten Kugelspringschwänze (Sminthuriden) traten überhaupt nur in dieser Parzelle in Erscheinung. (TROXLER 1986, TROXLER & ZETTEL 1987).

Im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 22 "Nutzung des Bodens" bearbeiten wir zusammen mit Prof. W. Matthey (Zoologisches Institut der Universität Neuenburg, Makroarthropoden) und Dr. M. Bieri (Institut für Phytomedizin, ETH Zürich, Regenwürmer) das Teilprojekt "Die Bodenfauna als Bioindikator für die Bodenqualität". Die Erhebungen sind noch nicht abgeschlossen, die bisherigen Resultate aber erfolgversprechend.

## RESUME

A l'Institut de Zoologie de l'Université de Berne, un groupe de travail s'occupe des microarthropodes du sol (collembolés et acariens). Les thèmes dominants sont l'influence de différentes fumures et méthodes de culture sur la pédofaune ainsi que l'utilisation de différents éléments de la pédofaune comme bioindicateur pour la qualité des sols.



## LITERATUR

- BACHMANN, B. (1981).- Einfluss von Klärschlamm, Schweinegülle und mineralischer Volldüngung auf die Abundanz der Collembolen (Insecta, Apterygota) auf einer schwach entwickelten Parabraunerde. Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- BREUER, G. (1983).- Einfluss von Klärschlamm, Schweinegülle und mineralischem Volldünger auf die Milben (Acari) in einem Dauergrünlandboden. Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- ISENSCHMID, A. & H.STOECKLI (1982).- Vergleichende Bestandesaufnahme der Arthropodenfauna auf unterschiedlich bewirtschafteten Wintergetreidefeldern. Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- TROXLER, C. (1986): Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf die quantitative und qualitative Zusammensetzung der Arthropodenfauna in Rebbergböden. Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- TROXLER, C. & J.ZETTEL (1987): Der Einfluss verschiedener Bewirtschaftungsweisen auf die Mikroarthropodenfauna in Rebbergböden bei Twann. Mitt.Naturf.Ges.Bern N.F. 44: 187-202.
- TSCHUMI, M. (1981).- Impact de la fumure sur un groupe faunique du sol, les Collemboles (Insecta, Apterygota). Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- WALTER, C. (1980).- Influence des engrais minéraux, des boues d'épuration et du purin de porcs sur les Collemboles (Insecta, Apterygota) d'un sol argileux. Diplomarbeit Zool.Inst.Univ.Bern.
- ZETTEL, J. & J.KLINGLER (1983).- Influence of sewage sludge on microarthropods (Collembola and mites) and nematodes in a sandy loam soil. In: Catroux, G., P.l'Hermite & E.Suess (eds): The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soil. Reidel, Dordrecht, p.167-169.

## Wie kann die Industrie zu einer umweltgerechten Pflanzenernährung beitragen ?

Eric Mathys, dipl.Ing.Agr. ETH, Chemische Fabrik Uetikon  
8707 Uetikon am Zürichsee

Die Chemische Fabrik Uetikon stellt Mehrnährstoff-Dünger in ihrer AGRO-Abteilung her. Das sind mineralische Volldünger zur Deckung des Nährstoff-Bedarfes landwirtschaftlicher Kulturen.

Die Chemische Fabrik Uetikon propagiert seit langer Zeit eine integrierte Düngung.

Was unter dem Begriff "integriert" zu verstehen ist, soll dieser Poster erläutern. Ohne eine rein wissenschaftliche Arbeit darzustellen, soll aus der Sicht des Agronomen gezeigt werden, wie "kommerzielle Aspekte" und "Wissenschaft" unter einen Nenner gebracht werden können.

### Grundprinzipien

1. Ahnlehnung an Lehren & Richtlinien der Eidg. Forschungsanstalten und der offiziellen Beratung (LBL, SRVA)
2. Mineralische Düngung als Ergänzung zu:
  - Hofdünger
  - Nährstoff-Vorrat im Boden
3. Anpassung der Formulierung an die speziellen Bedürfnisse der verschiedenen Kulturen
4. Forderungen des Umweltschutzes erfüllen

### Realisation

Am Beispiel des sog. Gesamt-Prospektes soll nun gezeigt werden, wie die einzelnen Grundprinzipien verbreitet werden.

- Düngungsnormen der Forschungsanstalten
- Beurteilung von Bodenanalysen-Ergebnisse
- Nährstoff-Gehalt von Hofdünger, Ernterückstände und Klärschlamm
- Wahl der geeigneten Nährstoff-Formen

### Zielpublikum

Informationen über integrierte Düngung sollten alle landwirtschaftlichen Haushalte der Schweiz erreichen. Das bedingt eine Verbreitung der Grundsätzen in mindestens 3 Sprachen.

### Agro-Kurier

Der von uns verfasst "AGRO-Kurier" ist ein wirksames Sprachrohr für agronomische Informationen. Die Auflage von ca. 130'000 Exemplare (deutsch/französisch) erreicht alle landwirtschaftlichen Haushalte. Wichtige Grundsätze der integrierten Düngung werden immer wieder in einfacher Sprache dargelegt.

### Zusammenfassung

Eine effiziente Verbreitung des Konzeptes "Integrierte Düngung" muss alle landw. Haushalte erreichen. Die Forschungsergebnisse der eidgenössischen Forschungsanstalten werden als agronomische Grundlage benützt. Der Bedarf wird unter Berücksichtigung von folgenden Aspekten gerechnet:

- Düngungsempfehlung der Forschungsanstalten
- Bodenanalysen (Nährstoff-Vorrat im Boden)
- Hofeigene Dünger (Mist, Gülle usw.)
- Ernterückstände
- Ertragsniveau

Dieser Bedarf wird, wenn notwendig, mit mineralischen Düngern gedeckt, als Ergänzung zu anderen Nährstoff-Quellen. Die Dünger-Zusammensetzungen werden den Forderungen des Umweltschutzes und den speziellen Bedürfnisse der verschiedenen Kulturen angepasst.

## Résumé

Une propagation efficace du concept de la fumure intégrée ne peut être réalisée que si tous les ménages agricoles sont atteints en Suisse. Les résultats de la recherche agronomique des stations fédérales constitue la base agronomique. Les besoins en éléments nutritifs sont calculés sur les bases suivantes:

- normes de la Commission romande de fumure
- analyse de terre (réserves en éléments nutritifs)
- engrais de ferme (fumier, purin, lisier etc.)
- résidus de récolte
- rendement escompté

Ce besoin est complété, si nécessaire, par des engrais minéraux. La composition des engrais répond aux exigences de la protection de l'environnement ainsi qu'à celle des différentes cultures.

**DIE ARBEITSGRUPPE LYSIMETER STELLT SICH VOR**

---

Poster der AG Lysimeter (Redaktion: W. Stauffer, FAC)

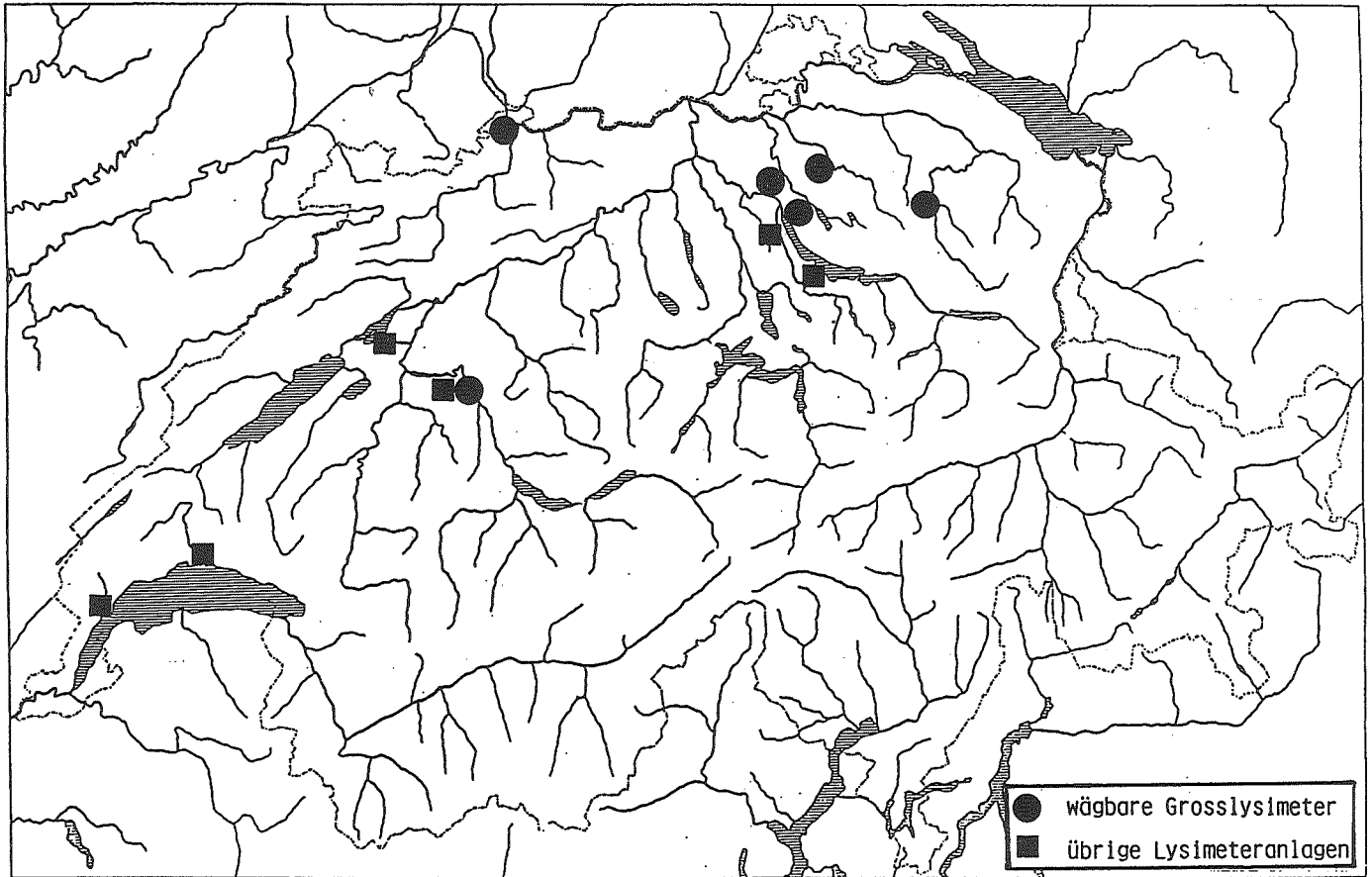
Die Arbeitsgruppe Lysimeter der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, besteht aus Mitarbeitern der Institute, die sich in der Schweiz mit verschiedenen Fragen der Lysimetermessung befassen. Die Aufgabe der Arbeitsgruppe ist eine informelle Koordination der Aktivitäten und der Erfahrungsaustausch.

Gegenwärtig befasst sich die Gruppe mit der Ausarbeitung einer gemeinsamen Publikation von "Lysimeterdaten in der Schweiz", wo die ersten Lysimeter-Messwerte über die Wasserbilanzen auf Tagesbasis präsentiert werden. Zusätzlich beinhaltet die Publikation Angaben über die Lysimeteranlagen in der Schweiz, Fehlerquellen der Lysimeter, Korrekturen etc.

Viele andere Probleme beschäftigen in Zukunft die Arbeitsgruppe Lysimeter:

- Einfluss der Schneedecke auf die Lysimetermessung
- Einfüllen von Lysimetern mit Erde  
(Ausarbeiten einer Richtlinie)
- Sickerwasser und Evapotranspiration als Mass für die Grundwasseranreicherung
- Koordination der EDV-Auswertung von Lysimeterdaten in der Schweiz
- Abhängigkeit der Evapotranspiration vom Bodenwassergehalt
- Aenderung der Zusammensetzung der natürlichen Vegetation auf die Evapotranspiration

Abbildung 1: Standorte von Lysimeteranlagen in der Schweiz



Lysimeter sind im Boden eingelassene und mit Erde gefüllte Behälter verschiedener Grösse, die primär zur Messung der Komponenten des Wasser- und Nährstoffhaushaltes verwendet werden. Die Lysimeterdaten haben einen breiten Anwendungsbereich der sich von Meteorologie, Wasserwirtschaft bis zur Landwirtschaft erstreckt.

## Folgende Institute stellen Mitglieder in der Arbeitsgruppe

---

Lufthygieneamt beider Basel  
Abt. für Meteorologie  
Venusstrasse 7

4102 Binningen / BL

Eidg. Forschungsanstalt für  
Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC)  
Schwarzenburgstrasse 155

3097 Liebefeld

Station fédérale de  
recherches agronomique  
de Changins /RAC)

1260 Nyon

Eidg. Forschungsanstalt für  
landw. Pflanzenbau (FAP)  
Reckenholzstrasse 191/211

8046 Zürich

Institut für  
Wald- und Holzforschung  
Fachbereich Bodenphysik und Waldbau  
ETH Zentrum

8092 Zürich

Geographisches Institut ETHZ  
Abt. Hydrologie  
Winterthurerstrasse 190

8057 Zürich

Wasser- und Energiewirtschaftsamt  
des Kantons Bern (WEA)  
Reiterstrasse 11

3011 Bern

Institut für  
Pflanzenwissenschaften ETHZ  
Versuchsstation (IfP)  
Eschikon 33

8315 Lindau

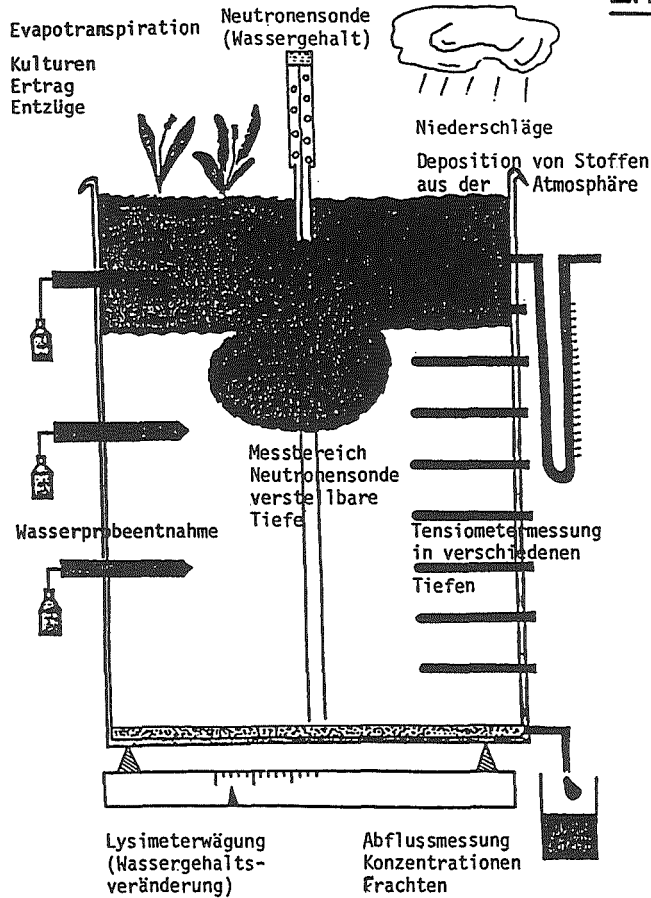
Schweizerische  
Meteorologische Anstalt (SMA)  
Krähbühlstrasse 58

8044 Zürich

Institut de génie rural  
Hydrologie et aménagement  
EPFL

1015 Lausanne

# Erhebungsmöglichkeiten mit Lysimetern



## Nährstoffbewegung

Niederschläge  
 Düngung  
 Ertragserhebungen  
 Nährstoffkonzentration  
 Nährstofffrachten  
 Nährstoffentzüge  
 Sickerwassermenge  
 Andere Verluste

## Wasserbewegung

Evapotranspiration  
 Niederschläge  
 Neutronensonde  
 Tensiometer  
 Wägung des Lysimeters  
 Sickerwassermengen

## Stoffbilanzierung

Sedimentationen aus der Luft  
 Niederschläge  
 Wasserprobeneentnahme mit Sauglysimetern  
 Neutronensonde  
 Düngung  
 Tensiometer  
 Sickerwassermenge

## Evapotranspiration

Niederschlagsmessung  
 Wägung des Lysimeters  
 Sickerwassermenge



## BODENKUNDLICHE LEHRE UND FORSCHUNG IN ÖSTERREICH

---

Winfried E.H.Blum  
 Institut für Bodenforschung und Baugeologie  
 der Universität für Bodenkultur Wien  
 Gregor-Mendel-Str.33, A-1180 Wien, Österreich

### RESUME

La Société Autrichienne de Pédologie, les institutions autrichiennes de formation et de recherche pédologique les plus importantes sont dénommées et leurs programmes actuels sont décrits.

#### 1. DIE ÖSTERREICHISCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT (ÖBG)

Die ÖBG wurde 1954 gegründet und hat laut Satzung zum Ziel, "alle Zweige der Bodenforschung in Österreich zu fördern". Zu dieser Aufgabe gehört auch die Kontaktnahme mit dem fachlichen Ausland und die Vertretung in internationalen Organisationen, wie z.B. IBG u.a. .

Derzeit hat die ÖBG 261 Mitglieder, davon sind 57 auch gleichzeitig Mitglieder der IBG, 20 institutionelle und 8 fördernde Mitglieder.

Im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit publiziert die ÖBG jährlich 2 - 3 Hefte der "Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft" und führt Vortragsveranstaltungen zu spezifischen Themen, teilweise auch in Form von Tagungen und Symposien, durch. Die Gesellschaft veranstaltet jährlich eine Exkursion im In- oder Ausland.

Aus dem Fond zur Nachwuchsförderung wird der "Kubiena-Preis" finanziert, der mit 5.000,- öS dotiert ist und für besondere wissenschaftliche Leistungen junger bodenkundlicher Autoren vergeben wird.

#### 2. WICHTIGE BODENKUNDLICHE LEHR- UND FORSCHUNGSSTÄTTEN IN ÖSTERREICH

Im folgenden werden die wichtigsten bundesstaatlichen Lehr- und Forschungsinstitute einschließlich ihrer derzeitigen Forschungsschwerpunkte kurz dargestellt. Neben diesen bestehen auch Institute einzelner Bundesländer,

die im wesentlichen als landwirtschaftlich-chemische Anstalten routinemäßige Bodenuntersuchungen durchführen.

### 2.1 Universität für Bodenkultur, Gregor-Mendel-Str.33, 1180 Wien

Die Universität für Bodenkultur ist die einzige akademische Lehrstätte in Österreich, an der bodenkundliches Wissen vermittelt wird.

- Institut für Bodenforschung und Baugeologie, Abt. Bodenkunde - Leiter: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Winfried E.H. Blum

Im Rahmen der Lehre wird in den Fachgebieten Landwirtschaft, Landschaftsökologie und Kulturtechnik unterrichtet. Außerdem werden vom Institut weitere Fachdisziplinen mitbetreut.

Schwerpunkt ist die Grundlagenforschung, insbesondere in den Gebieten Bodenentwicklung, -systematik (In- und Ausland) und im chemisch-mineralogischen Bereich. Derzeit werden Arbeiten in der Umweltforschung sowie im Bereich der Landwirtschaft und Kulturtechnik durchgeführt.

- Institut für Forstökologie - Leiter: Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Gerhard Glatzel

Dieses Institut ist für die bodenkundliche Ausbildung im Fachgebiet Forstwirtschaft zuständig. Es führt umfangreiche Grundlagenforschung im Bereich ökologischer Umsetzungen am Standort unter besonderer Berücksichtigung von Immissionswirkungen und Waldernährungsfragen durch.

### 2.2 Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt, Trunnerstr.1, A-1020 Wien

Leiter: HR Prof. Dipl. Ing. Dr. Walter Beck

In dieser Bundesanstalt befaßt sich das Institut für Pflanzenernährung und Bodenchemie mit den 3 Abteilungen Bodenchemie und Standortforschung, Isotopenanwendung und Pflanzenernährung mit bodenkundlichen Fragen.

Derzeitige Forschungsschwerpunkte liegen in der Grundlagenforschung (z.B. Humusforschung mittels Isotopen) wie in der angewandten Forschung mit den Schwerpunkten Umwelt (z.B. Schwermetallbindung in Ackerböden, Schwermetallaufnahme durch Pflanzen u.a.) und Landwirtschaft (Eichung von Bodenuntersuchungsmethoden, Fruchtfolgewirkungen, Optimierung der Düngung u.a.).

### 2.3 Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Denisgasse 31 - 33, A-1200 Wien

Leiter: Univ.Doz.Dipl.Ing.Dr.Otto Danneberg

Dieses Institut ist in 2 Abteilungen gegliedert. Die Feldbodenkunde führt die landwirtschaftliche Bodenkartierung im Maßstab 1 : 25.000 durch und hat bereits mehr als 90 % der Gesamtfläche Österreichs kartiert. Daneben werden Untersuchungen zur Anwendung von Bodenkarten, z.B. bezüglich Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft mit Erstellung thematischer Karten durchgeführt. Neu ist die Entwicklung eines bundesweiten computerunterstützten Bodeninformationssystems (CUBIS).

In der Abteilung Laborbodenkunde werden jährlich ca.80.000 Bodenproben für die landw.Düngeberatung untersucht sowie neue Laborroutinemethoden, z.B. bezüglich leicht löslicher Stickstofffraktionen, Bodenenzymen u.a. entwickelt.

### 2.4 Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Standort, Schönbrunn-Tiroler Garten, A-1131 Wien, Leiter: HR Dipl.Ing.Dr.Walter Kilian

Dieses Institut befaßt sich mit forstlicher Standortkartierung, mit Forstdüngung und derzeit insbesondere mit Immissionswirkungen und Waldschäden. Es betreut unter anderem das bundesweite Bioindikatornetz (Raster 16 x 16 km = 317 Standorte), die Waldzustandsinventur (WZI, Raster 4 - 4 = 2.300 Standorte) sowie das Waldschadenbeobachtungssystem mit. Daneben werden auch Wasserhaushaltsfragen von Forststandorten untersucht.

Neben den genannten bodenkundlichen Lehr- und Forschungsstätten in Wien gibt es 3 weitere bundesstaatliche Institute in Österreich.

### 2.5 Landwirtschaftlich-chemische Bundesanstalt, Wieningerstr.8, 4025 Linz

Leiter: HR Dipl.Ing.Dr.Walter Beck

An dieser Bundesanstalt beschäftigt sich das Institut für Agrarbiologie mit den Abteilungen Biologie, Samenprüfung und Genbank für Kultur- und Wildpflanzen, Pflanzenernährung, Bodenchemie und Standortforschung mit Fragen der Bodenkunde. Insbesondere werden von diesem Institut biologische Landbauverfahren, bodenenzymatische Wirkungen und Probleme der Abfallwirtschaft in der Landwirtschaft untersucht.

## 2.6 Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen, Leiter: Dipl.Ing.Norbert Leder

Diese Bundesanstalt beschäftigt sich mit dem Bodenwasserhaushalt landwirtschaftlicher Flächen, einschließlich Techniken der Be- und Entwässerung. Außerdem werden technische Eingriffe in den Naturhaushalt und deren Auswirkungen, z.B. durch Straßenbau, Wasserbau u.a. neben dem Bodenwasserhaushalt von Pflanzenstandorten untersucht. Ein weiterer wesentlicher Schwerpunkt ist die Bodenerosion.

## 2.7 Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, Institut für Landwirtschaft, 2444 Seibersdorf, Leiter: Univ.Prof.Dipl.Ing.Dr.Ernst Haunold

Dieses Institut ist in 4 Fachbereiche gegliedert: Bodenforschung und Pflanzenernährung, pflanzliche Biotechnologie, Umweltforschung und Meßtechnik. Im Zentrum steht die Grundlagenforschung im Bereich der Nährstoffaufnahme durch Pflanzen, insbesondere des Transfers von Radionukliden aus verschiedenen Quellen. Daneben werden großräumige Überwachungsaufgaben bezüglich Auswirkungen einzelner Schadstoffquellen, z.B. kalorischer Großkraftwerke auf Böden und Pflanzen durchgeführt.

## 3. AKTUELLE UND ZUKÜNFTIGE FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE IN ÖSTERREICH

In der Grundlagenforschung wird angestrebt, die derzeitige österreichische Bodensystematik zu überarbeiten und neu zu fassen. Der Schwerpunkt dieser Arbeiten wird von den Instituten der Universität für Bodenkultur in Zusammenarbeit mit weiteren Forschungsstätten getragen.

In der angewandten Forschung steht derzeit die Erfassung einzelner Schadstoffe bezüglich ihrer Umweltrelevanz, Kontamination von Böden, Pflanzen und Grundwasser im Mittelpunkt. Dabei geht es in erster Linie um die Vereinheitlichung der bodenanalytischen Methodik in Österreich und deren Harmonisierung mit dem Ausland. Arbeiten in dieser Richtung werden derzeit von der ÖBG koordiniert, und es ist beabsichtigt, in Bälde eine Publikation herauszugeben. Die Koordinierung der Waldbodenuntersuchung ist auf diese Weise bereits geglückt \*).

---

\*) Blum, W.E.H., Danneberg, O.H., Glatzel, G., Grall, H., Kilian, W., Mutsch, F., Stöhr, D.: Waldbodenuntersuchung - Geländeaufnahme, Probennahme, Analyse. -Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. - Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Wien, 1986.

STRUKTURGEBUNDENE CHEMISCHE UNGLEICHGEWICHTE IN WALDBÖDEN

E. E. Hildebrand

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,  
Wonnhaldestr. 4, 7800 Freiburg

1. EINLEITUNG

Ein chemisches Ungleichgewicht ist der Zustand eines Systems, bei dem sich Wirkung und Gegenwirkung nicht aufheben, d.h., bei dem das System insgesamt chemisch driftet. Es liegen inzwischen eine Reihe von Untersuchungsergebnissen vor, die belegen, daß Waldböden als thermodynamisch offene Systeme häufig im Zeitraum von Jahrzehnten aufgrund interner und externer Säurezufuhr (vgl. ADAM, EVERS u. LITTEK, 1987) eine durch Zeitreihen darstellbare, chemische Drift aufweisen (z.B. BERDEN et.al., 1987; HALLBÄKEN u. TAMM, 1986; HILDEBRAND, 1986; ULRICH u. MATZNER, 1983). Strukturierte, polidisperse Systeme, die chemisch driften, zeigen jedoch i.d.R. Systemelemente, die der von außen erzwungenen Veränderung leichter nachgeben als das System insgesamt. Dies bedeutet, daß man nicht unbedingt unterstellen darf, daß chemische Eigenschaften driftender Waldböden in einem bestimmten Bodenvolumen isotrop verteilt sind. Man kann vielmehr erwarten, daß Oberflächen in Böden, die hauptsächlich von leicht beweglichem Bodenwasser erreicht werden, intensiver mit atmogener

Säure in Kontakt kommen als Oberflächen, die von stärker gespanntem Wasser umgeben sind. Da solche Oberflächen auch bevorzugt von Feinwurzeln der Waldbäume aufgesucht werden, kann auch die Nährelementaufnahme eine gleichsinnig anisotrop wirkende Versauerungsquelle darstellen.

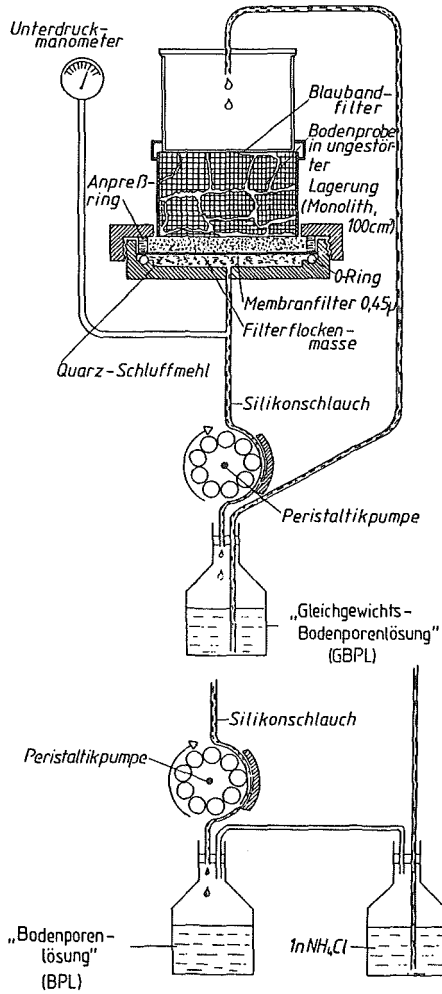
Treffen diese Annahmen zu, wird mit der Analyse homogenisierter Feinerde der effektive Rhizosphärenstreif unterschätzt. Es gilt also zu prüfen, ob bei herkömmlichen Analysen durch Aufhebung der Bodenstruktur bedeutsame, bodenchemische Information für die Waldschadensdiagnose verloren geht.

## 2. METHODEN

### 2.1 Chemische Ungleichgewichte, dargestellt durch wässrige Gleichgewichtslösungen

Dazu werden zwei Gleichgewichtslösungen verglichen, die an homogenisiertem Feinboden (2:1 - Extrakt nach MEIWES et al., 1984) und an natürlich gelagerten Bodensäulen gewonnen wurden. Aufbau und Funktion der Apparatur zur Gewinnung der Gleichgewichts-Bodenporenlösung sind in Abb. 1, oberer Teil, dargestellt. Mit dieser Anordnung wurde versucht, drei Forderungen zu erfüllen:

- die Perkolationslösung sollte hauptsächlich bei niedriger Wasserspannung stattfinden, d.h. bei Aufrechterhaltung eines Luftvolumens zur Vermeidung reduktiver Mobilisierungen, andererseits sollten die Aggregatoberflächen mit relativ beweglichen Wasserfilmen umströmt werden.
- Die verwendeten Filtermaterialien zur Übertragung der Wasserspannung sollten im Hinblick auf die Meßparameter interferenzarm sein.



**Abb. 1** Apparatur zur Gewinnung der Gleichgewichts-Bodenporenlösung (GBPL, oben) und der Bodenporenlösung (BPL, unten)

- Es sollten reproduzierbare Quasi-Gleichgewichtszustände erreichbar sein, um durch Vergleich mit Gleichgewichtslösungen homogenisierter Proben strukturabhängige Ungleichgewichte darstellen zu können.

Die in Abb. 1, oberer Teil, dargestellte Meßanordnung vermag diese drei Forderungen zu erfüllen. Die technischen und physikalischen Randbedingungen des Verfahrens sind bei HILDEBRAND (1986) beschrieben. Es wurden die Elemente  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  mittels AAS bzw. ICP,  $\text{NH}_4^+$  durch Farbreaktion mit Indophenol,  $\text{H}^+$  durch Delogarithmierung der pH-Werte bestimmt. Die Analyse von  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  und  $\text{NO}_3^-$  erfolgte durch Ionenchromatographie.

## 2.2 Chemische Ungleichgewichte, dargestellt durch elektrolythaltige Porenperkolationslösungen

Dabei werden die mit  $\ln \text{NH}_4\text{Cl}$  effektiv austauschbaren Kationen homogenisierter Proben (Methode nach MEIWES et. al., 1984) verglichen mit Porenperkolationslösungen ( $\ln \text{NH}_4\text{Cl}$ ), die gemäß Versuchsordnung in Abb. 1, unterer Teil, mit natürlich gelagerten Bodensäulen gewonnen wurden.

Die Porenperkolationslösungen wurden fraktionsweise analysiert (50, 100, 250 ml Fraktionen), um den Grad der Annäherung der kumulierten Ionenmengen an Grenzwerte vollständiger Desorption beurteilen zu können. Die Perkolationslösung wurde abgebrochen, wenn die weiteren desorbierten Ionenmengen gegenüber der akkumulierten Ionenmenge vernachlässigt werden konnten.

Die Bestimmung von  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  erfolgte mittels AAS, wobei aufgrund der hohen Elektrolytenkonzentration ( $\ln \text{NH}_4\text{Cl}$ ) mit automatischer Einspritzung in die Flamme gearbeitet wurde.  $\text{Al}^{3+}$  wurde mit ICP bestimmt;



$H^+$  durch Differenz der delogarithmierten  $pH$ -Werte. Die Protonen, die aus Hydrolysereaktionen des  $Al^{3+}$  stammen, wurden nach ULRICH (1966) rechnerisch ermittelt und von der gesamten Protonenkonzentration abgezogen.

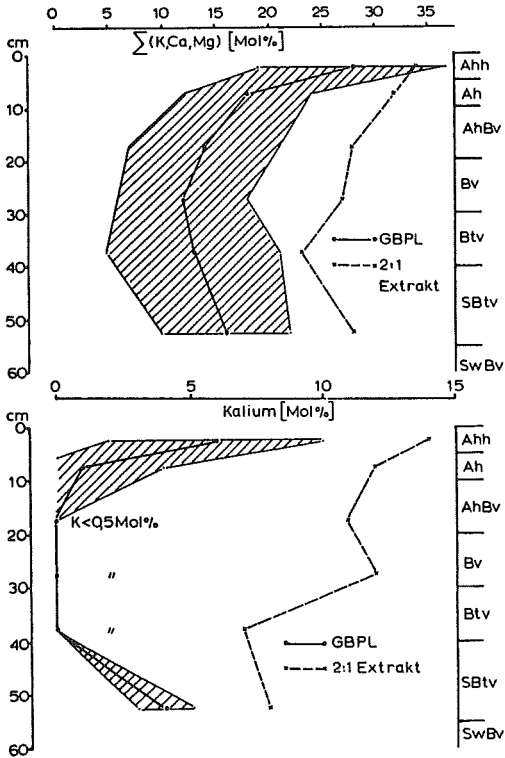
### 3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

#### 3.1 Vergleich von wässrigen Quasi-Gleichgewichtslösungen homogenisierter und strukturierter Bodenproben

In Abb. 2 sind für einen typischen Standort des Nord-schwarzwaldes (Pfalzgrafenweiler, 0-Parzelle des Düngungsversuchs 97, Fi/Ia, 72-92 jährig, Pseudogley-Braunerde auf Plattensandstein mit Lößlehm, näheres zum Standort vgl. HILDEBRAND, 1987, Tab. 4) die Tiefenfunktion der Molprozentage an  $K+Ca+Mg$  (Abb. 2 oben) und an Kalium (Abb. 2 unten) des 2:1-Extraktes und der Gleichgewichts-Bodenporenlösung vergleichend wiedergegeben. Aus der oberen Darstellung ist ersichtlich, daß eine deutliche, strukturgebundene Verarmung an  $K+Ca+Mg$  vorliegt, wobei die große Streuung der 12 (Ah-Horizonte) bzw. 6 (B-Horizonte) Wiederholungen eine starke Mikrokompartimentierung der Verteilung dieser Elemente ausdrückt. So liegen z.B. im AhBv-Horizont die Basenprozentage der GBPL von 12 Wiederholungen, die auf einer Fläche von  $0,5 \text{ m}^2$  entnommen worden waren, zwischen 7 und 23 %.

Die untere Darstellung der Abb. 2 zeigt, daß der Porenraum gegenüber dem Gesamtboden eine extreme K-Verarmung aufweist. Dies geht soweit, daß die K-Meßwerte der GBPL bei den Profiltiefen 5-10, 15-20 und 25-30 cm teilweise bzw. vollständig unter der Nachweisgrenze ( $< 0,3 \mu\text{mol K/l}$ ) lagen.

Für den aufstockenden Fichtenbestand ist ausgeprägter Kaliummangel nadelanalytisch dokumentiert (vgl. Tab. 1).



Oben: Molprocente an K+Ca+Mg in der Gleichgewichts-Bodenporenlösung und im 2:1-Extrakt

Unten: Molprocente an Kalium in der Gleichgewichts-Bodenporenlösung und im 2:1 Extrakt

Abb. 2 Tiefenfunktionen der Elementanteile in wässrigen Quasi-Gleichgewichtslösungen des Standorts DV 97, Fbz. Pfalzgrafenweiler

Ältere Nadelanalysen von Rehfuess (1967) am gleichen Bestand belegen, daß vor 20 Jahren noch kein nadelanalytisch darstellbarer Kaliummangel bestand. Man kann also annehmen, daß das Absinken der K-Spiegel in den Nadeln auf ca. 1/3 der Werte von 1965 durch das Entstehen von K-Verarmungszonen an den Aggregatoberflächen verursacht wurde.

Tabelle 1: Nährelementgehalte von Fichtennadeln der 0-Parzelle des Düngungsversuches 97 in den Jahren 1965 und 1981

Jahr der Analyse	Quirl	Nadel alter (Jahr)	N	P	K	Ca	Mg
			mg/g TrS.				
1965 (REHFUESS, 1967)	1	1	13,7	1,4	8,8	4,7	1,6
1981 (EVERS, 1984)	1	1	10,1	1,4	2,7	3,7	1,0
1981 (EVERS, unver-	7	1	12,5	1,4	3,5	3,9	0,9
1981 öffentlich)	7	4	15,0	0,9	2,7	6,2	0,4

Für diesen Befund sprechen auch grundsätzliche Untersuchungsergebnisse von RENGGER et. al. (1981) und KUCHENBUCH und JUNCK (1984) zum Kaliumtransport in Böden. Nach den genannten Autoren deckt der Massenfluß nur einen geringen Teil der K-Aufnahme durch Pflanzenwurzeln, so daß im stationären Fall der K-Transport zur Wurzel in guter Annäherung durch die 1. Fick'sche Diffusionsgleichung beschrieben werden kann:

$$(1) \quad F_K = D_e \frac{dC}{dx}$$

Darin bedeuten  $F_K$  der K-Diffusionsfluß,  $D_e$  der effektive Diffusionskoeffizient, der Bodenfaktoren wie Wasserhaushalt, Porenkontinuität und K-Pufferung beinhaltet;  $dC/dx$  ist der K-Konzentrationsgradient der Wegstrecke  $x$ .

Aus Gleichung (1) wird deutlich, daß Wurzeln an ihrer Oberfläche in wurzelnahen Bodenzonen Konzentrationsgradienten ausbilden müssen, um die K-Diffusion in Gang zu halten. Löst sich dieser Konzentrationsgradient von der Wurzelnahe ab, kommt es an wurzelerreichbaren Oberflächen zu Verarmungszonen, welche die Diffusionsmöglichkeit zur Wurzel stark einschränken.

Nach BABEL (AFJZ, 1988, im Druck) werden Koniferenfeinwurzeln stark bevorzugt in Bodenhohlräumen vorgefunden, in denen spannungsarmes bis spannungsfreies Wasser perkoliert. Der K-Entzug erfolgt also hauptsächlich an Oberflächen, die am intensivsten mit atmogen eingetragener Säure in Kontakt kommen. Offensichtlich sind die Möglichkeiten von Koniferenwurzeln begrenzt, ihren K-Bedarf durch Aufsuchen K-reicherer Mikrokompartimente zu decken. Eine solche Möglichkeit wäre das Einwachsen in das Innere von Aggregaten, was vermutlich durch den hohen Sauerstoffbedarf der Feinwurzeln von Fichte und Tanne begrenzt wird.

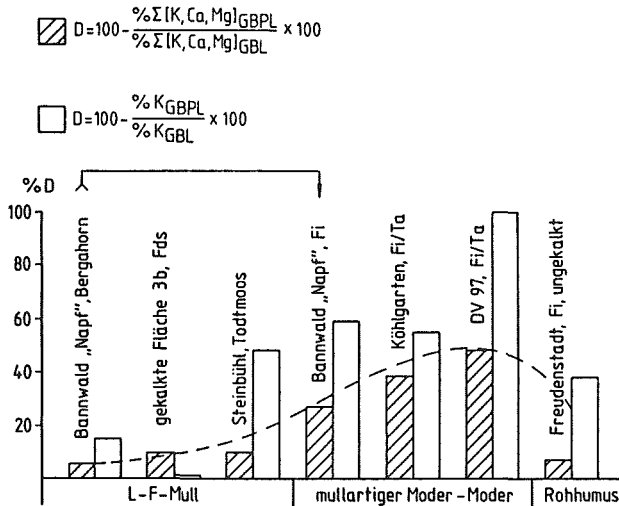
Man kann im vorliegenden Fall also annehmen, daß das Absinken der K-Gehalte in den Nadeln von 1965 - 1981 durch das Entstehen von K-Verarmungszonen an wurzelerreichbaren Aggregatoberflächen verursacht wurde.

Bei früheren Untersuchungen wurde aufgrund von Lösungsgleichgewichten festgestellt, daß bei stark sauren Mineralböden die K-Selektivität mit zunehmender Sättigung an Kationsäuren abnimmt (HILDEBRAND, 1985). Mineralogisch ist dieser Befund plausibel. So fanden z.B. BLUM und RAMPAZZO (1987) in der Tonfraktion stark säurebelasteter Kleinstandorte (Stammablaufbereich in Buchenbeständen des Wienerwaldes) aufgeweitete Schichtsilikate mit hohem Verlust an Gitterladung und damit auch mit Verlust an K-spezifischen Bindungspositionen. Wenn Porenwände bevorzugt an K, Ca und Mg verarmen und versauern, ist aufgrund abnehmender K-Selektivität eine sich selbst beschleunigende K-Verarmung an diesen wurzelerreichbaren Oberflächen anzunehmen. Dies würde auch den zeitlich sehr raschen Zusammenbruch der K-Versorgung erklären.

Es bleibt zu prüfen, ob die gehäuft auf K-reichen, lehmigen Standorten des Alpenvorlandes und Neckarlandes (Baden-Württemberg) auftretenden K-Mangelzustände generell mit inhomogener K-Verteilung im Boden im Sinne der vorgestell-

ten Fallstudie erklärt werden können (vgl. auch ZÖTTL und HÜTTL, 1985; HÜTTL, 1986).

In Abb. 3 sind - gruppiert nach der Humusform - die durch Vergleich von Gleichgewichtsbodenporenlösung (GBPL) und Gleichgewichtsbodenlösung (GBL) darstellbaren, relativen Ungleichgewichte für  $\Sigma(K, Ca, Mg)$  und K als Balkendiagramm wiedergegeben.



**Abb. 3** Relative Defizite (% D) an  $\Sigma(K, Ca, Mg)$  bzw. K der Gleichgewichts-Bodenporenlösung (GBPL) gegenüber der Gleichgewichtsbodenlösung (GBL) in Ah- bis AhBv-Horizonten.

Hinweise zur Herkunft (Boden, Standort, Bestand) der in Abb. 3 dargestellten Ah- und AhBv-Horizonte finden sich bei BÜCKING und STEINLE, 1988 (Bannwald "Napf", Südschwarzwald) und HILDEBRAND, 1987 (alle übrigen Standorte).

Aus Abb. 3 lassen sich folgende Schlußfolgerungen bzw. Arbeitshypothesen ableiten:

- Die durch Vergleich von Quasi-Gleichgewichtslösungen strukturierter und homogenisierter Böden darstellbaren Ungleichgewichte sind auf sauren Forststandorten eine weitverbreitete Erscheinung. Die GBPL kann bis zu 50 % weniger Anteile an  $\Sigma(K, Ca, Mg)$  aufweisen als die GBL. Oberflächen, die von leicht beweglichem Wasser umströmt werden, sind also stärker versauert als der Gesamtboden. Zu ähnlichen Aussagen kommen HANTSCHHEL et. al. (1986) durch Vergleich von Perkolationsbodenlösungen mit herkömmlichen Gleichgewichtsbodenlösungen.
- Aufgrund der Gruppierung der relativen Defizite an (K, Ca, Mg) nach der Humusform kann die Arbeitshypothese formuliert werden, daß gut verlehnte Moderstandorte i.d.R. die größten Ungleichgewichte im oberen Mineralboden aufweisen. Trifft dies zu, würde ein starker bodenchemischer Stress von der engeren Rhizosphäre gerade solcher Standorte ausgehen, bei denen eine Beteiligung des Bodens an der Schädwirkung auf Waldbestände als relativ unwahrscheinlich angesehen wurde.
- Die relativen Kaliumdefizite der GBPL gegenüber der GBL sind - mit einer Ausnahme - erheblich größer als die Defizite an  $\Sigma(K, Ca, Mg)$ , sie können sogar 100 % betragen (Düngeversuch 97, vgl. auch vorherigen Abschnitt). Die strukturgebundenen Ungleichgewichte sind also umso deutlicher ausgeprägt, je mehr bei dem betreffenden Element diffusiver Transport gegenüber dem Transport durch Massenfluß überwiegt.

- Der Vergleich der eng benachbarten Standorte "Napf"-Bergahorn (80) und "Napf"-Fichte (80) (Abstand ca. 50 m) zeigt, daß Koniferen durch höhere Festlegungsraten von K, Ca und Mg in der Biomasse, durch schlechtere Bewurzelung von Aggregatinnenräumen und/oder durch vermehrte Ausfilterung anthropogener Säurebildner offensichtlich größere Ungleichgewichte an Aggregatoberflächen erzeugen als Laubbestände.
- Begrenzend für die Ausbildung von Ungleichgewichten auf Mullstandorten ist die hohe, biogene Neubildungsrate an Aggregaten und damit an Oberflächen, die von spannungsarmem Wasser erreicht werden (vgl. HILDEBRAND, 1987). Auf der stark sauren Seite (Rohhumusstandort) dürfte einerseits der geringe Vorrat an K, Ca und Mg die Bildung starker Ungleichgewichte begrenzen, andererseits liegen im wenig aggregierten, sandigen Ah-Horizont auch weniger Oberflächen vor, die selektiv verarmen können.

### 3.2 Vergleich der elektrolytaustauschbaren Kationen garnitur homogenisierter und strukturierter Bodenproben

In Abb. 4 u. 5 sind für die eng benachbarten Standorte "Napf"-Fichte und "Napf"-Bergahorn (Ah-Horizonte, 1-5 cm) die elektrolytaustauschbaren ( $\ln \text{NH}_4\text{Cl}$ ) Anteile an K, Ca, Mg, Mn und Al, sowie die Basensättigung (V %) jeweils für den homogenisierten und den strukturierten Boden in Abhängigkeit vom Perkolationsvolumen dargestellt. Man erkennt, daß erhebliche Ungleichgewichte bestehen zwischen den Anteilen an elektrolytaustauschbaren Kationen, die hauptsächlich von Aggregatoberflächen abgelöst werden und den Anteilen, die aus dem Gesamtboden stammen. An den Wänden größerer Poren werden mit  $\text{NH}_4^+$  erheblich weniger Anteile an K, Ca, Mg und Mn eingetauscht, dafür geht vermehrt Al in Lösung. Zunächst erscheint es erstaunlich, daß

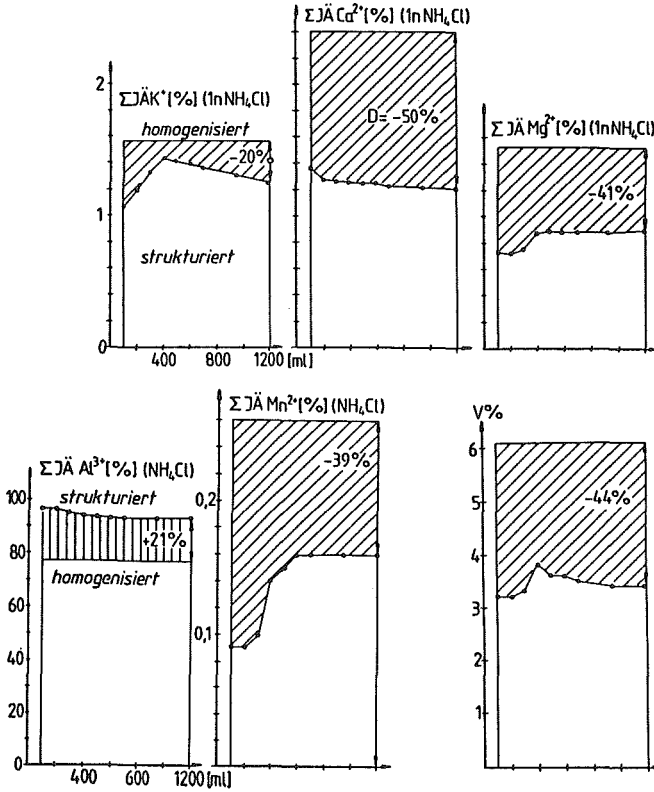


Abb. 4 Standort "Napf" (Fichte, 80)

Kumulierte, relative Anteile an K, Ca, Mg, Mn und Al in Ionenäquivalenten (JÄ) bzw. Basenprozente (V %) einer  $\text{In NH}_4\text{Cl}$ -Perkolationslösung strukturierter und homogenisierter Bodenproben (Ah-Horizonte) in Abhängigkeit vom Perkolationsvolumen. Die Prozentangaben drücken das Ungleichgewicht bei 1200 ml Perkolationsvolumen aus.



die relativen Ungleichgewichte unter Bergahorn größer sind als unter Fichte und damit nicht der Abstufung entsprechen, die sich für diese Standorte beim Vergleich wässriger Quasi-Gleichgewichtslösungen ergibt. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die größeren Ungleichgewichte unter Bergahorn auf einem wesentlich höherem Niveau der Basensättigung auftreten (Fichte: V % homogenisiert = 6, strukturiert = 3; Bergahorn: V % homogenisiert = 18, strukturiert = 7).

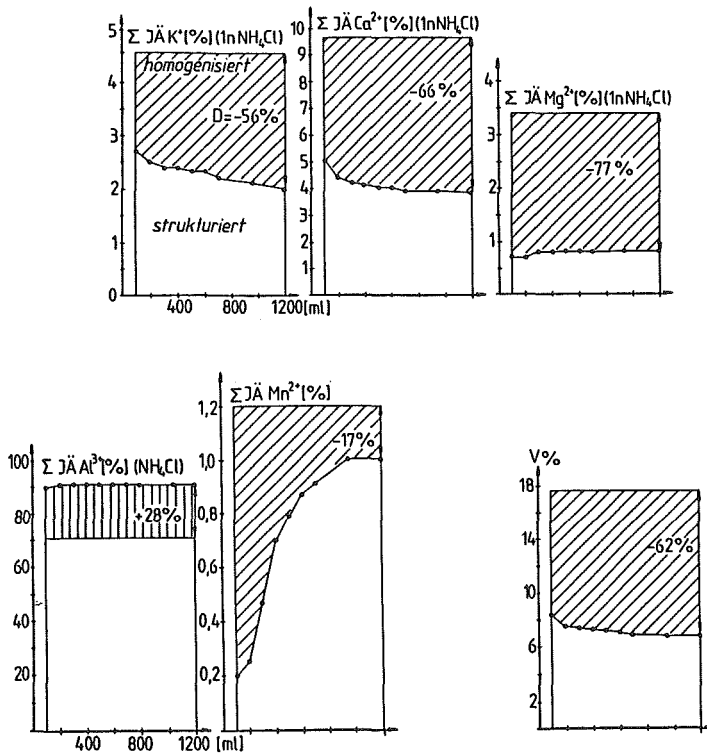


Abb. 5: Standort "Napf" (Bergahorn, 80), sonst vgl. Abb. 4

Die nicht gleichsinnige Abstufung strukturgebundener Ungleichgewichte auf der Basis elektrolytaustauschbarer Elemente einerseits und wasserlöslicher Elemente andererseits wird plausibel, wenn man die Verknüpfungsstellen zwischen den beiden Elementfraktionen (wasserlöslich/austauschbar) quantifiziert. In einer früheren Arbeit wurde gezeigt, daß in Mineralböden die relativen Eintauschstärken von Ca und Mg mit hohem Bestimmtheitsmaß von der Sättigung an dreiwertigen Kationsäuren abhängen (HILDEBRAND, 1987). Stellt man mit Hilfe dieser Beziehung die Veränderung der K-, Ca- und Mg-Eintauschstärken sowohl an den Porenwänden als auch im Gesamtboden dar, so kann man folgendes aussagen (vgl. Abb. 6):

Beim Standort Bergahorn besteht aufgrund der unterschiedlichen Sättigung von (Al+Fe) an Porenwänden (ca. 90%) und Gesamtboden (ca. 70%) zur Aggregatoberfläche hin eine starke Abnahme der relativen Eintauschstärke für Ca. Der GAPON-Koeffizient sinkt von 0,07 (Gesamtboden) auf ca. 0,01 (Porenwände). Das bedeutet, daß an Aggregatoberflächen vermehrt Ca (Analoges gilt für Mg und K) in die Lösungsphase ausgeschüttet wird. Damit wird verhindert, daß sich das auf der Basis elektrolytaustauschbarer Elementfraktionen darstellbare Ungleichgewicht in vollem Ausmaß in der Lösungsphase abbildet. Dies wird erst dann der Fall sein, wenn die verminderten Eintauschstärken die abnehmenden Basenvorräte an den Aggregatoberflächen nicht mehr ausgleichen können. Dieser Fall ist nach Abb. 6 unter Fichte realisiert: Der Differenz der Sättigung an (Al+Fe) von Porenwänden (95%) und Gesamtboden (77%) entspricht eine vergleichsweise geringere Veränderung der relativen Eintauschstärke von Ca. Der GAPON-Koeffizient sinkt hier von ca. 0,03 auf 0,01. Es ist also plausibel, daß das Ungleichgewicht der elektrolytaustauschbaren Elemente sich in diesem Fall deutlich in den Lösungsphasen (GBPL und GBL) widerspiegelt.

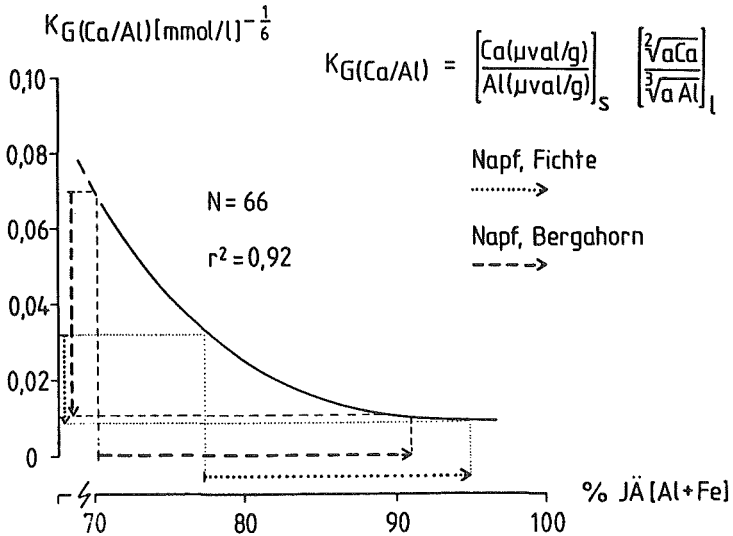


Abb. 6: Relative Ca-Eintauschstärke, dargestellt durch den Ca/Al-GAPON-Koeffizienten, in Abhängigkeit von der (Al+Fe)-Sättigung des Austauschers.

Wenn das Ungleichgewicht der  $\text{NH}_4^+$ -austauschbaren Elemente zwischen strukturierten und homogenisierten Böden auf höherem Niveau der Basensättigung auftritt ("Napf", Bergahorn), ist aufgrund starker Erniedrigung der K, Ca, Mg-Eintauschstärken an Aggregatoberflächen mit unscharfer Abbildung dieser Ungleichgewichte in den wässrigen Phasen (GBPL und GBL) zu rechnen.

Am Fallbeispiel der beiden Kleinstandorte "Napf"-Fichte und "Napf"-Bergahorn wird damit deutlich, daß die Verarmung der Aggregatoberflächen an K, Ca und Mg aufgrund interner (z.B. Festlegung von K, Ca und Mg in der Biomasse) oder externer (z.B. atmosphärischer Säureeintrag) Versauerungs-

quellen eine Zeitlang über abnehmende Eintauschstärken und so mit besserer Verfügbarkeit kompensiert werden. In diesem bodenchemischen Zustand wäre vor allem bei atmogener N-Zufuhr mit relativ gutem Wachstum zu rechnen, obwohl aus bodenkundlicher Sicht eine destabile Abbauphase beginnt. Wenn bei nur noch wenig differenzierten, geringen Eintauschstärken die abnehmenden Vorräte an K, Ca und Mg den Chemismus der Bodenlösung bestimmen, ist eine Verknappung dieser Elemente in der engeren Rhizosphäre (Aggregatoberflächen) im Sinne eines Schwellenereignisses denkbar. Dies würde sowohl das rasche Auftreten, aber auch das gelegentliche kurzfristige Verschwinden von Mg-Mangelsymptomen von Fichtenbeständen erklären.

Generell begrenzend für die Entstehung von Ungleichgewichten ist offenbar die Schaffung neuer Hohlraumoberflächen durch Bodentiere. Bei einer Mitte der 60iger Jahre intensiv gekalkten und sehr stark mit Regenwürmern besetzten Fläche auf Oberem Buntsandstein im Nordschwarzwald (vgl. Abb. 3 "gekalkte Fläche 3b, Fds") sind aufgrund der offensichtlich hohen Aggregatneubildungsrate im Ah weder auf der Basis wasserlöslicher Elemente (vgl. Abb. 3) noch durch Vergleich der Basensättigung homogenisierter und natürlich gelagerter Bodenproben nennenswerte, an die Struktur gebundene Ungleichgewichte darstellbar (vgl. Abb. 7).

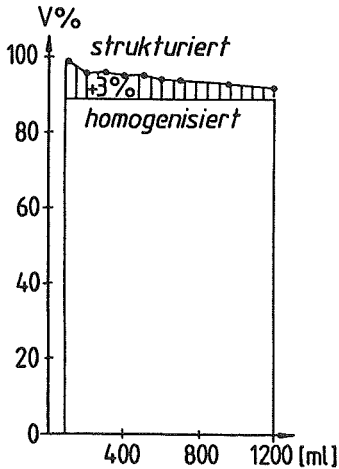


Abb. 7: Basensättigung strukturierter und homogener Bodenproben (Ah) aus einer intensiv gekalkten, reich mit Regenwürmern besetzten Fichtenfläche des Oberen Buntsandsteins im Nord-schwarzwald. Die hohe Aggregatneubildungsrate hat offensichtlich die Entstehung größerer Ungleichgewichte zwischen Aggregatoberflächen und dem Gesamtboden verhindert.

#### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Durch Vergleich von Quasi-Gleichgewichtslösungen strukturierter und homogener Bodenproben kann gezeigt werden, daß strukturgebundene Ungleichgewichte in sauren Mineralböden von Waldstandorten ein verbreitetes Phänomen sind. Porenwände, die von spannungsarmem Bodenwasser erreicht werden, sind stärker versauert als der Gesamtboden. Da solche Porenwände bzw. Aggregatoberflächen bevorzugter Aufenthaltsort von Koniferenwurzeln sind, wird durch die chemische Analyse homogener Bodenproben und die damit verbundene Aufhebung chemischer Ungleichgewichte der von der engeren Rhizosphäre ausgehende Stress erheblich unterschätzt. Dies gilt vor allem für gut verlehnte Moderstandorte, wo bislang ein Beitrag des Bodens zur Schadensauslösung wenig diskutiert wurde. Von den drei Nährelementen K, Ca und Mg zeigt das vorwiegend durch Diffusion bewegte Kalium die größten Ungleichgewichte. An einem Fallbeispiel wurde gezeigt, daß der nadelanalytisch darstellbare K-Mangel eines Fichtenbestandes eher mit extre-

men K-Verarmungs-zonen an den Aggregatoberflächen als mit K-Lösungsfraktionen des Gesamtbodens erklärt werden kann. Chemische Ungleichgewichte können auch mit Perkolationsbodenlösungen auf der Basis elektrolytaustauschbarer Elemente dargestellt werden und erweisen sich damit als stabile und tief in der Bodenstruktur verankerte Eigenschaften. Die Verknüpfung von elektrolytaustauschbaren und wasserlöslichen Anteilen an K, Ca und Mg erfolgt über relative Eintauschstärken. Diese nehmen mit zunehmender Sättigung des Austauschers an dreiwertigen Kationsäuren ab. Der bei Versauerung abnehmende Vorrat an austauschbaren K, Ca und Mg an Aggregatoberflächen kann also eine Zeitlang durch erhöhte Ausschüttung dieser Elemente in die wässrige Phase ausgeglichen werden. Damit wird bei noch relativ hohem Niveau der Basensättigung zunächst verhindert, daß die strukturabhängigen Ungleichgewichte der elektrolytaustauschbaren Elementanteile in den wässrigen Quasi-Gleichgewichtslösungen abgebildet werden. Dies ist erst bei niedriger Basensättigung und allgemein niedrigen relativen Eintauschstärken der Fall, so daß bei konstanter Säurebelastung eines Standortes die Basenverarmung in der Bodenporenlösung als Schwellenereignis eintreten kann.

#### LITERATUR

- ADAM, K., EVERS, F.H. u. LITTEK, Th. (1987): Ergebnisse niederschlagsanalytischer Untersuchungen in südwestdeutschen Waldökosystemen 1981-1986. Berichtband Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK PEF Bd. 24, 119 S.
- BERDÉN, M., NILSSON, S.J., ROSEN, K. und TYLER, G. (1987): Soil acidification: extent, causes and consequences. National Swedish Environment Protection Board, Report 3292, 164 S.
- BLUM, W.E.H. und RAMPAZZO, N. (1987): Chemisch-mineralogische Bodenzustandsänderungen durch Bodenversauerung.

Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Bericht 1987, Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung 69-81, Wien.

BÜCKING, W. und STEINLE, R. (1988): Stoffeintrag in naturnahe Waldökosysteme (Bannwälder) Baden-Württembergs. Berichtsband 4, Statuskolloquium des PEF vom 08-10.03.88 in Karlsruhe, KfK PEF, im Druck.

EVERS, F.H. (1984): Läßt sich das Baumsterben durch Walddüngung oder Kalkung aufhalten? Der Forst- und Holzwirt 39, 75-80.

HALLBÄCKEN, L. und TAMM, C.O. (1986): Changes in Soil Acidity from 1927 to 1982-1984 in a Forest Area of South-West Sweden. Scand. J. For. Res. 1, 219-232.

HANTSCHERL, R., KAUPENJOHANN, M., HORN, R. und ZECH, W. (1986): Kationenkonzentrationen in der Gleichgewichts- und Perkolationsbodenlösung (GBL und PBL) - ein Methodenvergleich. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd 149, 136-139.

HILDEBRAND, E.E. (1985): Ionengleichgewichte in Mineralböden von Fichtenstandorten mit nadelanalytisch festgestellten Ca-, Mg- u. K-Mangelzuständen. Berichtsband 1, Statuskolloquium des PEF vom 05.-07.03.85 in Karlsruhe, KfK PEF 2, 215-227.

HILDEBRAND, E.E. (1986): Ein Verfahren zur Gewinnung der Gleichgewichtsbodenporenlösung. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. 149, 340-341.

HILDEBRAND, E.E. (1987): Zustand und Entwicklung chemischer Eigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkrankten Waldbeständen. Berichtsband Kernforschungszentrum Karlsruhe KfK PEF, Band 28, 40 S.

- HÜTTL, R. (1986): Neuartige Waldschäden und Nährelementversorgung von Fichtenbeständen in Südwestdeutschland. Freiburger Bodenkundl. Abhandlg. 16, 195 S.
- KUCHENBUCH, R. und JUNGK, A. (1984): Wirkung der Kaliumdüngung auf die Kaliumverfügbarkeit in der Rhizosphäre von Raps. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkde. 147, 435-448.
- MEIWES, K.-J., KÖNIG, N., KHANNA, P.K., PRENZEL, J. und ULRICH, B. (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Universität Göttingen, Bd. 7, 1-67.
- REHFUESS, K.E. (1967): Standort und Ernährungszustand von Tannenbeständen (*Abies alba* Mill.) in der südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft. Forstwiss. Cbl. 86, 321-348.
- RENGER, M, STREBEL, O, GRIMME, H. und FLEIGE, H. (1981): Nährstoffanlieferung an die Pflanzenwurzeln durch Massenfluß. Mitteilung. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 30, 63-70.
- ULRICH, B. (1966): Kationenaustausch-Gleichgewichte in Böden. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkde. 113, 141-159.
- ULRICH B. und MATZNER, E. (1983): Abiotische Folgewirkungen der weiträumigen Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren. Luftreinhalteung Forschungsbericht 104 02 615, 221 S., Universität Göttingen.
- ZÜTTL, H.W. und HÜTTL, R. (1985): Schadsymptome und Ernährungszustand von Fichtenbeständen im Südwestdeutschen Alpenvorland. AFZ 9/10, 197-199



## Forstökologisch-bodenkundliche Untersuchungen in der subalpinen Stufe der Tiroler Alpen

Irmentraud Neuwinger, Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Aussenstelle für subalpine Waldforschung, Innsbruck

Die Untersuchungen wurden im Zusammenhang mit den Zielen der Innsbrucker Aussenstelle der Forstlichen Bundesversuchsanstalt begonnen, welche sich auf die gesamtökologische Untersuchung der alpinen Waldgrenze erstrecken.

Neben stark praxisgebundenen Vorhaben, wie zum Beispiel die bodenkundlichen Beiträge zu Düngungen von Aufforstungsgebieten, Ermittlung günstiger Pflanzungszeiten und Ähnliches wurde zunächst mit einer "Inventaraufnahme" der Bodenverhältnisse in den Kalk- und Zentralalpen begonnen, die sich auf Literaturvergleiche stützte.

In der Folge wurde versucht, die Bodeneinheiten in Karten so zu erfassen, dass sie mit ökologischen Einheiten übereinstimmen.

Die Kartierungen im Masstab 1:5 000 bis 1:10 000 bezogen sich zuerst auf Hochlagenaufforstungen im Ötztal und im benachbarten Pitztal sowie im Sellraintal an der Nordgrenze der Zentralalpen und wurden dann auf Wildbach-Einzugsgebiete ausgedehnt, zum Beispiel auf die Axamer Lizum bei Innsbruck, auf Bäche im Oberpinzgau, Ennstal, Drautal, ausserdem im Rahmen eines Maßprojektes auf den Raum Tauernbach-Grossglockner.

Einfache Gelände- und Laboruntersuchungen lieferten Kennwerte für die Charakteristik des Wasser- und Bioelementhaushaltes und konnten für quantitative Vergleiche der Arealeinheiten verwendet werden, siehe die Bilder 1 und 2.

Es zeigte sich in allen Fällen, dass die wirtschaftliche Nutzung einen bedeutenden Faktor für die Veränderung der Böden darstellt, siehe Bild 3, dass jedoch die naturnah genutzten Areale in ein Grundmuster eingefügt sind, das jeweils durch beherrschende Faktorenkomplexe gezeichnet ist:

Ein durch die Aussenstelle Innsbruck gut untersuchter Faktoren-

komplex :Wind - Niederschlag - Besonnung wirkt auf die Ausbildung der Böden und ihrer Pflanzendecke ebenso wie der Komplex Gestein - Wasserregim; in beiden Fällen ergeben sich Nutzungsoptimale Einheiten, die seit langem bewirtschaftet werden.

Von praktischer Bedeutung war die Beobachtung, dass durch die Wahl einer erweiterten Bodenform als Kartierungseinheit der Anschluss an Luftbildauswertungen, besonders an Auswertungen von Infrarotbildern gefunden werden konnte.

Diese erweiterte Bodenform umfasst den Bodentyp, die Humusform, Gründigkeit und Gesteinsuntergrund, die Reliefeinheit (als Modifikationsform der Klimafaktoren) sowie eine Kennzeichnung der Pflanzendecke nach Dominanz und Indikatoren für beherrschende ökologische Faktoren.

Die hier angeführten Beispiele konnten für verschiedene Zwecke ausgewertet werden:

Abgrenzung von Schutz- und Nutzungsgebieten, von optimalen und pessimalen Aufforstungs- oder Weidegebieten, sowie für die Abgrenzung der verschiedenen Abflusszonen in Wildbacheinzugsgebieten.

Für die letztgenannten Untersuchungen wurden Bodenwassermessungen im Zusammenhang mit künstlichen Beregnungen durchgeführt.

Anschluss an die Probleme des Schadstoffeintrags fanden Messungen der Säure-Pufferkapazität in verschiedenen Böden. Es zeigte sich der hohe Pufferwert gut erhaltener Humuslagen.

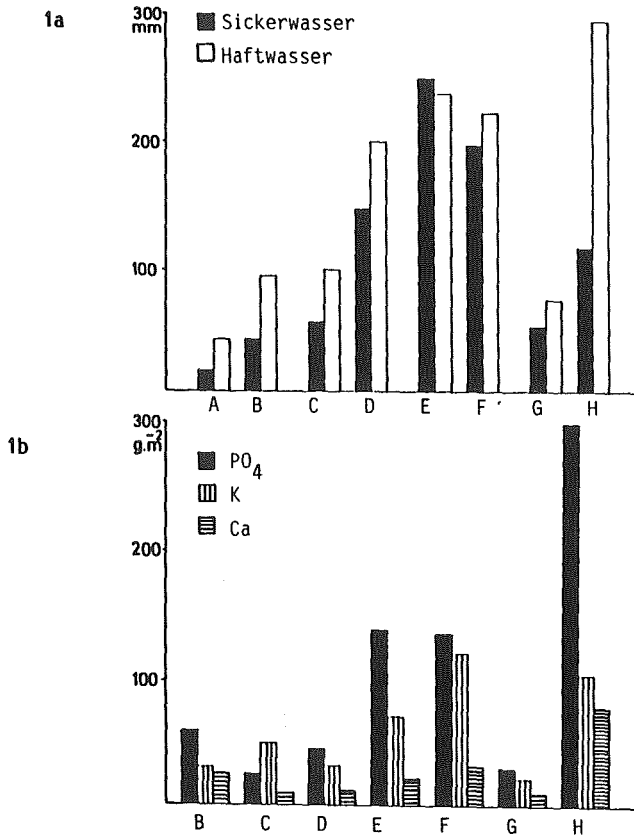


Bild 1: Vergleich der Speichermöglichkeiten von Böden einer Podsolserie (Oberburgl, Ötztaler Alpen)

1a: Verteilung von Sickerwasser- und Haftwasserporen

1b: pflanzenverfügbare Anteile von PO<sub>4</sub>, K und Ca im Solum pro m<sup>2</sup>

Bodenserie: A=Zwergpodsol, B=Braunerde, C=Eisenhumuspodsol, D=Podsolkolluvium, Zwergstrauchheide, E=Eisenpodsol, Wald, F=Podsolkolluvium, Wald, G=Schipistenboden (Kolluvium aus B- u. C-Horizonten), H=pseudovergleytes Podsolkolluvium, Düngewiese

aus: Neuwinger 1988: Bodenökologische Untersuchungen im Gebiet Oberburgler Zirbenwald - Hohe Mut. Österr. MaB-Programm Bd. 10

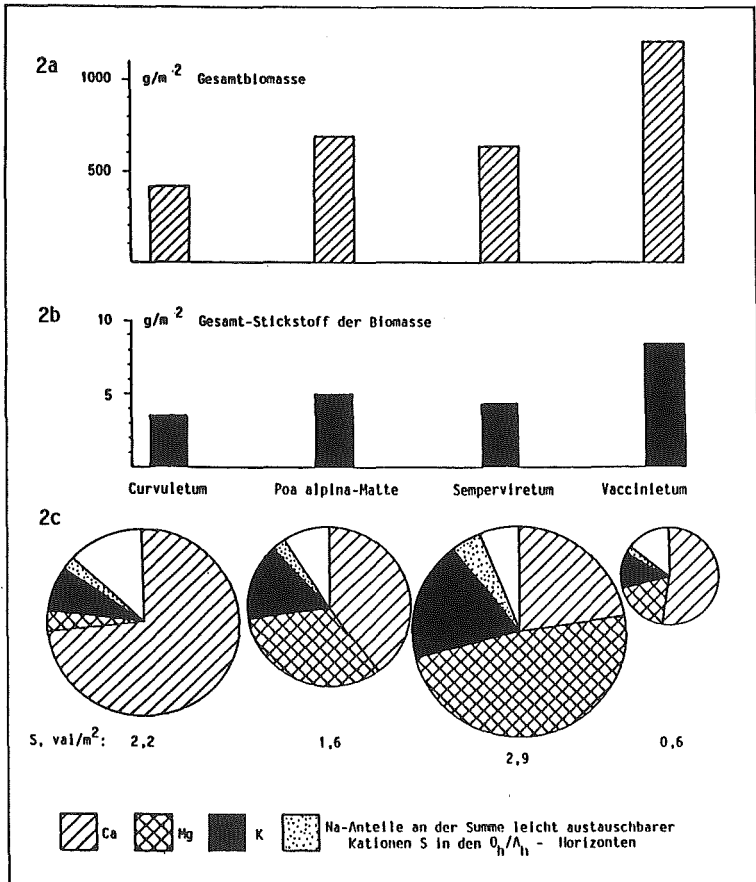
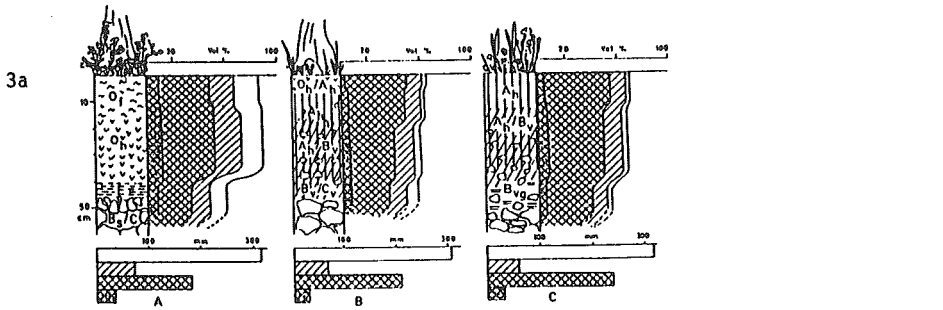


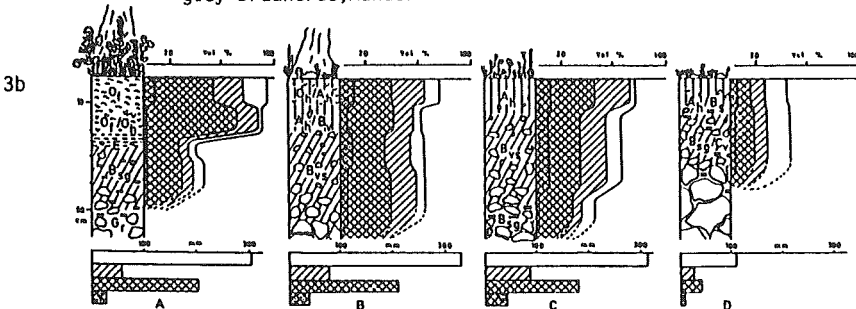
Bild 2: Vergleich von Biomasse (2a), Gesamtstickstoff der Biomasse (2b) der Pflanzengesellschaften einer Bodenserie mit der Summe leicht austauschbarer Kationen im Solum (2c)

aus dem Glocknergebiet in den Hohen Tauern, Grenzgebiet zwischen Zwergstrauch- und Grasheide, um 2200m SH

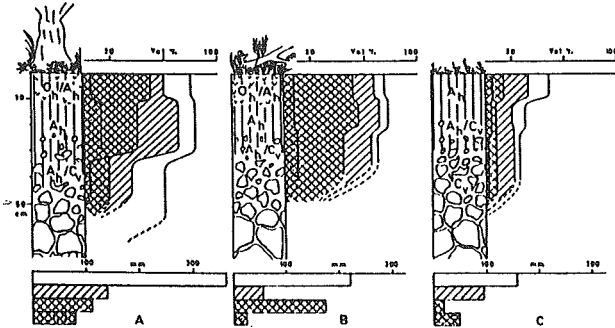
Bodenserie: "Curvuletum": Pseudogley, Übergang zu Frostgley, sauer  
 "Poa alpina-Matte": schwach saure, pseudovergleyte Braunerde  
 "Semperviretum": gebleichte Moderbraunerde, mäßig sauer  
 "Vaccinietum": Pseudogley-Eisenhumuspodsol, sauer



A=Eisenpodsol, Fichten-Lärchenwald, B=Moderbraunerde, Lärchenwald, Weidengang C=Pseudogley-Braunerde, Mäher



A=Pseudogley-Podsol, aufgelassene Waldweide, B=Braunerdekolluvium, Waldweide  
C=Braunerdekolluvium, verheidete Weide, D=Schipiste, Humuskörper abgeschoben



A=Moderrendzina, Schneeheide-Föhrenwald, B=Moderrendzina, Legföhrengbüsch, Weidengang  
C=Schipiste mit Humusabdeckung

Bild 3: Änderung der Wasserspeicherräume durch zunehmende Bewirtschaftung

3a: subalpine Podsol-Braunerdeserie über Kalkschiefer, Hohe Tauern

3b: subalpine Pseudogley-Braunerdeserie über Tonschiefer bei Saalfelden, Salzburg

3c: subalpine Moderrendzina über dolomitischen Kalken, Nordtiroler Kalkalpen

Signaturen: 1 Gesamtporenraum (im Profil Luftraum), 2 Sickerwasserporen, 3 Haftwasserporen

4 Minimalretention=Diffenz zwischen maximaler Wasserkapazität u. Feldkapazität



UMSETZUNGSMÖGLICHKEITEN DER REIHE "PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN  
VON BÖDEN DER SCHWEIZ" FÜR DIE STANDORTSBEURTEILUNG AUS BODEN-  
KUNDLICHER SICHT IN DER FORSTPRAXIS

---

Peter Lüscher, Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen  
8903 Birmensdorf

### 1. EINLEITUNG und PROBLEMSTELLUNG

Die schweizerische Forstwirtschaft stützt sich bei der Waldbewirtschaftung auf die nachhaltige und optimale Ausnutzung der natürlichen Wuchsbedingungen, d.h. des an einem Standort vorhandenen Produktionspotentials.

Bei der Bewertung des Produktionspotentials, als Voraussetzung für eine standortsgerechte waldbauliche Tätigkeit, bildet der Boden eine entscheidende Grundlage.

Die forstliche Standortsbeurteilung aus bodenkundlicher Sicht soll mit den zur Verfügung stehenden 29 Lokalformen aus der Reihe "Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz" im Sinne von Leitprofilen erleichtert werden.

Vor allem im Wald, wo die natürliche Lagerung sowohl der Humus- wie der mineralischen Bodenhorizonte noch weitgehend ungestört vorhanden ist, lässt sich ihr diagnostischer Wert zum Erkennen und Ableiten von - für das Waldwachstum entscheidenden - Bodeneigenschaften nicht unterschätzen.

Eine Übertragung und Anpassung der Erkenntnisse aus unseren Lokalformen auf Standorte mit ähnlichen Bodenbildungsfaktoren, wie sie beispielsweise in den ausgeschiedenen Einheiten der Bodeneignungskarte der Schweiz (1 : 200'000) zusammengefasst sind, hat sich bis anhin recht gut bewährt.

Über die Verteilung der einzelnen Lokalformen auf die Einheiten der Bodeneignungskarte orientiert Tabelle 1. Daraus ebenfalls ersichtlich wird ein erster grober Ueberblick über die Waldstandorte der Schweiz, indem die Anteile der Stichproben (Raster 1 x 1 km) des Landesforstinventars (LFI) bezogen auf die Einheiten der Bodeneignungskarte dargestellt werden.

Einzelaufnahmen lassen sich mit dem aufgezeigten Weg (Lokalformen / Bodeneignungskarte - LFI-Daten), wie im folgenden gezeigt wird, leichter in einen gesamtschweizerischen, u.a. vergleichbaren Rahmen stellen.

### 2. TYPO- und OEKOGRAMMDARSTELLUNG

Mit einfachen Typo- und Oekogrammen für das Humus- und das Bodenkompartment (mineralische Horizonte) lässt sich das waldbauliche Handeln mit den bodenkundlichen Erhebungen verknüpfen. Vor allem im weniger konservativen Humuskompartment sind durch gezielte waldpflegliche Massnahmen Veränderungen herbeizuführen, die die Keim- und Anwuchsverhältnisse in der Verjüngungsphase beeinflussen. Auch die Nährstoffumsetzung wird durch den Aufbau der Humushorizonte bestimmt und lässt sich vergleichend

Tabelle 1 Verteilung der LFI-Stichproben (100 % = 11'863) und Lokalformen (29) auf die physiographischen Einheiten der Bodeneignungskarte der Schweiz (1:200'000)

Physiographische Einheiten	% ANTEILE	% ANTEILE LFI-STICHPROBEN						LOKALFORMEN (ANZAHL)
		0	20	40	60	80	100%	
A TAFELJURA	3,1							1
B BECKEN UND TÄLER IM TAFELJURA	0,2							
C LÄNGSTÄLER IM FALTENJURA	0,9							
D PLATEAUJURA	0,9							
E HÖHENZÜGE IM KETTENJURA	11,9							2
F EBENEN DES TIEFEREN MITTELLANDES	1,0							
G LEICHT GEWELLTES MORÄNENHÜGELLAND	1,5							4
H TIEFERES MOLASSEHÜGELLAND MIT TEILWEISER MORÄNEBEDECKUNG	13,5							2
J SOHLENTÄLER DES MITTELLANDES	0,3							
L DRUMLINLANDSCHAFT MIT STÄRKEREM RELIEF	0,3							
K MITTLERES MOLASSEHÜGELLAND MIT TEILWEISER GLAZIALER UEBERFORMUNG	2,9							4
M/ HÖHERES MOLASSEHÜGELLAND MIT STARKEM	1,4							
N EROSIONRELIEF	1,4							
O VORWIEGEND SANDIGE MOLASSE	2,4							
P NAGELFLUH	3,2							3
Q WEITE ALPENTÄLER	0,5							
R ENGE ALPENTÄLER	0,7							
S ALPINE FLYSCHLANDSCHAFT, BÜNDNERSCHIEFER	11,6							1
T BÜNDNERSCHIEFER IM BEREICHE DES OBEREN RHONETALS UND DES TESSIN	0,7							
U ALPINE KALK-BERGLANDSCHAFT	18,4							2
V ALPINE KRISTALLINE BERGLANDSCHAFT AUF HARTEN GESTEINEN	11,9							2
W ALPINE KRISTALLINE BERGLANDSCHAFT AUF LEICHT VERWITTERBAREN GESTEINEN	9,8							
X ALPENRANDMOLASSE MIT TEILW. MORÄNENBED.	0,03							
Y TALLANDSCHAFTEN	0,4							
Z MAGADINOEBENE UND UMGEBUNG MENDRISIO	0,1							



Tabelle 2 Einfügen der Lokalformen in die Einheiten der Bodeneignungskarte via Uebersichtstypogramm

1 Chnoden 2 Gottschalkenberg 3 Buchberg 4 Hau 5 Guberwald 6 Schmidwald 7 Wüstitobel  
 8 Oberforst 9 Flut-Insel 10 Abist 11 Winzlerboden 12 Steig 13 Oesterliwald 14 Schit-  
 terwald 15 Riedhof 16 Ober-Rickenzopfen 17 Unter-Rickenzopfen 18 Schachen 19 Cima-  
 Pianca 20 Rotenbach 3/4 21 Heumoosegg 1-3 22 Brünlli 23 Megger-Wald 24 Hard 25 Stock-  
 eren 1-4 26 Chassagne 27 Engstlen 28 Tais Guiven 29 Heitibuel.

Bodenwasser- bzw. Lufthaushalt	ZUNEHMENDE BODENENTWICKLUNG			T
	AC - C	A-AC-C A - (B) - C	A - B - C A-AE-Bt-C/A-E-Bh,fe-C	
N<ET sehr trocken	PHÄOZEM			ZUNEHMENDE FEUCHTIGKEIT ↓ Hydromorphe Böden (G/S)
trocken	LITHOSOL			
N>ET gut	RANKER 14 REGOSOL 13 RENDZINA			
frisch gut	CAMBISOL 26 LUVISOL 24			
gut	PODSOL 27, 28 19 (Humus)			
feucht +/- gut	HISTOSOL			
nass z.T. ungenügend	20/4 (gleyic)			
Grund-Hang-Stau- Haft- wasser	GLEYSOL			
z.T. gesättigt ungenügend	7 1 20/3 21 18 9 FLUVISOL			
gesättigt anaerob	6 17			
überschwemmt	25			
	Gesteinsböden Lithomorphe Böden	Humus-Gesteinsböden	Verwitterungsböden (z.T. mit Verlagerungen) Klimaphytomorphe Böden	Organische Böden

darstellen.

Mit den rein mineralischen Bodenhorizonten werden die Wasser- und Nährstoffhaushaltsverhältnisse im Haupt- und Nebenwurzelraum aufgezeigt. Sie bilden die Grundelemente zur Standortsbewertung für die Hauptwachstums- und Altersphase eines Bestandes. Ihre baumartenspezifische Interpretation gewinnt im Zusammenhang mit ertragskundlichen Erhebungen oder auch Waldschadensansprachen an Bedeutung.

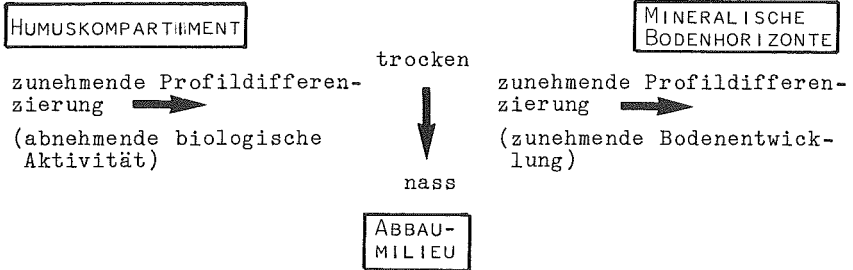


Abb.1a Schematischer Aufbau der Typo-/Oekogrammdarstellungen

### 3. BEISPIEL AUS DER PRAXIS

Die Böden auf dem Randen Hochplateau (Kanton Schaffhausen) gehören, beurteilt nach der Bodeneignungskarte, zur Einheit A (Tafeljura). Relief und Ausgangsmaterial lassen die folgende Unterteilung zu:

- A 1 Plateau, harter Kalk (Hangneigung bis 10 %)
  - Bodentypen\*: Rendzina, Cambisol calcaric, Lithosol
- A 2 Steilhänge, vorwiegend südexponiert (Hangneigung bis 50 %)
  - Bodentypen\*: Rendzina, Lithosol
- A 3 Steilhänge, vorwiegend nord-exponiert (Hangneig. bis 50 %)
  - Bodentypen\*: Rendzina, Cambisol eutric, - gleyic, Lithosol

\* Legende der Bodeneignungskarte, FAO-UNESCO-Klassierung

Gesamtschweizerischer Flächenanteil dieser Kartierungseinheiten (gem. LFI-Stichproben): A = 366 Stichproben oder 3,1 %

A 1 = 33      A 2 = 63      A 3 = 121

Aufgenommene Bodenprofile (Feldansprache)

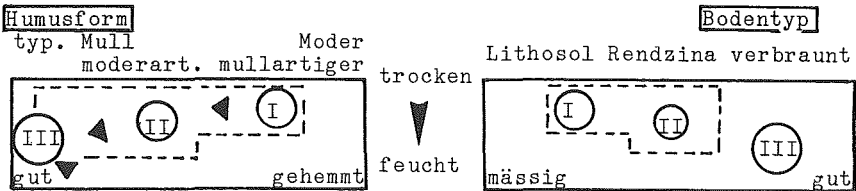


Abbildung 1b Eingliederung der Feldaufnahmen ins Typo-/Oekogramm

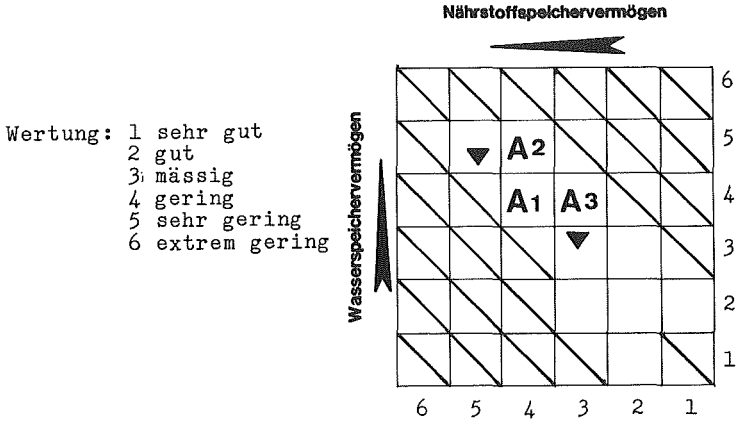


Abbildung 2 Uebersichtsökogramm für die Kartierungseinheiten des Tafeljura

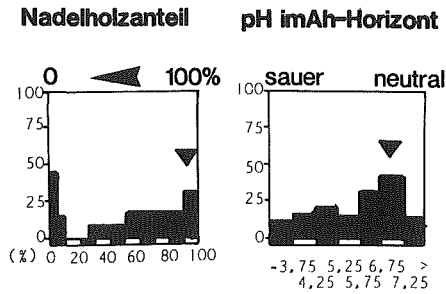
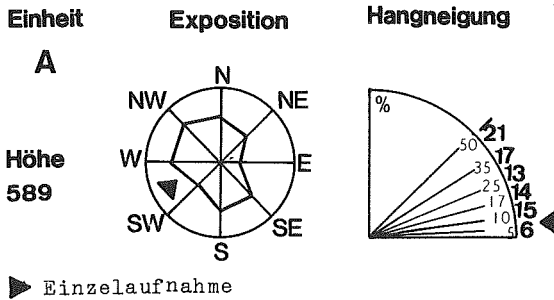


Abbildung 3 LFI-Daten bezogen auf die Einheit TAFELJURA

Die im Typo-/Oekogramm unter I und II zusammengefassten Standorte wurden bis zu Beginn dieses Jahrhunderts landwirtschaftlich genutzt. Aufnahme III repräsentiert die vergleichbaren Verhältnisse unter einem Waldbestand ohne landwirtschaftliche Zwischennutzung.

Durch die Angaben aus der Bodeneignungskarte wird für die Typisierung innerhalb der Kartierungseinheiten ein grober Rahmen gegeben (mögliche Bodentypen und Uebersichtsökogramm, vgl. Abb. 2). Mit der Zuordnung der LFI-Daten (Höhenlage, Exposition, Hangneigung, Nadel- bzw. Laubholzanteile und pH-Wert des Oberbodens) kann eine Einzelaufnahme in den Gesamtrahmen der Kartierungseinheit gestellt werden (Abb.3). Zusätzlich können Werte wie Skelettgehalt, Gründigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Vernässungsgrad aus der Legende der Bodeneignungskarte mitgewichtet werden. Abweichungen von den mittleren Verhältnissen innerhalb der Einheit und deren Konsequenzen für den Einzelfall können gewertet werden.

#### 4. FOLGERUNGEN

Bodendaten lassen sich über Typo-/Oekogramme mit der waldbaulichen Tätigkeit eng verknüpfen (Humuskompartment: Keim-, Anwuchsphase / mineralische Bodenhorizonte: Hauptwachstums-, Altersphase).

Einzelaufnahmen lassen sich über Angaben aus der Bodeneignungskarte der Schweiz und dem Landesforstinventar in einen regional-spezifischen, gesamtschweizerisch aber vergleichbaren Rahmen stellen und bewerten.

Mit den Lokalformen, verstanden als Leitprofile, lassen sich übertragbare Fixpunkte festlegen, die mit erhobenen Feld- und Labordaten ausgestattet sind.

#### 5. RESUME

Grâce aux typogrammes il est possible d'établir d'étroites relations entre certaines données pédologiques et l'activité sylvoicole (domaine de l'humus: phases de germination et de croissance / horizon minéral du sol: phase de croissance principale).

Certains relevés individuels, s'ils sont comparables, peuvent être enregistrés et évalués dans un cadre spécifiquement régional, ou à l'échelon global suisse (carte des aptitudes des sols de la suisse).

Quant aux formes locales (propriétés physiques de quelques sols suisses), utilisées en tant que profils standard, elles permettent de définir certains points fixes figurant sur les écogrammes, points qui pourront alors confirmer les données obtenues sur le terrain et en laboratoire. Par déduction analogique, il sera ainsi possible de procéder à certains reports de données dans une unité cartographique.

Trad. M.Dousse

#### 6. LITERATUR

RICHARD, F., LUESCHER, P., 1978, 1981, 1983, 1987: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Bd.1-4, EAFV, B'dorf.  
 Bodeneignungskarte der Schweiz (1:200 000) 1980: FAP Reckenholz, EDMZ.

---

 HUMUSBILDUNG UND HUMUSUMWANDLUNG IN WALDBESTÄNDEN
 

---

Peter Lüscher, Eidg. Anstalt für das forstl. Versuchswesen  
8903 Birmensdorf

### 1. EINLEITUNG und FRAGESTELLUNGEN

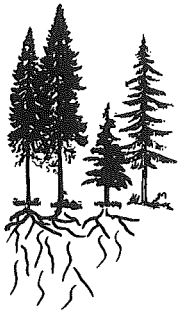
Der Humus umfasst den durch organisches Rückstandsmaterial beeinflussten Teil des Bodens. Unter Wald, mit dem für unseren Klimabereich typischen Vegetationsaufbau (Moos-, Kraut-, Strauch- und Baumschicht), kommt dem Humusaufbau bei der Standortbeurteilung für die waldbauliche Entschlussfassung eine besondere Bedeutung zu.

Es soll aufgezeigt werden, inwiefern

- der Eintrag von organischem Material mengenmässig eine variable Grösse darstellt,
- die Humusform als Zustandsgrösse die wichtigsten standortstypischen Merkmale der Humusbildung einschliesst und als Hinweis für die forstliche Standortbeurteilung tauglich ist,
- durch Teilprozessanalysen mit normierten Materialien die aus verschiedensten Standortparametern resultierenden Humusformen vergleichbar gemacht werden können,
- durch die Charakterisierung des Abbaumilieus (Ah-Horizont) einfache Rückschlüsse auf die Abbau- und Durchmischungsintensität erfolgen können.

### 2. UNTERSUCHUNGSKONZEPT

#### VEGETATIONSDECKE



	<u>MESSGRÖSSE</u>	<u>ORDNUNGSGRÖSSE</u>
Haupt- Bestand		
Neben- Bestand		- Bestandestyp
	<b>STREUEINTRAG</b>	- Baumart
Strauch- Kraut- Schicht		- pflanzensoz. Gesellschaft
Moos- Schicht		- Blattverlustraten
Humus- mineralische Horizonte	<b>HUMUSFORM</b>	- Abbau der organischen Substanz (regionalspezifisch)
Boden- parameter	<b>ABBAUMILIEU</b>	- chemisch-physikalische Kennwerte

GEOLOGISCHES  
AUSGANGSMATERIAL

Abbildung 1 Schematische Darstellung des Vorgehens im Projekt

### 3. STREUEINTRAG

Ziel der Eintragsmessungen ist es, an der Oberfläche des Humuskompartmentes, wo der Zustand der Humushorizonte und die Standortsparmeter Wärme und Feuchtigkeit angesprochen werden, das gesamte abgestorbene organische Material (ohne Wurzeln) zu erfassen.

Zum zeitlichen Auflösungsvermögen:

- Laubholzbestände weisen eindeutig im Herbst ihren maximalen Eintrag auf (Jahresrhythmus feststellbar)
- Nadelholzbestände liefern über das ganze Jahr verteilt Streu, wobei der maximale Eintrag z.T. ereignisorientiert ausfällt (Sturmwind, Frost, Trockenheit).

Zum räumlichen Auflösungsvermögen:

Je nach Bestandesaufbau ergeben sich erhebliche Unterschiede. Ein eigentlicher Zwischenkronenbereich stellt sich in der Regel erst ab dem Stangenholzalter ein (Ausformung des Kronenbereiches).

Alle namhaften vergleichbaren Mehreinträge an Streumaterial aus dem Kronenraum lassen sich mit den ebenfalls angesprochenen Blattverlusten erhärten.

### 4. HUMUSFORMEN

Die Humusmatrix an der Bodenoberfläche reagiert empfindlich auf Veränderungen bei den Eintragsgrößen aus den einzelnen Vegetationsschichten.

Die Humushorizonte (definiert nach den %-Anteilen an oberirdischen erkennbaren Pflanzenresten und organischem Feinmaterial) stellen im Abbauprozess der organischen Substanz bestimmte Phasen dar. Eine Humusform entspricht einer bestimmten Abfolge von Humushorizonten.

	Horizontenfolge    Mächtigkeit		
Streuhorizont L	+/-	+/-	+/-
Fermentationshorizont F		—	-----
Humusstoffhorizont H		—	-----
humushaltiger Mineralerdehorizont Ah	—	-----	-----
	<b>MULL</b>	<b>MODER</b>	<b>ROHHUMUS</b>

Abbildung 2 Klassierungsprinzipien für Humusformen unter Wald

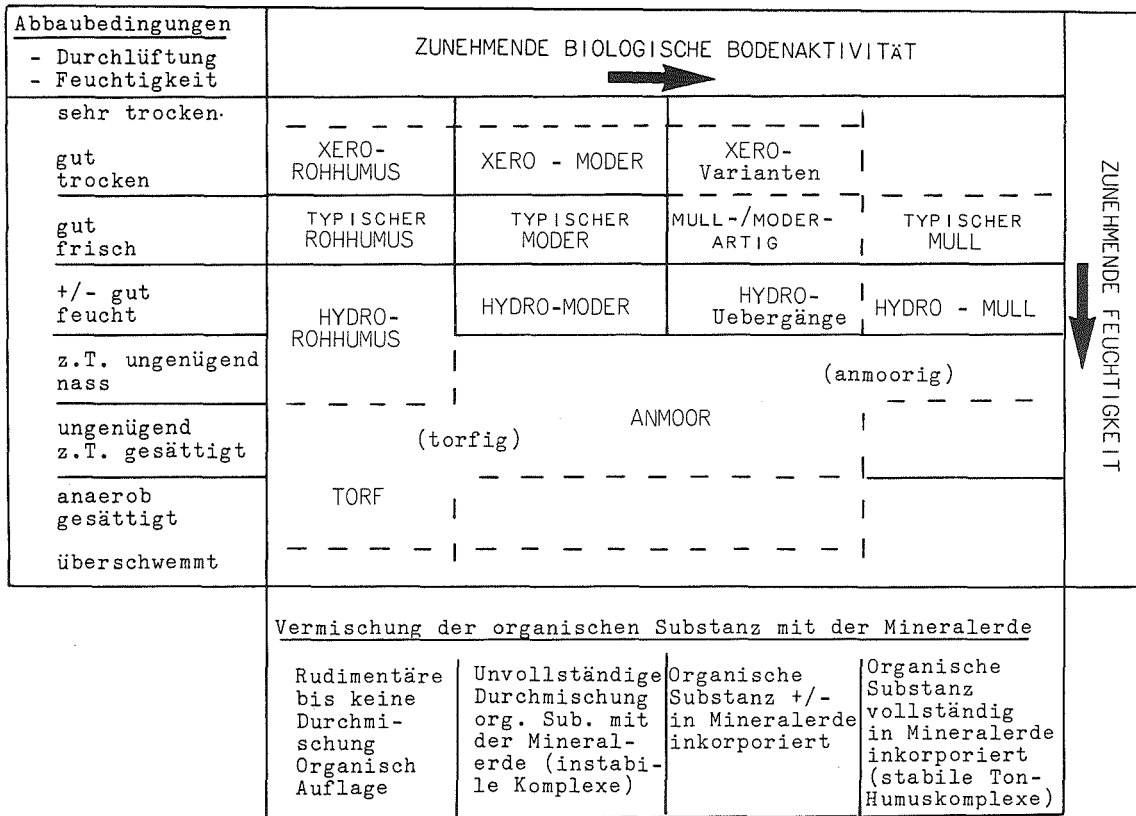


Abbildung 3 Schematisches Uebersichtstypo- /Oekogramm für Waldhumusformen

Mit Typo- /Oekogrammdarstellungen (Uebersicht vgl. Abb.3) wird die regionalspezifische Erfassung und Interpretation der Humusformen vereinfacht und erleichtert.

## 5. ABBAUMILIEU

Die Umwandlung der organischen Substanz ist hauptsächlich von den lagebedingten Standortparametern Wärme und Feuchtigkeit abhängig. Es ist schwierig, die einzelnen Komponenten für die resultierende Humusform standortsbezogen zu werten. Mit den integrierenden Zelluloseabbauraten und den erfassten Temperaturwerten kann eine vergleichende normierte Eichung vorgenommen werden.

Im Bereiche des humushaltigen Mineralerde-Verwitterungshorizontes (Durchmischungsmilieu des organischen Materials mit der Mineralerde) sind die bisherigen Definitionen und Umschreibungen der Eigenschaften wenig differenziert. So kann beispielsweise der pH-Wert des Ah-Horizontes von stark sauer bis neutral schwanken. Auch sind die Durchmischungstiefe, sowie die Gefüge- und Körnungseigenschaften sehr unterschiedlich.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Einen wesentlichen Beitrag zur Humusbildung leistet in unterschiedlichen pflanzensoziologischen Gesellschaften der Streueintrag durch die Hauptbaumarten. Je nach Entwicklungs- und Gesundheitszustand des Waldbestandes ergeben sich räumlich und zeitlich unterschiedliche Mengen von Vegetationsrückständen. Die Humusform selbst, als Grösse zur Zustandserfassung, definiert als Humushorizontenfolge, ergibt für die Forstpraxis gute Grundlagen und Interpretationsmöglichkeiten (Typo-/Oekogramm) bezüglich Nährstoffumsetzungsvermögen und Verjüngungsdynamik auf einem bestimmten Standort.

## RESUME

La litière provenant des essences principales représentent un apport essentiel à la formation de l'humus dans les différentes associations végétales. Selon l'état de développement et de santé de la forêt, différentes litières végétales se forment dans l'espace au cours des temps. La forme de l'humus elle-même, en tant que valeur servant au recensement de l'état du matériel organique, et définie comme la suite des horizons de l'humus, apporte de bonnes bases à la pratique forestière et lui offre aussi des possibilités d'interprétation (représentation d'un écoagramm/typogramme) particulièrement utiles lors de la phase de rajeunissement.

(Trad. M.Dousse)

## 7. LITERATUR

- ANGEHRN-BETTINAZZI, C., LUESCHER, P., HERTZ, J., 1988: Die Thermogravimetrie als Methode zur Differenzierung von unterschiedlichen Mineralisationsgraden in makromorphologisch definierten Humushorizonten. Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Bodenk. (im Druck).
- LUESCHER, P., 1988: Streueintrag und Humusformen in verschiedenen Waldbeständen. Im BGS-Dokument Nr. 4 (in Vorbereitung).



## **Schwermetalle in der organischen Auflage von Waldstandorten**

C. Angehrn-Bettinazzi<sup>1</sup>, J. Hertz<sup>1</sup> und P. Lüscher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Anorganisch-Chemisches Institut, Universität Zürich, Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich

<sup>2</sup>Eidg. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen (EAFV), CH-8903 Birmensdorf

### **1. Einleitung**

Autotrophe Pflanzen benötigen Nährstoffe, die sie teilweise aus dem Laubfall bzw. nach dessen Mineralisierung über die Bodenlösung aufnehmen. Die organische Auflage in Waldstandorten stellt somit ein wichtiges Reservoir für Mikro- und Makronährstoffe dar. Die Pflanzen sind damit von der Art und der Geschwindigkeit der Abbauvorgänge in der Streu abhängig.

Seit den Untersuchungen von Tyler (Tyler, 1972) ist die Akkumulationsfähigkeit der organischen Auflage in bezug auf die Schwermetalle bekannt; wobei sich hohe Schwermetallgehalte schädlich auf den Streuabbau und ev. auf den Feinwurzelbereich auswirken können (Tyler, 1972; Watson, 1976).

Im folgenden Projekt soll der Einfluss von unterschiedlichen Standortparametern (Vegetationsart, Bodentyp, Humusform, Immissionssituation) auf das Ausmass und die Charakteristika der Schwermetallanreicherung in der organischen Auflage untersucht werden. Im Rahmen dieses Projektes wurde als erstes das Verhalten der Schwermetalle in der Streu von zwei Buchenstandorten mit unterschiedlicher Immissionssituation untersucht. Anhand dieser, hier diskutierten Daten wird der Einfluss des Mikrostandortes (Stammabfluss- und Zwischenkronenbereich), sowie Unterschiede in der Schwermetall-Verfügbarkeit innerhalb der verschiedenen Horizonte aufgezeigt. Der Abbaugrad der Streu wurde nach der morphologischen Ansprache im Feld (Babel, 1972) mittels Thermogravimetrie bestimmt.

## 2. Standorte und Methoden

### 2.1. Standortwahl

In einer ersten Phase wurden die Standorte Oberstammheim (ländliches Gebiet) und Zürichberg, der mit Schwermetallen höher belastet ist (Hertz, 1988) ausgewählt. Auf jeder Probenfläche wurde ein Buchenbestand (Alter ca. 90 Jahre) durchsetzt mit einzelnen Fichten ausgewählt, sodass es sich bei beiden Humusformen um einen moderartigen Mull handelte, der für Oberstammheim auf einer schwach sauren Braunerde (örtlich Kalkbraunerde) und in Zürichberg auf einer pseudovergylten Parabraunerde auflag.

### 2.2. Probennahme und Probenaufbereitung

Grüne Blätter wurden Ende September an beiden Standorten von einem Buchenast gepflückt. Einen Monat später wurden erneut vom selben Ast gelbbraune Blätter entnommen.

Das fallende Laub wurde mittels aufgehängten PVC-Boxen (Grundfläche 0.1 m<sup>2</sup>, drei pro Standort), die unten mit einem Nylonnetz überzogen waren, gesammelt. Die Boxen wurden während des ganzen Laubfalls (Mitte September-Dezember) wöchentlich entleert.

Ende August wurden die Streuproben an beiden Standorten mit einem quadratischen, aus rostfreiem Stahl gefertigten Carré gestochen. Pro Standort wurde insgesamt achtmal die Streu von 0,1 m<sup>2</sup> Bodenfläche gesammelt, wobei sich vier der Flächen im stammnahen und die anderen vier sich im Zwischenkronenbereich befanden. Die gesammelten Proben wurden in einem Umluftofen bei 50°C während 48-72h getrocknet. Die Homogenisierung der Proben erfolgte mittels einer Kugelmühle, danach wurden Streuproben gleicher Lage innerhalb eines Standortes zu Mischproben zusammengegeben und bis zur Analyse bei -4°C gelagert.

Für die Bestimmung des Totalgehaltes an Schwermetallen wurde ein HClO<sub>4</sub>/HNO<sub>3</sub> Aufschluss verwendet. Der extrahierbare Anteil wurde durch Zugabe von 100ml NH<sub>4</sub>Ac pH 7 zu 5g Probe gewonnen. Die Schwermetall-Analysen erfolgten mittels Inversvoltammetrie (DPASV) am hängenden Quecksilbertropfen (Metrohm, VA-Prozessor 646).

Die Isolierung von Hemicellulose und Cellulose aus dem Laub erfolgte nach der Methode von Thornber (1961). Für die Herstellung des Klason-Lignins wurde die Vorschrift von Browning (1967) angewandt. Die Thermogravimetrischen Analysen (Perkin Elmer, TGA 7) erfolgten durch das Aufheizen der Proben (5-20mg) von 40<sup>o</sup> auf 800<sup>o</sup>C mit einer Heizrate von 10<sup>o</sup>C/min in einem Luftstrom (16ml/min).

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1. Bestimmung des Mineralisationsgrades der Streu mittels Thermogravimetrie

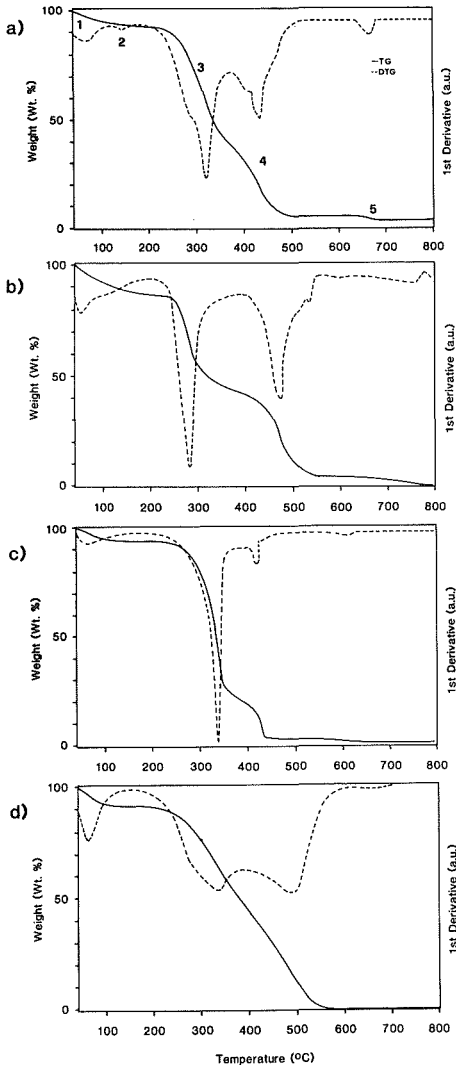


Abbildung 1: Thermogramme der organischen Bestandteile (TG: Gewichtsverlust, DTG: erste Ableitung des Gewichtsverlustes)  
 a) Buchenlaub, b) Hemicellulose  
 c) Cellulose, d) Klason-Lignin

Werden Laub und Streuproben von 40<sup>o</sup> bis 800<sup>o</sup>C aufgeheizt, zeigen sich 5 charakteristische Gewichtsverluste (Abb. 1a).

Der erste Gewichtsverlust (40<sup>o</sup>-800<sup>o</sup>C) ist durch den Wassergehalt der Laubprobe bedingt. Die folgenden drei Stufen resultieren aus der thermischen Zersetzung der organischen Matrix. Röntgenographische Untersuchungen am Endprodukt zeigten, dass Stufe 5 durch die Zersetzung von CaCO<sub>3</sub> zu CaO bedingt ist. CaCO<sub>3</sub> kann aus dem Calciumoxalat des Laubes entstehen; auch eine interne Carbonatisierung ist nicht auszuschliessen.

Wie in Abbildung 1b-d) zu sehen ist, können die Stufe 2 (130<sup>o</sup>-170<sup>o</sup>C), Stufe 3 (170<sup>o</sup>-350<sup>o</sup>C) und Stufe 4 (360<sup>o</sup>-600<sup>o</sup>) den Hauptkomponenten der organische Matrix (Hemicellulose, Cellulose, Lignin) zugeordnet werden. Die Zersetzungsstufen überlagern sich und somit kann auf Grund des Thermogramms keine Aussage über die prozentuale Zusammensetzung an Hauptinhaltsstoffen des Laubes getätigt werden.

Die Verhältnisse der charakteristischen Gewichtsverluste der organischen Matrix (2-4) verändern sich während des biologischen Abbaus. In Abbildung 2 sind die Stufen der thermischen Zersetzung der Horizonte eines Rohhumus' zu sehen. Mit zunehmendem Mineralisationsgrad der Streu nehmen die Stufen 2 und 3 ab, während

die Stufe 4 eine prozentuale Zunahme aufweist. Dies korreliert mit der Aussage, dass in Stufe 2 und 3 vorwiegend die thermische Zersetzung der biologisch leichter abbaubaren Hemicellulose und Cellulose vor sich geht, während das schwer abbaubare Lignin einen grossen Beitrag zur Stufe 4 liefert.

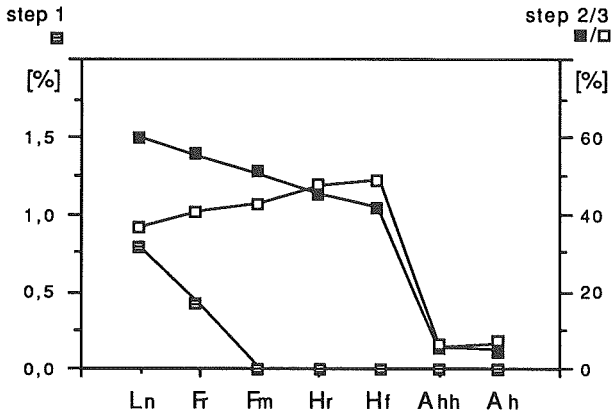


Abbildung 2: Aenderung der Stufenhöhen in einem Rohhumus

Mit Hilfe von statistischen Auswertungen (Hauptkomponenten- und Diskriminanzanalysen) der Stufen 2-4 kann der Zersetzungsgrad eines Horizontes bestimmt werden (Angehrn-Bettinazzi et al., 1988). Somit können Unsicherheiten bei der morphologischen Klassierung von Übergangshorizonten ausgeräumt werden.

### 3.2. Schwermetallgehalte in der Streu

#### 3.2.1. Totalgehalt

In Abbildung 3 ist der Schwermetallgehalt der untersuchten Proben in bezug auf den Abbaugrad aufgetragen.

Die erhöhte Immission am Standort Zürichberg ist bei allen vier Elementen klar zu erkennen. Die Metalle Blei, Cadmium und Zink verhalten sich ähnlich; die tiefsten Gehalte finden sich in den grünen Blättern, während die höchsten Konzentrationen in der F-Streu anzutreffen sind. Der Akkumulationsbeginn variiert jedoch, so nimmt die Cadmiumkonzentration bereits im Laub zu, während erhöhte Blei- und Zinkwerte erst in der L- und F-Streu anzutreffen sind. Die Absorptionsfähigkeit des fallenden Laubes in bezug auf Cadmium scheint gross zu sein. Möglicherweise kann Cadmium bei nicht mehr intakter Cuticula vermehrt ins Blatt eindringen oder adsorbiert werden. Die Anreicherung von Cadmium in der Streu ist verglichen mit dem Gehalt im Laub nicht

ausgeprägt, was in Übereinstimmung mit der hohen Mobilität dieses Elementes in der organischen Auflage steht (Abb. 4).

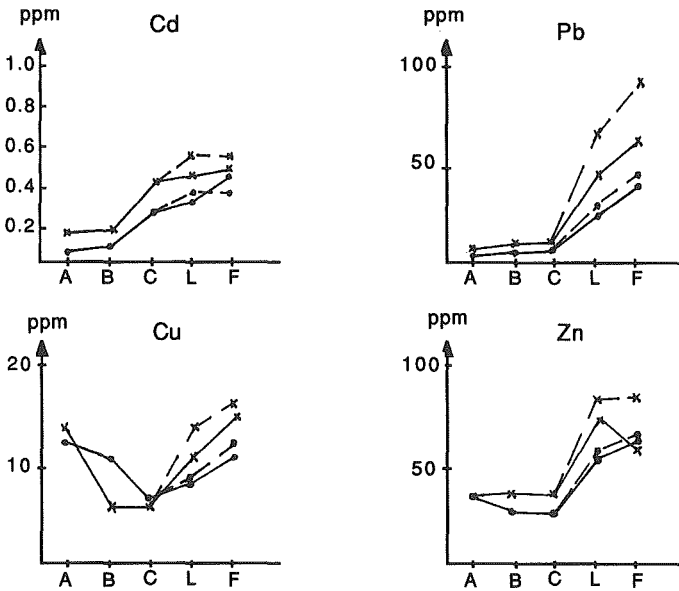


Abbildung 3: Totalgehalt an Schwermetallen

Zürichberg  
 x—o Zwischenkronenbereich  
 x--x Stammnähe  
 Oberstammheim  
 o—o Zwischenkronenbereich  
 o--o Stammnähe

A : grüne Blätter  
 B : braun gelb Blätter  
 C : fallendes Laub  
 L : L-Horizont  
 F : F-Horizont

Der Bleigehalt in der Streu korreliert mit dem Zersetzungsgrad, so nimmt die Bleikonzentration im Laub bis hin zum F-Horizont kontinuierlich zu. Dies weist auf die hohe Komplexfähigkeit der organischen Auflage in bezug auf Blei hin.

Kupfer weist als einziges Element in den grünen Blättern einen höheren Wert auf als im fallenden Laub. Diese Abnahme könnte auf ein vermehrtes Auslaugen des Mikronährstoffes Kupfer während des Welkprozesses hindeuten, da eine Verlagerung von Kupfer vor dem Laubfall im Baum wenig wahrscheinlich ist. Um eine gesicherte Aussage zu tätigen, müssten jedoch mehr grüne Blätter nach statistischen Gesichtspunkten gesammelt werden.

Bei allen vier Schwermetallen weisen die Proben in Stammnähe einen höheren Gehalt auf, was auf den vermehrten Schwermetalleintrag durch den Stammabfluss zurückzuführen ist. Auch hier zeigt sich dies besonders deutlich bei den Elementen Blei und Kupfer, die eine hohe Affinität zur organischen Auflage zeigen.

In Abbildung 4 wurde der extrahierbare Anteil ( $\text{NH}_4\text{Ac}$ ) als Prozentsatz des Totalgehaltes in den verschiedenen Abbaustufen aufgetragen.

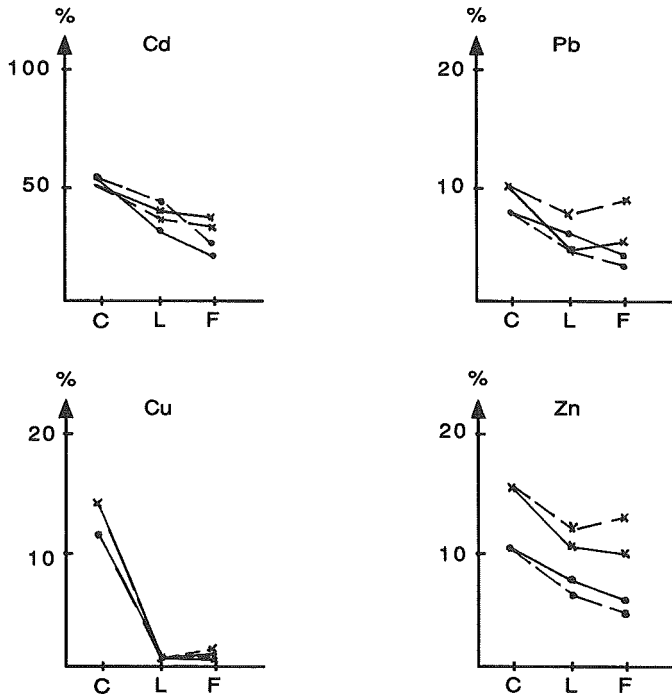


Abbildung 4: Extrahierbarer Anteil der Schwermetalle

- Zürichberg  
 —x— Zwischenkronenbereich  
 —x— Stammnähe
- Oberstammheim  
 —o— Zwischenkronenbereich  
 —o— Stammnähe
- C : fallendes Laub  
 L : L-Horizont  
 F : F-Horizont

Die prozentuale Konzentration der Schwermetalle nimmt im Extrakt mit zunehmenden Abbaugrad ab, was auf eine generell verminderte Mobilität in den zersetzten Schichten hinweist. Dies trifft vorallem für Kupfer zu, dessen

extrahierbarer Anteil von 12% bzw. 14% im fallenden Laub auf unter 2% in der F-Streu sinkt. Cadmium ist das Element mit der höchsten Mobilität, zwischen 50% und 20% des Totalgehaltes konnten mit  $\text{NH}_4\text{Ac}$  pH7 extrahiert werden.

### 3.3 Weiterführendes Projekt.

Im Rahmen des weiterführenden Projektes erfolgte eine Ausdehnung der Untersuchungsgebiete auf 20 Waldstandorte in der Schweiz. Das Ziel des Projektes stellt das Aufzeigen und Interpretieren von Verknüpfungen von Einflussgrößen mit der Schwermetall-Variabilität in der organischen Auflage dar. Das Konzept ist in Abbildung 5 dargestellt.

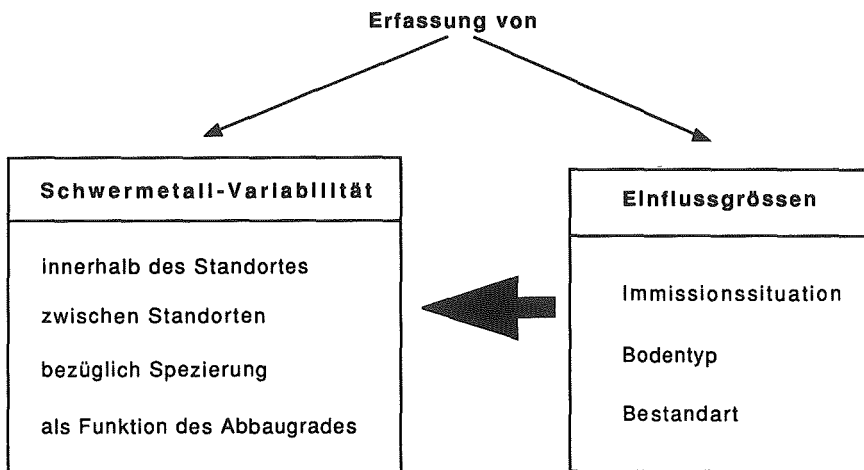


Abbildung 5: Konzept des weiterführenden Projektes

Die ersten Resultate werden nach Beendigung der Datenerhebung im Sommer 1988 vorhanden sein.

## 4. Literatur

Angehrn-Bettinazzi C., P. Lüscher und J. Hertz (1988),  
 Z. Pflanzenernähr. Bodenk. (im Druck)

Babel U. (1972), Hohenheimer Arbeiten Nr.60, Verlag Eugen Ulmer,  
 Stuttgart, 120ff.

Browning B.L. (1967) : Methods of wood chemistry, Vol 2, Interscience Publisher, New York, London, Sydney, 726ff.

Hertz J., P.Bucher, G.Furrer, L.Keller, O.Daniel, L.Thöni (1988),  
Chimia (im Druck)

Thornber J.P. und D.H. Northcote, (1961), Biochem J. 81, 449-445

Tyler G. (1972), Ambio 1, 52-59

Watson A.P.(1976), Dissertation, University of Kentucky



SCHADSTOFF- UND NÄHRELEMENTFLUESSE IN EINEM HANGGLEY UNTER EINEM FICHTENBESTAND  
DES VORALPENGEBIETES

E. DISERENS, A. MECHSNER, H. STICHER

Labor für Bodenchemie, Institut für Lebensmittelwissenschaft,  
ETH-Zentrum, 8092 Zürich

### 1. EINLEITUNG

Im Rahmen des NFP 14+ (Waldschadenuntersuchungen) wird auf dem Standort Alpthal (SZ) der Boden unter einem Fichtenbestand kartiert und physikalisch-chemisch charakterisiert. In der Folge von Niederschlagsereignissen werden die Schadstoff- und Nährelementflüsse mittels Saugkerzen und Drainageeinrichtungen erfasst. Untersuchungen zur Al-Speziierung sollen Hinweise auf eine mögliche Al-Toxizität geben und den Einfluss des Aluminiums auf die Phosphat-Verfügbarkeit aufklären.

In der vorliegenden Arbeit berichten wir über die Ionengehalte und die Schwermetallkonzentrationen von zwei Hanggleystandorten mit unterschiedlicher Humusform.

### 2. STANDORT

Alpthal, Kanton Schwyz; LK 1 : 25'000, Blatt Nr. 1152, (Ibergereg); Koordinaten: 696 775 / 211 163; 1185 m ü.M.; Niederschläge: 2456 mm; mittl. Temperatur: 5° C. Bodentypen: 1. Hanggley mit Rohhumus. 2. Anmoor-Hanggley.

### 3. METHODEN

Die Bodenproben wurden nach LAKANEN und ERVIOE (1971) mit Ammoniumacetat-EDTA bei pH 4.65 extrahiert. Die Analysen erfolgten mittels ICP, wofür wir der EAFV in Birmensdorf herzlich danken.

### 4. RESULTATE UND DISKUSSION

Tab. 1: Bodenkennwerte des Profils Hanggley mit Rohhumusauflage

#### ALPTHAL-ROHHUMUS (LAKANEN-EXTRAKTE)

HORIZONTE	TIEFE CH	pH	%C	CA	K	NA	MG	MN	AL	FE	P	CA/AL
LF	0-2	3.6	42.3	4450	1902	38	314	220	261	610	270	17.0
H(F)	2-5	3.6	26.7	2090	238	11	130	9	1013	485	95	2.1
A(h)	5-15	3.6	5.6	1550	94	3	91	27	1037	2190	13	1.5
Go(r)	30-40	4.2	6.3	4570	99	2	146	32	707	1450	5	6.5
Gr	65-75	5.1	5.2	4420	87	4	103	30	270	2490	10	16.4
Gr	90-100	5.1	5.6	4224	82	5	299	37	308	3186	9	13.7

Tab. 2: Bodenkennwerte des Profils Anmoor-Hanggley

## ALPHTHAL-ANMOOR (LAKANEN-EXTRAKTE)

HORIZONTE	TIEFE CM	PH	%C	CA	K	NA	HG	MN	AL	FE	P	CA/AL
L(F)	0-2		43.0	6010	5610	39	425	314	123	350	331	48.9
LF	2-5		26.9	8380	939	25	327	435	375	1880	70	22.3
Aa(h)	5-20	4.9	13.5	6460	260	10	215	133	444	1740	19	14.5
Go	25-35	5.3	4.3	4260	85	8	95	50	322	1110	5	13.2
Gr	50-60	5.4	4.9	5220	76	8	99	54	277	1640	6	18.8

Im stark sauren Boden mit Rohhumusaufgabe fällt die hohe extrahierbare Aluminiumkonzentration und das damit verbundene tiefe Ca/Al-Verhältnis auf. Gemäss den vorherrschenden pH-Werten befindet sich der Boden im Aluminiumpufferbereich. Entsprechend dem Wasserfluss werden gelöste Ionen ( $K^+$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Ca^{++}$  usw.) vorwiegend entlang hangparalleler Falllinien transportiert und wegen des dichten Untergrundes nur geringfügig senkrecht in die Tiefe verlagert. Diese Tendenz soll mittels Saugkerzen und Drainagerinnen näher untersucht werden.

Der hohe Eisengehalt im Oberboden ist vorwiegend auf komplexiertes Fe(III) zurückzuführen.

Im Anmoor, wo praktisch dauernd stagnierendes Wasser bis in den Obergrund ansteht, ist die Versauerung weniger weit fortgeschritten. Entsprechend ist die extrahierbare Aluminiumkonzentration tiefer und wegen der geringeren Auswaschung das Ca/Al-Verhältnis bedeutend höher. Die extrahierbare Eisenmenge ist geringer als beim Rohhumusboden. Wegen des zumeist tiefen Redoxpotentials dürfte ein Teil des Eisens in der mobilen Ferroform ausgewaschen worden sein.

Für die Interpretation der Phosphatgehalte sind weitere Untersuchungen notwendig (s. unten).

Tab. 3: Schwermetallgehalte (Lakanen-Extrakte) im Profil Hanggley mit Rohhumusaufgabe

HORIZONTE	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
LF	0.9	0.3	6.5	4.0	85.1	69.0
H(F)	1.0	0.7	4.7	4.2	87.6	41.1
A(h)	0.3	1.3	3.6	3.3	22.7	9.5
Go(r)	0.2	0.7	6.3	8.3	14.5	8.3
Gr	0.2	0.4	8.6	4.7	17.7	9.8
Gr	0.2	0.4	8.3	5.4	16.6	12.3

Tab. 4: Schwermetallgehalte (Lakanen-Extrakte) im Profil Anmoor-Hanggley

HORIZONTE	Cd	Cr	PPH			
			Cu	Ni	Pb	Zn
L(F)	0.5	0.1	5.1	4.4	22.9	59.4
LF	0.9	0.3	6.7	10.1	41.2	47.3
Aa(h)	0.5	0.3	4.7	6.8	27.6	16.9
Gro	0.1	0.4	4.6	2.6	15.9	3.2
Gr	0.2	0.5	8.4	4.1	17.1	2.9

Die Schwermetallprofile der beiden Böden unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Einzig das Blei ist im Rohhumus gegenüber dem Anmoor besonders stark angereichert. Die Anreicherung von Cd, Pb und Zn im Oberboden ist einerseits auf die Bioakkumulation, andererseits aber auf die Zufuhr von aussen zurückzuführen. Die gleichmässige Verteilung des Nickels über die beiden Profile lässt sich mit der geringen Komplexbildungsbereitschaft und der folglich hohen Mobilität des Ni-Aquions erklären. Wieweit beim Kupfer die leichte Verlagerbarkeit von stabilen Cu-Fulvaten die Verteilung im Profil beeinflusst, bedarf der näheren Abklärung.

#### 5. WEITERES VORGEHEN

Da bei den im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Bodenverhältnissen ein beträchtlicher Anteil des Niederschlagswassers im Oberboden hangparallel abfließt, soll mittels Saugkerzen (Haftwasser) und Drainagerinnen (Fließwasser) in der Folge von Niederschlagsereignissen periodisch Bodenwasser gewonnen und auf die Ionenzusammensetzung untersucht werden. Die Spezierung der Bodenlösung erfolgt mit dem GEOCHEM-Programm. Für die Erfassung der verschiedenen Al-Bindungsformen soll auf die Arbeiten von BLASER et al. (1987), DRISCOLL (1984) und JOSLIN et al. (1987) zurückgegriffen werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Auf zwei Böden mit unterschiedlicher Humusform der Dauerbeobachtungsfläche Alpthal (SZ) des Nationalen Forschungsprogramms 14+ (Waldschäden) wurden die Nährstoff-, Aluminium- und Schwermetallgehalte in Lakanen-Extrakt (Ammoniumacetat-EDTA, pH 4.65) bestimmt. Ein Hanggley mit Rohhumusaufgabe weist dabei die tieferen pH-Werte, tieferen Nährstoffgehalte, sowie die höheren freien Al-Gehalte auf als ein Anmoorhanggley. Die Schwermetallverteilung der beiden Böden ist nicht signifikant verschieden.

#### SUMMARY

On the site Alpthal of the Swiss National Research program 14+ (Forest decline) two gley-soils with different humus dynamics were analysed for nutrient, aluminium and heavy metal content. The first soil with an O-horizon was more acid and contained less nutrients and more extractable aluminium than the second soil with a hydromorphous Aa-horizon. The heavy metal content of the two soils was more or less the same.

## RESUME

Deux sols du site d'observation permanent d'Alpthal/SZ (station retenue dans le programme de recherche national 14+ sur la pollution de l'air et le dépérissement des forêts) présentant des formes d'humus différentes ont été examinés. Les éléments nutritifs, l'aluminium et les métaux lourds ont été analysés selon la méthode de Lakanen (extrait d'acétate d'ammonium + EDTA, pH 4.65). Pour un sol à gley en pente couvert d'un humus brut, l'acidité et la teneur en aluminium libre sont supérieures à celles d'un même sol recouvert d'un anmoor, alors que les concentrations en ions nutritifs en sont inférieures. La répartition des métaux lourds des deux sols ne se distingue pas de manière significative.

## LITERATUR

BLASER, P., KLEMMEDSON, J.O., 1987:

Die Bedeutung von hohen Aluminiumgehalten für die Humusanreicherung in sauren Waldböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 150, 334-341.

DRISCOLL, C.T., 1984:

A Procedure for the Fractionation of a aqueous Aluminium in dilute acidic Waters. Intern. J. Environ. Anal. Chem., 16, 267-283.

JOSLIN, J.D. et al., 1987:

Chemistry of Tension Lysimeter Water and Lateral Flow in Spruce and Hardwood Stands. J. Environ. Qual., 16, 152-160.

LAKANEN, E., ERVIOE, R., 1971:

Acta Agralia Fennica, 123, 223-235.

**VERTEILUNG VON CHROM UND NICKEL  
AUF SUBALPINEN FICHTENSTANDORTEN**

**Abd-el-Razik A., Haab R., Hartmann Lisa  
Gasser U., Juchler S. und Sticher H.**

Labor für Bodenchemie, ILW, ETH Zentrum, 8092 Zürich

Standorte auf Serpentin und anderen basischen und ultrabasischen Gesteinen eignen sich wegen des hohen Gehaltes an Schwermetallen vorzüglich, um das chemische Verhalten dieser Elemente und deren Kreislauf im Oekosystem zu erfassen. Aus diesem Grunde haben wir im Sommer 1987 im Rahmen von drei Diplomarbeiten die Chrom- und Nickelverteilung auf 4 Fichtenstandorten bei Davos-Wolfgang (Kanton Graubünden) untersucht. Neben den basischen Substraten Serpentin und Ophicalcit wurden zum Vergleich für einen Teil der Arbeiten je ein benachbarter Standort auf Dolomit und Gneis mit einbezogen.

Im folgenden sind die wichtigsten Resultate kurz zusammengefasst. Eine ausführliche Publikation ist anderswo vorgesehen.

Die Verteilung des Chrom- und Nickelgesamtgehaltes im Serpentinboden ist in der Tabelle 1 zusammengestellt. Nickel als mobiles Element, welches im Gestein vorwiegend in den Serpentinmineralien Chrysotil und Lizardit gebunden ist und bei deren Verwitterung frei wird, ist aus dem Boden weitgehend ausgewaschen, während Chrom, das im Gestein in verwitterungsresistenten Spinellen (Chromit, Picotit) gebunden ist, stark angereichert wurde. Ueber die Gehalte und die Spezierung der beiden Elemente in der Bodenlösung vgl. Juchler et al. (1987).

Bei der Aufnahme in die Vegetation zeigen sich ebenfalls beträchtliche Unterschiede. Während die Nickelgehalte in der Pflanzentrockensubstanz zwischen 5 und 9 ppm schwanken, wird Chrom kaum aufgenommen und liegt meist unterhalb 1 ppm. Die Gehalte in 5 charakteristischen Arten sind in der Figur 1 vergleichsweise dargestellt. Bei allen Arten treten jahrzeitliche Schwankungen im Gehalt auf, allerdings für jedes Element verschieden und ohne allgemeine Tendenz. Beim Nickel nimmt der Gehalt von den Nadeln über die Borke zum Holz ab. Auffallend hohe Chromgehalte weisen Moose und Flechten auf.

Zum Vergleich verschiedener Standorte wurden ein- und sechsjährige Fichtennadeln untersucht. Die Gehalte wurden mit den Konzentrationen des Natriumnitratgehaltes gemäss VSBö verglichen (Tabelle 2). Auch hier zeigt sich die höhere Mobilität und grössere Verfügbarkeit des Nickels gegenüber dem Chrom. Auffallend ist der mit dem Alter abnehmende Nickelgehalt, was auf eine allmähliche Auswaschung hinweisen dürfte. Interessant ist schliesslich die sich mit dem Alter einstellende Angleichung des Ni/Cr-Verhältnisses auf einen Wert zwischen 10 und 12, unabhängig vom Standort. Dass trotz des hohen Ni/Cr-Verhältnisses in der Vegetation im Rohhumus wesentlich mehr Chrom gebunden ist (Tabelle 1), hängt mit der grossen Stabilität von Chrom-Humat-Komplexen zusammen.

JUCHLER S. und STICHER H. (1987). Bulletin BGS 11, 11 - 17.

Tabelle 1: Chrom und Nickel im Serpentinboden. Totalaufschluss mit HF-HClO<sub>4</sub>. Angaben in ppm der Trockenmasse.

Horizont	Ni	Cr	Cr/Ni
F	17	86	5
H	38	335	9
E	67	1417	21
Bv	650	1780	3
C	550	650	1

Tabelle 2: Gehalt an Chrom und Nickel in Fichtennadeln von 4 verschiedenen Standorten sowie "verfügbarer" Gehalt im Boden (Natriumnitrat-extrakt nach VSBo). Angaben in ppm der Trockenmasse.

		Serpentinit	Gneis	Dolomit	Ophicalcit
Nadeln jung	Cr	0,4	0,3	0,3	0,3
	Ni	8,0	6,7	0,4	14,4
	Ni/Cr	22	23	1	53
Nadeln alt	Cr	0,3	0,1	0,2	0,7
	Ni	3,1	1,5	1,6	7,5
	Ni/Cr	12	11	10	11
Boden (0,1 M NaNO <sub>3</sub> )	Cr	1,6	0,07	0,1	0,6
	Ni	1,6	0,7	0,25	2,75
	Ni/Cr	1	10	2,5	4,4

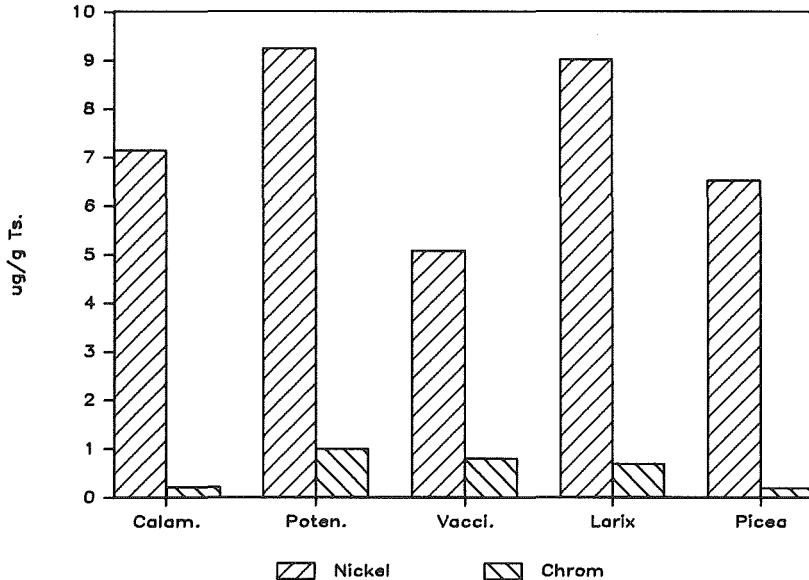


Fig. 1: Nickel- und Chromgehalte in den Blättern bzw. Nadeln von *Calamagrostis villosa*, *Potentilla erecta*, *Vaccinium myrtillus*, *Larix decidua* und *Picea abies*. Angaben in ppm der Trockenmasse.

---

**ZUM VERHALTEN VON CHROM UND NICKEL IN GOETHITHALTIGEN BODENHORIZONTEN**

---

GASSER U., JUCHLER S. &amp; STICHER H.

Labor für Bodenchemie, ILW, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

**1. EINLEITUNG**

Unser Labor arbeitet am langfristigen Verhalten der beiden Schwermetalle Chrom und Nickel in Böden. Als Untersuchungsobjekt dienen uns dabei Böden auf Serpentin, welcher einen hohen natürlichen Gehalt an diesen beiden Elementen aufweist. In Wolfgang-Davos haben wir ein Gebiet gefunden, wo eine circa 14000-jährige ungestörte Bodenentwicklung auf diesem Gestein stattgefunden hat.

Chrom kann im Bodenwasser in den Redoxstufen (III) und (VI) vorkommen. Bei sauren Bedingungen und Anwesenheit von organischer Substanz mit ihrer reduzierenden Wirkung ist Chrom(III) wahrscheinlicher. Chrom(III)hydroxid hat ein ähnliches Löslichkeitsprodukt wie Aluminiumhydroxid.

Von vielen Elementen ist bekannt, dass sie mit Eisen Mischkristalle vom Goethit-typus bilden; am bekanntesten ist dies wohl für Aluminium (FITZPATRICK et al. (1978), GERTH (1987), LIM-NUNEZ & GILKES (1987)). Der Einbau von Chrom in Goethit konnte aber bislang noch nicht schlüssig nachgewiesen werden. In Bv-Horizonten von Braunerden auf Serpentin ist Chrom im DCB-Extrakt, welcher pedogene Eisenverbindungen auflöst, stark angereichert (JUCHLER & STICHER 1987). Die Frage war nun, welche Eisenminerale in diesen Horizonten vorkommen und ob sich allenfalls Chrom in solche Eisenminerale einbauen lässt. Als Nachweismethode wurde Röntgendiffraktometrie verwendet.

Nickel kommt in Bodenwasser, wie Berechnungen mit GEOCHEM (STICHER et al. 1987) zeigen, überwiegend als  $Ni^{2+}$ -Aquaion vor. Es bildet relativ gut lösliche Hydroxide. Es stellte sich die Frage, ob im bodenrelevanten pH-Bereich 4-7 Ausfällungen von Nickel auftreten, oder ob die Konzentration von Nickel durch Adsorptionsprozesse bestimmt wird. Zu dem Zweck wurde Bv-Material mit Lösungen von unterschiedlichem Nickelgehalt ins Gleichgewicht gebracht und anschließend die Nickelkonzentration in der überstehenden Lösung gemessen. Bis pH 7 waren dabei keine Ausfällungen feststellbar. Es wurde deshalb versucht, das Konzentrationsverhalten von Nickel mit einem dreidimensionalen Adsorptionsmodell zu beschreiben.

**2. METHODEN**

Für die Röntgendiffraktometrie wurde ein PHILIPS PW 70 Vertikalgoniometer des Instituts für Bodenkunde der TU München mit Kobalt K-Strahlung eingesetzt. Die Daten wurden digital erhoben und mit verschiedenen Computerprogrammen weiterverarbeitet. Die genaue Mess- und Berechnungsmethode ist in GASSER, SCHWERTMANN und STICHER (1988) beschrieben.

Für das differentielle Röntgendiffraktogramm (DXRD) wurden zwei Aufnahmen der Feinschlufffraktion eines Serpentin Bv-Horizontes verwendet. Die erste Aufnahme erfolgte an der unbehandelten, die zweite an der DCB-extrahierten Probe. Die beiden Aufnahmen wurden durch abschnittsweise Anpassung DCB-resistenter Minerale

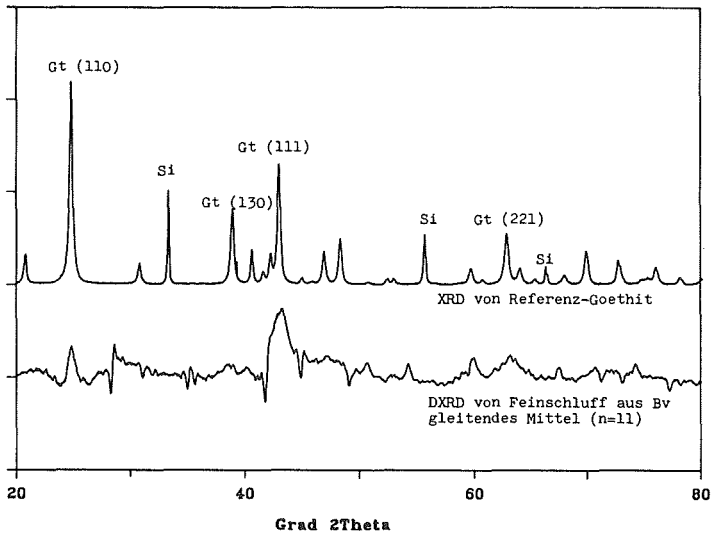
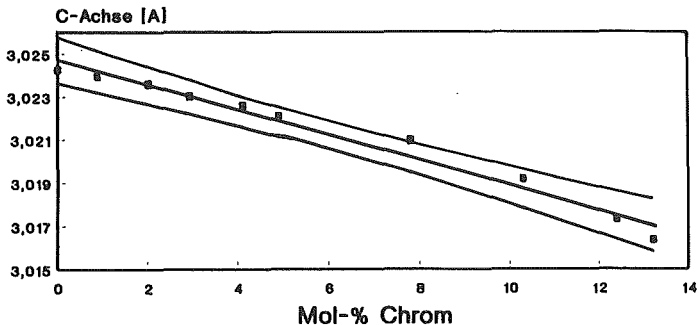


Abb. 1: Röntgendiffraktogramme von synthetischem Goethit, rein (Research ROC/RIC Chemical Corp. 686 Sheldon SE, Sun Valley, CA-91352/USA) und DXRD von Feinschluff eines Serpentin-Bv-Horizontes (gleitendes Mittel aus jeweils 11 Werten).

## CHROMGOETHIT, synthetisch

### Gitterkonstante C vs. Mol-% Chrom

#### Lineare Regression



$$Y = -0.00058 \cdot X + 3.02471;$$

Kor.  $r = -0.99$ ; Sign. Niveau = 0.999

Abb. 2: Lineare Regression der Gitterkonstante C von zehn chromhaltigen Goethitproben. Regressionsgerade mit zugehörigem 99.9%-Vertrauensbereich.



aneinander angeglichen und anschliessend voneinander subtrahiert. So erhielten wir ein rechnerisches Röntgendiffraktogramm der DCB-extrahierbaren Verbindungen.

Cr-Goethite wurden in Anlehnung an LEWIS & SCHWERTMANN (1979) hergestellt. Die Metallnitratlösungen wurden in 1M Kalilauge gefällt, dialysiert und in 1M Kalilauge ein halbes Jahr zu Goethit umkristallisiert. Der Anteil des Chroms in den Ausgangslösungen betrug 0, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12.5, 20 und 25 Mol-% Chrom. Den Goethitproben wurde als innerer Standard 10 Gewichts-% elementares Siliziumpulver beigelegt. Nach intensiver Durchmischung im Achatmörser wurde pro Aufnahme ca. 70 mg eingewogen.

Zum Abklären der Frage, ob im Boden Ni-Ausfällungen auftreten könnten, wurden Schüttelversuche mit nassgesiebter und gefriergetrockneter Feinerde  $\leq 63 \mu\text{m}$  aus dem Bv-Horizont eines Serpentinittbodens durchgeführt. Als Grundelektrolyt wurde 0.01 M  $\text{MgCl}_2$  verwendet. Das Verhältnis Lösung zu Boden betrug 100 : 1. Beim Bv-Material wurden die Konzentrationsstufen 0, 0.5, 2, 8, 25 und 50 ppm Nickel vorgegeben. Um nach dem Schütteln den pH-Bereich zwischen 4 und 7 optimal abgedeckt zu haben, wurde das Schütteln 3 mal unterbrochen und der pH-Wert mit kleinen Zugaben von 0.01M HCl resp. NaOH laufend korrigiert. Insgesamt wurde 8 Tage über Kopf geschüttelt. Anschliessend wurde zentrifugiert, der pH gemessen und die Nickelkonzentration mittels AAS bestimmt. Die adsorbierte Nickelmenge wurde aus der Differenz zwischen Anfangs- und Endkonzentration berechnet.

Für das Adsorptionsmodell wurde eine multiple Regression mit der Prozedur "New Regression" von SPSS am RZ der ETH-Zürich durchgeführt. Als unabhängige Variablen wurde der pH-Wert (pH) und der Logarithmus der Gleichgewichtskonzentration ( $\log C_e$ ), als abhängige Variable der Logarithmus der adsorbierten Menge ( $\log N_{\text{ads}}$ ) verwendet. Durch Weglassen der Datenpunkte mit einem pH grösser 7 konnte erreicht werden, dass die Residuals annähernd normal verteilt waren. Die dreidimensionalen Abbildungen wurden ebenfalls am RZ mit dem Erlanger Grafiksystem hergestellt.

### 3. RESULTATE UND DISKUSSION

#### 3.1 Hinweis auf Goethit in Serpentinitt-Braunerden

Goethit ist ein verbreitetes und häufiges Bodenmineral von hoher chemischer Stabilität und charakteristischer ockerner Farbe (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1979). Der synthetische reine Goethit (G31) hat feucht die Farbe (2.5Y6/8). Die Verbraunungshorizonte auf Serpentinitt haben feucht eine ockerne Farbe (10YR4/4 bis 10YR6/6); der Anteil des Freien Eisens kann in der Feinerde um 5% liegen und im Feinschluff und Ton 10% übersteigen. Somit besteht die Möglichkeit, Goethit differentialröntgenografisch nachzuweisen. Das DXRD des Feinschluffs eines Verbraunungshorizontes (P33Bv2) ist auch ein starkes Indiz für die Präsenz von Goethit im Horizont. Die Probe weist 74'000 ppm Fe, 15'000 ppm Al, 650 ppm Cr und 1000 ppm Ni auf. Das DXRD zeigt zwei ziemlich deutliche Goethitlinien (110, 111).

Die Probe der Tonfraktion weist einen etwa 30% höheren Gehalt an Sesquioxiden auf. Die Goethitlinien dieser Probe könnten noch aufschlussreicher sein. Die Verbreiterung der Linie (111) ist wahrscheinlich die Folge einer Interferenz mit einer 3.5 Å Serpentinbande.

#### 3.2 Substitution von Eisen durch Chrom in synthetischem Goethit

Der Nachweis eines isomorphen Ersatzes von Chrom für Eisen in Goethit ist relativ schwierig (LIM-NUNEZ & GILKES, 1987). Dies kommt daher, dass (i) die Ionenradii von Fe und Cr sich lediglich um 3 pm unterscheiden, dass (ii) mit der verwendeten Synthese von Cr-haltigem Goethit nicht beliebige Mischverhältnisse in den Kristallen erreicht werden können und dass für die Auswertung von Röntgendiffrakto-

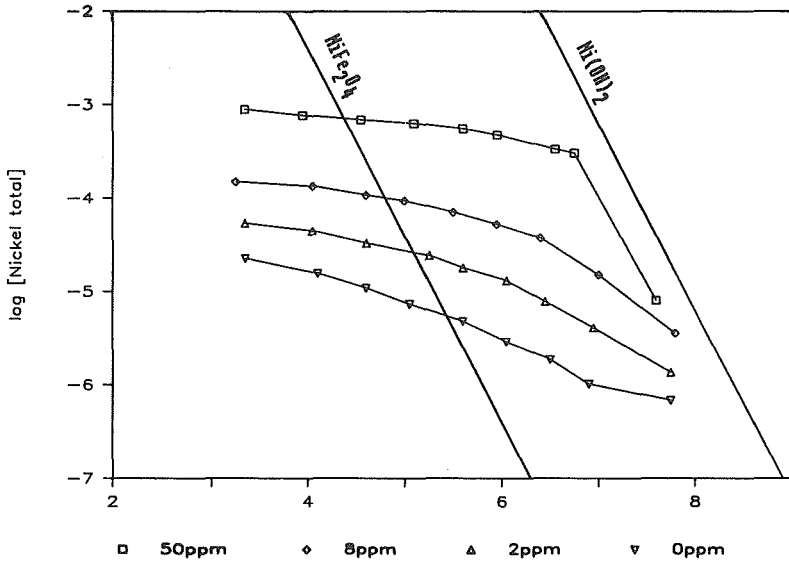


Abb. 3: Logarithmus der Nickelkonzentration versus pH-Wert bei verschiedenen Anfangskonzentrationen. Zusätzlich sind die Löslichkeitsisothermen von  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  im Gleichgewicht mit Boden-Fe nach SADIQ & ENFIELD (1984) und  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  mit einem  $\log K_{\text{SO}}$  von 17.2 eingezeichnet.

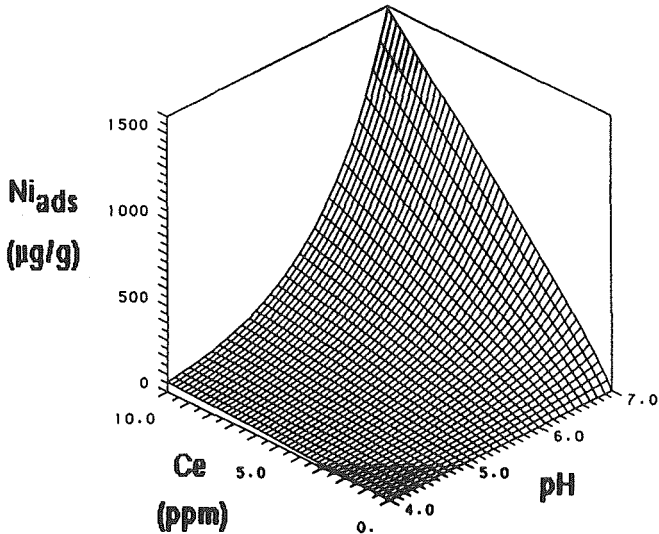


Abb. 4: Adsorption von Nickel an Bv-Material ( $\text{Ni}_{\text{ads}}$ ) als Funktion von pH und Gleichgewichtskonzentration ( $C_e$ ).

$$\text{Ni}_{\text{ads}} = 0.086 * C_e^{0.86} * 10^{0.48\text{pH}}, n = 40, r^2 = 0.97.$$

grammen von Goethiten mit niedrigerem Cr-Gehalt Fitprogramme angewendet werden müssen.

GASSER, SCHWERTMANN & STICHER (1988) konnten zeigen, dass der Einbau von Chrom ins Goethitgitter wahrscheinlich ist. Die lineare Regression der Werte für die C-Achse der synthetischen Goethitproben ergab folgende Gerade:  $C(A) = -0.00058 * \text{Mol}\%Cr + 3.0247$ . Die Korrelation betrug  $-0.99$ . Die Gerade zwischen den natürlichen Endgliedern der Mischkristallreihe (VEGARD-Regel) ergibt folgende Parameter:  $C(A) = -0.000475 * \text{Mol}\%Cr + 3.0215$ . Die Abweichungen der synthetischen von den natürlichen Proben können verschiedene Ursachen haben: Datenauswertung (zB Linienwahl und Kurvenanpassung), unterschiedliche Kristallisationsbedingungen (Ausgangskonzentration an Metallionen, Temperatureffekte und Konzentration der OH-Ionen) und die Kristallgeometrie. In der C-Richtung war die lineare Tendenz am deutlichsten. Die lineare Regression in der A- und der B-Richtung waren qualitativ schlechter.

### 3.3 Nickelkonzentration versus pH im Gleichgewicht mit Bv-Material

Abbildung 3 zeigt, dass die Nickelkonzentration in Lösung mit steigendem pH abnimmt. Die Steigung der Kurven mit gleicher Anfangskonzentration ist dabei sowohl pH- wie konzentrationsabhängig. Dies Verhalten ist typisch für Adsorptions-/Desorptionsprozesse (BRUEMMER et al., 1986). Die für Ausfällungen typische Steilheit wird erst oberhalb pH 7 erreicht, und nur bei Konzentrationen, die für Böden nicht relevant sind. Die maximale in Sickerwasser gemessene Nickelkonzentration bei Serpentinböden betrug circa 130 ppb, was etwa 2.2 M entspricht. Demzufolge dürften bis gegen pH 8 in den Bv-Horizonten von Serpentinböden keine Ausfällungen auftreten. Die Konzentration von Nickel wird also durch Adsorptionsprozesse bestimmt.

### 3.4 Dreidimensionale Adsorptionsisotherme

Abbildung 4 zeigt eine im pH-Bereich 4 bis 7 exponentiell ansteigende Nickelmenge, welche am Boden festgelegt wird. In Richtung zunehmender Konzentration ist nur eine schwache Krümmung festzustellen. Bei konstantem pH-Wert entspricht die Gleichung in Ce-Richtung einer Freundlichisotherme mit einem  $1/n$ -Wert von 0.9. Diese schwache Krümmung deutet darauf hin, dass das Bodenmaterial noch weit weg von der Sättigung für Nickel ist. Das hohe  $r^2$  von 0.97 bedeutet, dass sich die adsorbierte Nickelmenge in diesem Experiment mit dem dreidimensionalen Freundlich hinreichend genau beschreiben lässt. Das Modell eignet sich somit gut, die Daten eines Adsorptionsexperimentes zu beschreiben, ohne dass auf den schwierig konstant zu haltenden pH-Wert geachtet werden muss. Dieser Ansatz wurde auch schon von anderen Autoren versucht (GERTH 1985, INSKEEP & BAHAM 1983). Für jeden experimentellen Ansatz erhält man aber wieder andere Funktionsparameter. Es dürfte schwierig sein, mit dem dreidimensionalen Freundlich ein allgemeingültiges Schwermetalladsorptionsmodell zu erhalten.

## 4. LITERATURVERZEICHNIS

- BRUEMMER, G.W., GERTH, J. & HERMS, U., 1986: Heavy Metal Species, Mobility and Availability in Soils. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149, 382-398.
- FITZPATRICK, R. W., LE ROUX, J., & SCHWERTMANN, U., 1978: Amorphous and crystalline titanium and iron-titanium oxides in synthetic preparations, at near ambient conditions, and in soil clays. Clays and Clay Minerals 26, 189-201.
- GASSER, U., SCHWERTMANN, U. & STICHER, H., 1988: Chromium-for-iron substitution in synthetic goethites. In Vorbereitung.
- GERTH, J., 1986: Untersuchungen zur Adsorption von Nickel, Zink und Cadmium durch Bodentonfraktionen unterschiedlichen Stoffbestandes und verschiedene Bodenkomponten. (Diss.), Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, 267 S.

- GERTH, J., 1987: Role of iron oxides in the retention of trace metals and radionuclides. A.I.N.S.E.-Research Fellowship, Final Report (July 1987), 28p.
- INSKEEP, W.P., & BAHAM, J., 1983: Competitive Complexation of Cd(II) and Cu(II) by Water-Soluble Organic Ligands and Na-Montmorillonite. Soil Sci. Soc. Am. J. 47, 1109-1115.
- JUCHLER, S., & STICHER, H., 1987: Chrom- und Nickeldynamik in Serpentinböden. Bulletin BGS 11, 11-17.
- LEWIS, D.G. & SCHWERTMANN, U. 1979: The influence of aluminum on the formation of iron oxides. III. Preparation of Al goethites in 1 M KOH. Clay Min. 14, 115-125.
- LIM-NUNEZ, R., & GILKES, R.J., 1987: Acid dissolution of synthetic metal-containing goethites and hematites. Proceedings of the International Clay Conference, Denver, 1985(1987), 197-204.
- SCHEFFER, F., & SCHACHTSCHABEL, P., 1982: Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage. Enke Verlag Stuttgart.
- SADIQ, M., & ENFIELD, C., 1984: Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils: I. Theoretical. Soil Science 138, 262-270.
- SCHULZE, D.G., 1981: Identification of soil iron oxide minerals by differential x-ray diffraction. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 437-440.
- STANJEK, H., & FRIEDRICH, R., 1986: The determination of layer charge by curve fitting of Lorentz- and polarization-corrected X-ray diagrams. Clay Minerals 21, 183-190.
- STICHER, H., JUCHLER, S., & GASSER, U., 1987: Speciation von Chrom und Nickel in Serpentinböden. Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellschaft 55, 433-438.

#### SUMMARY

Behaviour of Chromium and Nickel in Goethite Containing Soil Horizons.

Differential x-ray diffractograms of fine silt serpentinitic Bv material showed peaks of goethite. In the laboratory it was possible to synthesize goethites with up to 14 mole% of chromium. The linear regression of the C-axis dimensions of the synthetic goethites gave the following parameters:  $c(\text{\AA}) = -0.00058 \text{ mole\%Cr} + 3.0247$ . Nickel, in equilibrium with Bv-material, doesn't seem to precipitate in the pH range of 3 to 8 up to a concentration of 10  $\mu\text{moles/liter}$ . The adsorption of nickel onto the soil material could well be described with a three dimensional freundlich isotherm:  $g\text{Ni/g soil adsorbed} = 0.09 * \text{Ce}(\text{ppm})^{0.89} * 10^{0.48\text{pH}}$ .

#### RESUME

Le comportement du chrom et du Nickel dans des horizons comportants du Goethite.

Les diffractogrammes radiographiques différentiels de limons fin de matière Bv d'un sol serpentinite ont montrés des peaks de goethite. Nous avons pu au laboratoire synthetiser les goethites jusqu'à 14mole% de chrome. La régression linéaire des dimensions d'axe c des goethites synthétiques a donné les paramètres suivants:  $C(\text{\AA}) = -0.00058 \text{ mole\%Cr} + 3.0247$ . Le nickel, en équilibre avec la matière Bv, ne semble pas été précipité du pH entre 3 et 8 jusqu'à une concentration de 10  $\mu\text{mole/litre}$ . L'absorption du nickel a pu être aisément décrit à l'aide d'un Freundlich isotherme à 3 dimension.

#### VERDANKUNGEN

Wir möchten Herrn Prof. Dr. Udo Schwertmann für das grosszügige Zurverfügungstellen der Infrastruktur seines Institutes und Herrn Helge Stanjek für viele praktische Hinweise und Diskussionen danken.

---

**SCHWERMETALLKOMPETITION UND -VERLAGERUNG IN MEHRHORIZONTIGEN BÖDEN**


---

H.W. SCHMITT, K. BARMETTLER, H. STICHER

Laboratorium für Bodenkunde, ILW, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

**1. EINLEITUNG**

Mit der Ausbringung von Klärschlamm werden auch Schwermetalle in den Boden eingetragen. Die Verlagerung der Metalle als Folge einer solchen Düngung über viele Jahre wird im folgenden mit 2 Modellen (Piston-Flow resp. Dispersion-Konvektion) untersucht. Der betrachtete Boden ist eine Parabraunerde. Die Eigenschaften sind in der Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Bodenparameter

Buchberg, Gemeinde Marthalen  
Parabraunerde  
Niederschlagsmenge: 935 mm

	Horizont 1	Horizont 2	Horizont 3
Charakterisierung	Ah	A1	Bvt
Tiefenbereich (cm)	0 - 15	15 - 60	60 - 120
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5.5	4.1	4.2
KAK (meq/100 g)	11.1	5.8	10.3
org. C (%)	1.7	1.3	0.3
Tongehalt (%)	14	15	22
Dichte rho (g/cm <sup>3</sup> )	1.06	1.27	1.50
Wassergehalt theta (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	0.37	0.32	0.33

---

Die Adsorptionsisothermen von Cu, Pb und Cd wurden einzeln und in kompetitiven Verhältnissen in allen drei Horizonten bestimmt und an Langmuir-Funktionen angepasst. Speziell interessierte das molare Verhältnis Cu:Pb:Cd = 59:18:1, das der schweizerischen Klärschlammverordnung entspricht. Für die Modellrechnungen wird über einen Zeitraum von 45 Jahren nebst der jährlichen Niederschlagsmenge der maximale jährliche Eintrag angenommen, den die erwähnte Verordnung zulässt. Für eine Bodenoberfläche von 100 cm<sup>2</sup> lauten die Werte (in Mikromolen):

Blei: 12.07  
Kupfer: 39.34  
Cadmium: 0.6673

**2. KOMPETITION**

Die gegenseitige Konkurrenz um Bindungsplätze beeinflusst die Adsorption von Metallen im Boden. Die Figur 1 zeigt die Perkolation gleicher Mengen Pb und Cd durch eine Bodensäule des Ah Horizontes. Pb wird stark adsorbiert, während Cd schon sehr bald aus der Säule tritt. In der Tabelle 2 wird der Einfluss der Konkurrenz auf die maximale Schwermetallsättigung des Ah Horizontes zusammengefasst.

Tabelle 2: Sättigungswerte für Cd, Pb, Cu im Ah Horizont

Cd	3.055 mg/g
Cd (Cd/Pb = 1:1)	1.127 mg/g
Cd (Cd/Pb = 1:18)	0.086 mg/g
Cd (Cd/Cu = 1:59)	0.033 mg/g
Cd (Cd/Pb/Cu = 1:18:59)	0.026 mg/g
Pb	6.33 mg/g
Pb (Pb/Cd = 1:18)	6.21 mg/g
Pb (Pb/Cd = 1:1)	4.68 mg/g
Pb (Pb/Cu/Cd = 18:59:1)	1.72 mg/g
Cu	2.46 mg/g
Cu (Cu/Cd = 59:1)	2.26 mg/g
Cu (Cu/Cd = 5:1)	1.77 mg/g
Cu (Cu/Pb/Cd = 59:18:1)	1.55 mg/g

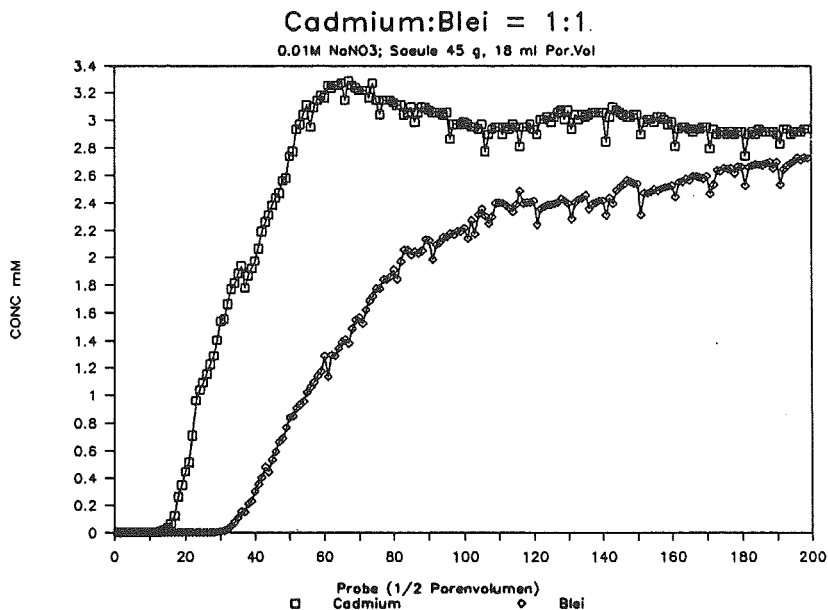
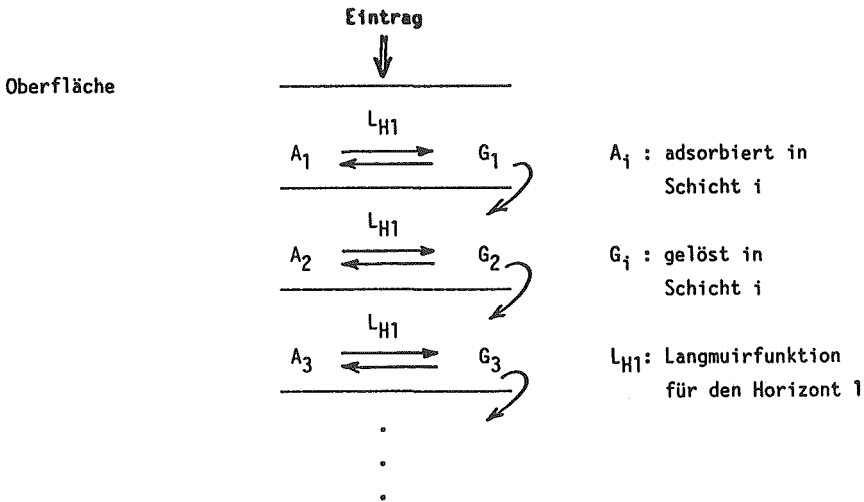


Fig. 1: Perkolations einer 1:1 Cd:Pb-Lösung (je 3 mM) durch eine Bodensäule des Ah-Horizontes

### 3. EQUILIBRATIONSMODELL (PISTON FLOW MODELL)

Jeder Horizont wird in Schichten von 1 cm Dicke aufgeteilt, mit einer Flächendimension von  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . In jeder Schicht wird mit der Langmuirfunktion das Gleichgewicht adsorbiert/gelöst gerechnet. Der gelöste Anteil wird in die nächste Schicht verlagert und stellt dort den Eintrag dar. Nach der 15. Schicht, die den 1. Horizont beendet, folgt der Uebergang in den 2. Horizont mit den entsprechenden Parametern  $\rho_{\text{H}_2}$ ,  $\theta_{\text{H}_2}$ ,  $L_{\text{H}_2}$ . Ein Gleiches gilt für den Uebergang der

Schicht 60 in die Schicht 61, der ersten des 3. Horizontes. Im Modell wird nun der gesamte jährliche Niederschlag durch alle Schichten durchströmen gelassen. Dabei wird ein gewisser Teil des adsorbierten Metalls wieder gelöst und in die tiefer liegende Schicht verlagert, wo es mit in den Equilibrierungsprozess einbezogen wird, der nun dort stattfindet. Die Metallmenge, die in der Schicht 120 gelöst bleibt, wird dem System entzogen.



#### 4. DISPERSIONS-KONVEKTIONS-MODELL

Die Langmuirfunktion  $L$  geht als erste Ableitung  $L'$  in die bekannte Dispersions-Konvektions-Gleichung ein:

$$(1 + L'\rho/\theta) \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v/\theta \frac{\partial C}{\partial x}$$

Im Unterschied zum Equilibriationsmodell wird die jährliche Niederschlagsmenge als ein Fluss von 40 Tagen dargestellt ( $v = 2.34$  cm/d). Der Schwermetalleintrag erfolgt als Puls am ersten Tag. Der Dispersions-Koeffizient  $D$  wird auf  $2.50$  cm<sup>2</sup>/d geschätzt. Die Parameter  $\rho$ ,  $\theta$ ,  $L$  werden bei Horizontübergängen linear korrigiert. Der Eintrag wird auf eine  $1 \times 1$  cm<sup>2</sup> grosse Fläche normiert. Die Gleichung wird mit dem Crank-Nicholson-Ansatz numerisch gelöst.

#### 5. ERGEBNISSE DER MODELLRECHNUNG

##### 5.1. Kupfer und Blei

Die Figuren 2 und 3 zeigen die Adsorption (pro Schicht resp. pro g, je nach Modell) von Kupfer unter den kompetitiven Verhältnissen über die gesamte Bodentiefe von 120 cm. Dargestellt sind die Verhältnisse für die Jahre 1, 4, 10, 20, 30, 45. Beide Modelle zeigen im wesentlichen gleiche Resultate, speziell für grössere Zeiträume: Der Ah Horizont ist stark gesättigt; der Al Horizont, der nur eine schwache Bindungskapazität aufweist, enthält geringe Anteile Cu. Da Blei noch stärker als Kupfer im Ah Horizont bindet, wird beinahe nichts in Hori-

## KUPFER (Cu:Pb:Cd = 59:18:1)

Piston Flow Modell

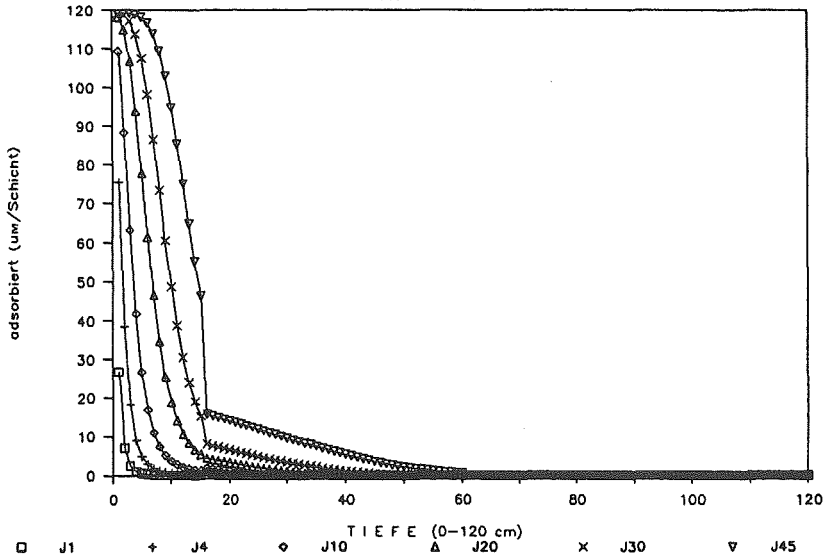


Fig. 2: Cu-Adsorption Piston-Flow-Modell

## KUPFER (Cu:Pb:Cd = 59:18:1)

Dispersion und Konvektion

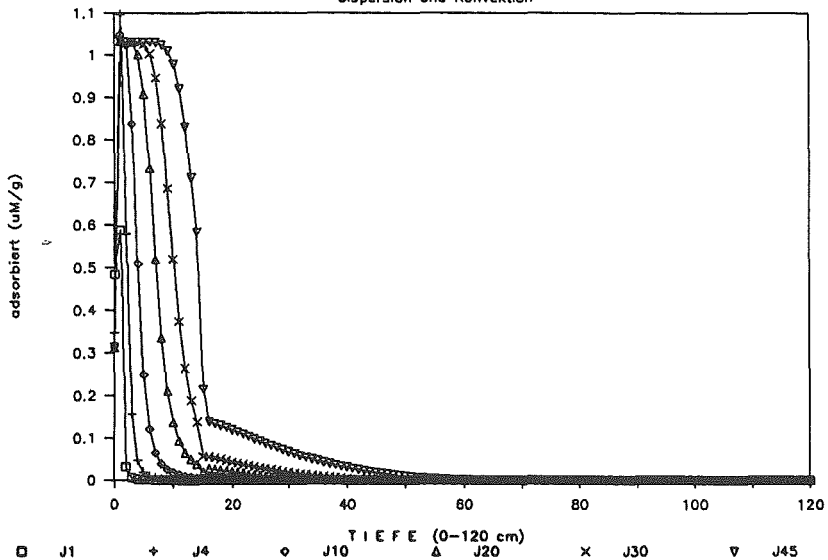


Fig. 3: Cu-Adsorption Dispersions-Konvektions-Modell



### CADMIUM (Cu:Pb:Cd = 59:18:1)

Piston Flow Modell

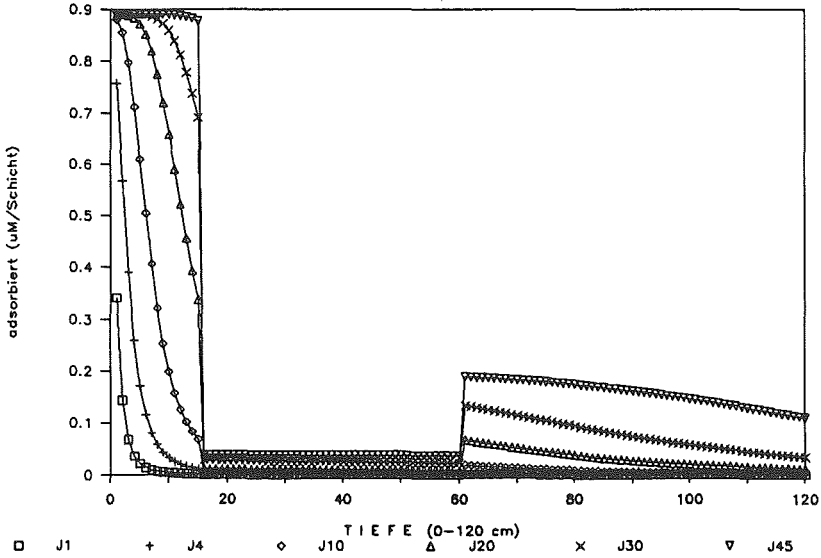


Fig. 4: Piston-Flow-Modell: adsorbiertes Cd

### CADMIUM (Cu:Pb:Cd = 59:18:1)

Piston Flow Modell

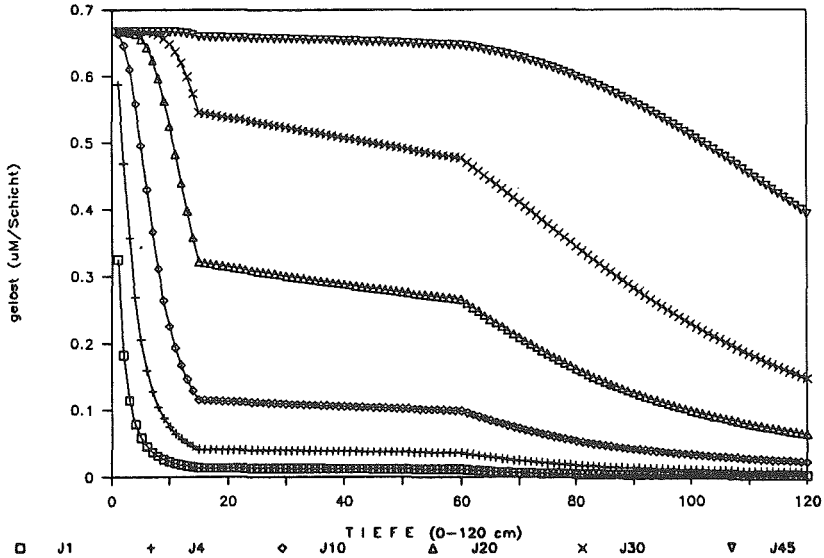


Fig. 5: Piston-Flow-Modell: gelöstes Cd

zont 2 (ab 15 cm) verlagert.

## 5.2 Cadmium

Dieses Metall ist gegenüber den beiden anderen Metallen das schwächste in der Kompetition. Beide Modelle erbringen eine gleiche Aussage: Cadmium wird bis in den dritten Horizont verlagert, da die Bindungskapazität des Al Horizontes sehr schwach ist. Die Figuren 4 und 5 zeigen das Piston-Flow Modell den Konzentrationsverlauf für das adsorbierte wie das gelöste Cadmium im gesamten Bodenprofil. Speziell fällt auf, dass nach 45 Jahren über 60 % des jährlichen Eintrages (= 0.667 Mikromole) aus dem Bvt Horizont ausgewaschen wird.

## 6. DISKUSSION

Beide Modelle erbringen im wesentlichen die gleiche Aussage: Der betrachtete Boden geht für Cadmium recht bald der Sättigung entgegen, während Blei und Kupfer im selben Zeitraum stark im Ah Horizont adsorbiert werden. Der Rechenaufwand ist aber für das Dispersions/Konvektions-Modell erheblich grösser. Wichtig bleibt für beide Modelle, dass die Ortsabhängigkeit wichtiger Parameter ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $s = s(c)$ , Kompetition) möglichst genau berücksichtigt werden muss.

Als Erweiterung des Modells bieten sich echt kompetitive Langmuirfunktionen an, sowie der Einbezug von Speciations-Rechnungen (GEOCHEM, MICROQL) und kinetische Gesichtspunkte. Schwer lösbar bleibt das Problem der Boden-Inhomogenität und der Konstanz pedologischer Parameter über lange Zeiträume.

## 7. LITERATUR

SCHMITT H.W., STICHER H., 1986:

Long-term trend analysis of heavy metal content and translocation in soils. Geoderma, 38, 195-207.

## SUMMARY

The translocation of heavy metals (Cu, Pb, Cd) through a multilayered luvisol (Ah, Al, Bvt) was calculated with two models, a piston-flow and a dispersion-convection model. The parameters included adsorption isotherms (measured under competitive conditions), relevant soil properties of the three horizons and an annual input of the heavy metals according to the swiss ordinance on sewage sludge. The calculations were performed for a period of 45 years. Both models predict a strong adsorption of Pb and Cu in the Ah horizon but a considerable leakage of Cd through the entire soil profile.

## RESUME

Le déplacement des métaux lourds (Cu, Pb, Cd) à travers d'un luvisol (couches Ah, Al, Bvt) était calculé à l'aide d'un modèle piston-flow et d'un modèle dispersion-convection. Les paramètres contiennent les isothermes d'adsorption (mesurées aux conditions de compétition), les propriétés pédologiques essentielles des trois couches et l'introduction annuel des métaux lourds selon l'ordonnance suisse sur les boues d'épuration. Les calculations étaient réalisées pour une période des 45 ans. Les prédictions des deux modèles sont analogues: une adsorption forte de plomb et cuivre dans la couche Ah et un lessivage considérable de cadmium à travers du profil entier du sol.

## BEDEUTUNG DER IN DEN NIEDERSCHLAGEN VORHANDENEN SCHWEFELVERBINDUNGEN FÜR DIE MOBILITÄT VON SCHWERMETALLEN

---

U. HOINS UND H. STICHER

Labor für Bodenchemie, ILW, ETH Zentrum, 8092 Zürich

### 1. PROBLEMSTELLUNG

Kontaminierte Niederschläge verursachen in Böden eine Anreicherung von Sulfat und Schwermetallen. Adsorptionsreaktionen mit verschiedenartigen und in ihrer Bedeutung unterschiedlichen Bodenkomponenten stellen dabei wichtige Löslichkeitsbestimmende Prozesse für Schwermetalle und Sulfat dar. Dabei vermag Sulfat die Löslichkeit von Schwermetallen in unterschiedlicher Weise zu beeinflussen. Die Klärung dieser Zusammenhänge, besonders im Hinblick auf die Evaluation des zukünftigen Zustandes von Böden, ist Gegenstand der Arbeit. Adsorptionsexperimente mit Sulfat und Schwermetallen in definierten Systemen bilden die Grundlage für die Modellierung des Verhaltens dieser Komponenten. Es gilt im wesentlichen zwei Hypothesen zu prüfen:

1. Vermag in Lösung befindliches Sulfat die Verfügbarkeit von Schwermetallen zu erhöhen (Wahrung der Mikroneutralität in der Bodenlösung)?
2. Kann adsorbiertes Sulfat die Schwermetallverfügbarkeit vermindern (z.B. über eine Änderung der Ladungsverhältnisse am Sorbenten)?

### 2. METHODEN

Cadmium und Sulfat wurden getrennt und gleichzeitig an Goethit ( $\alpha$ -FeOOH) adsorbiert. Die Adsorptionsexperimente wurden als Batchexperimente mit einem Dialysegerät (Dianorm) durchgeführt. Das Prinzip eines Dialyse-Gleichgewichtsexperimentes ist, das Ausmass der Bindung eines Substrates an ein anderes Substrat quantitativ erfassen zu können, und zwar ist die direkte Messung der freien Liganden (z.B.  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) möglich. Dieses Verfahren erweist sich der herkömmlichen Methode der Schüttelexperimente überlegen. Die Versuchsbedingungen wurden, nach Vorversuchen, in allen Experimenten standardisiert (Verhältnis Fest/Flüssig; Grundelektrolyt; Ionenstärke; Temperatur; Reaktionszeit). Durch Zugabe von Säure bzw. Lauge wurden unterschiedliche pH-Werte der Gleichgewichtslösungen angestrebt. Cadmium wurde mit AAS (Varian) gemessen. Sulfat wurde mit der FIA-Methode bestimmt.

### 3. ERGEBNISSE

In Fig. 1 ist die pH-abhängige Cd-Adsorption an Goethit bei unterschiedlichen Cd-Anfangskonzentrationen dargestellt. Die jeweiligen Messdaten sind zur besseren Beschreibung der Adsorptionskurven linear miteinander verbunden. Der charakteristische sigmoide Verlauf der Adsorptionskurven lässt sich durch eine einfache Transformation ( $\log \text{Me}_s/\text{Me}_l$  gegen den pH-Wert) linearisieren. Damit lässt sich für jede Adsorptionskurve ein für den gesamten Verlauf gültiger Steigungsparameter angeben, der es einem ermöglicht, die Adsorption bei jedem beliebigen pH-Wert zu berechnen. Bei dieser Versuchsanordnung können also vier Wertepaare zur Be-

schreibung der konzentrationsabhängigen Cd-Adsorption bei konstantem pH (Adsorptionsisotherme) verwendet werden. Für eine allgemeine mathematische Beschreibung des Adsorptionsverhaltens von Cd an Goethit bei konstantem pH und bei variierenden Gleichgewichtskonzentrationen wurde eine Anpassung der Langmuirgleichung an die jeweils vier Wertepaare vorgenommen. Wie Fig. 2 zeigt, vermag die Langmuir-Anpassung die Daten (die bereits einmal regressierten, nicht die gemessenen) bei einem pH von 5.6 recht gut zu beschreiben. Langmuirisothermen können auf diese Weise für jeden beliebigen pH-Wert konstruiert werden.

Um die konzentrations- und pH-abhängige Sulfatadsorption durch Goethit zu erfassen, wurden vier Versuchsreihen unterschiedlicher  $\text{SO}_4^{2-}$ -Anfangskonzentrationen mit jeweils acht Versuchsgliedern unterschiedlicher pH-Werte untersucht. In Fig. 3 ist die adsorbierte Menge Sulfat gegen den pH-Wert aufgetragen. Die Adsorption steigt mit sinkendem pH und steigendem  $\text{SO}_4^{2-}$ -Angebot.

Um einen möglichen Einfluss des Sulfates auf die Cd-Adsorption beurteilen zu können, wurden vier Versuchsreihen mit gleichen Cd-Anfangskonzentrationen aber unterschiedlichen Sulfatkonzentrationen mit jeweils fünf Versuchsgliedern unterschiedlicher pH-Werte untersucht. In Fig. 4 ist zusätzlich als 5. Variante die entsprechende "reine" Cd-Adsorptionskurve (ohne Sulfat) aufgenommen. Der Verlauf der Cd-Adsorptionskurven bei unterschiedlichen Sulfatkonzentrationen stellt sich in Abhängigkeit vom pH-Wert unterschiedlich dar. Bis zu einem pH von ca. 5.4 erhöht sich die Cd-Adsorption mit steigendem Sulfatangebot. Mit steigendem pH kommt es offensichtlich zu einer Umkehrung der Verhältnisse. Der pH-Bereich zwischen 5.5 und 6 ist gerade der Bereich, in dem die Sulfatadsorption mit sinkendem pH stark zunimmt, also die Lösungskonzentration abnimmt. Sulfat, als reaktives Ion in der Lösung, vermag bei steigenden Konzentrationen zunehmend mehr Cadmium in Lösung halten. Ob Sulfat die Mobilität von Cadmium erhöht, ist in erster Linie eine Frage des pH-Wertes.

#### SUMMARY

The adsorption of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  onto Goethite was studied by using an Equilibrium Dialyser.  $\text{Cd}^{2+}$ -adsorption could be described by a Langmuir type equation. Sulfate adsorption increased with increasing concentration and decreasing pH. Adsorbed sulfate enhanced the  $\text{Cd}^{2+}$ -adsorption with decreasing pH. On the contrary the  $\text{Cd}^{2+}$ -mobility rised with increasing pH in the presence of sulfate.

#### RESUME

L'adsorption de  $\text{Cd}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  par Goethit a été faite à l'aide d'un Equilibrium Dialyser. L'adsorption de cadmium peut être décrite avec une équation de type Langmuir. L'adsorption de sulfate augmente lorsque le pH diminue et lorsque la concentration de sulfate augmente. L'adsorption du sulfate a un effet positif sur l'adsorption du cadmium lorsque le pH diminue. Par contre la mobilité du Cadmium augmente lorsque le pH s'élève en présence du sulfate.

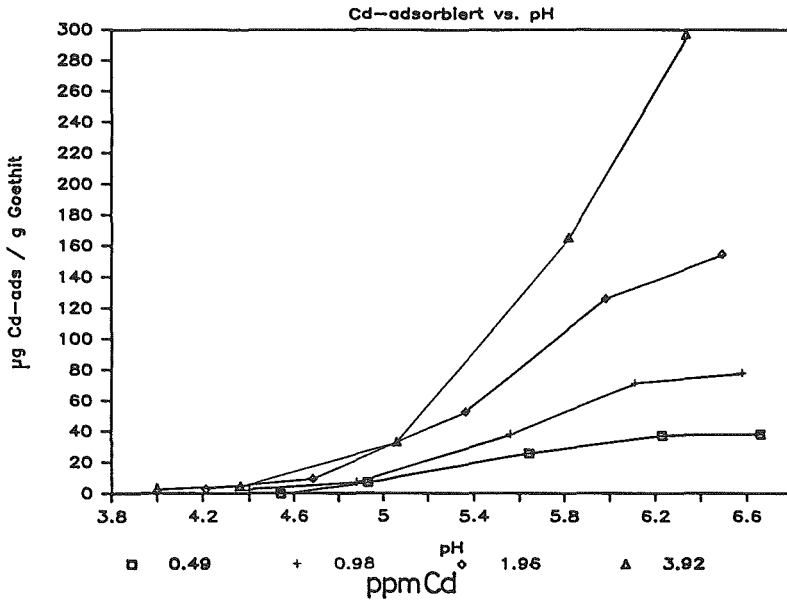


Fig. 1: Cd-Adsorption an Goethit in Abhängigkeit des pH-Wertes und der Cd-Anfangskonzentrationen

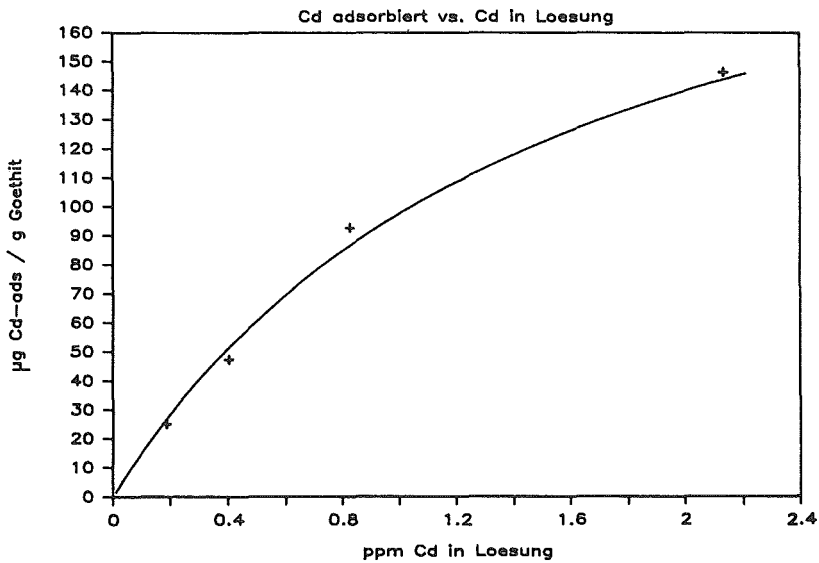


Fig. 2: Langmuiranpassung zur Beschreibung der konzentrationsabhängigen Cd-Adsorption bei konstantem pH-Wert (pH 5.6)

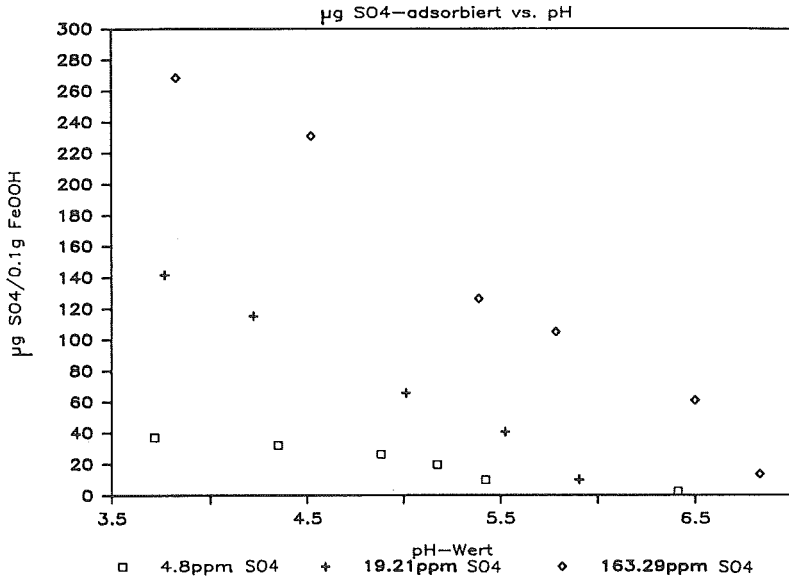


Fig. 3: Sulfat-Adsorption an Goethit als Funktion des pH-Wertes bei unterschiedlichem Sulfatangebot

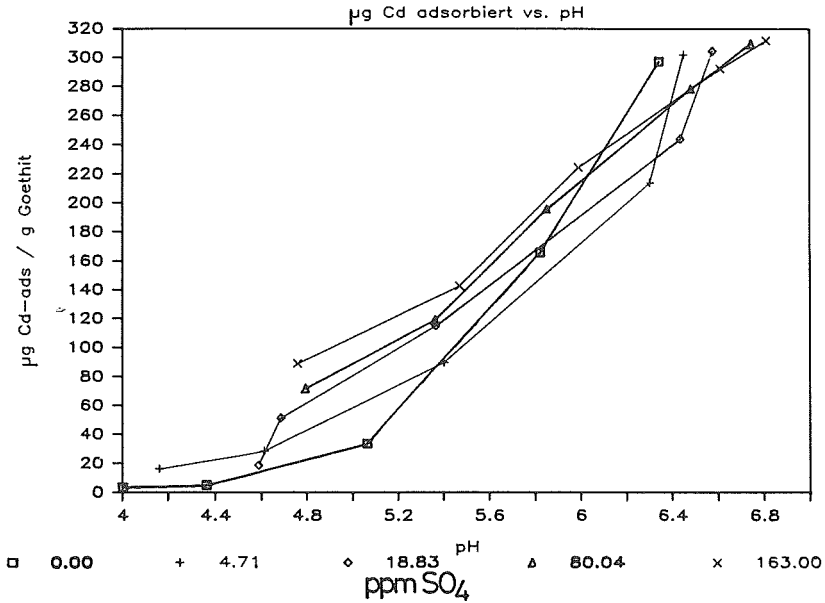


Fig. 4: Cd-Adsorption an Goethit bei unterschiedlichem Sulfat-Angebot

**MESURE ET MODELISATION DES FLUX DE POLLUANTS  
AUX INTERFACES AIR-SOL/VEGETATION  
ETUDE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE DIFFUSE EN ZONE RURALE**

---

Claude HILFIKER, J.-Claude VÉDY  
IGR-Pédologie, EPFL, 1015 Lausanne

## 1. INTRODUCTION

Le *laboratoire de pédologie de l'EPFL* démarre à l'aide de crédits du conseil des écoles polytechniques, un projet sur les flux de polluants atmosphériques aux interfaces air-sol/végétation, conjointement au *groupe pollution de l'air de l'institut du génie de l'environnement de l'EPFL* et au *groupe "Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt" de l'EA Wag.*

## 2. OBJECTIFS DU PROJET

Le poster présenté à la réunion annuelle de la SSP a pour but d'expliquer l'organisation et la conception de ce projet qui est prévu pour une durée de trois ans au total. La répartition des tâches entre les trois instituts partenaires est représenté à la figure 1.

Les buts généraux de l'étude peuvent être résumés de la manière suivante:

- 1) Mise au point d'une **methodologie pour estimer la déposition atmosphérique** - et plus spécifiquement la déposition sèche - à l'échelle d'un bassin versant ( en occurrence celui de la basse vallée de la Bünz (AG)).
- 2) Etude qualitative et quantitative des **processus d'échange air-sol/végétation en écosystème forestier** (parcelles expérimentales de St.Cierges (VD) et Champex (VS)).
- 3) Détermination de la contribution des flux atmosphériques dans les **phénomènes d'accumulation et d'élimination** qui se produisent au sein du réservoir sol/végétation.
- 4) Développement des **outils mathématiques et informatiques nécessaires à la simulation** de la répartition spatiale de la déposition et des échanges globaux entre les réservoirs air et sol/végétation.

Du point de vue des bilans, l'accent est mis sur 4 métaux lourds qui sont le plomb, le zinc, le cuivre et le cadmium, et sur les composés du soufre, principalement le SO<sub>2</sub>.

## 3. LA RECHERCHE INCOMBANT AU LABORATOIRE DE PEDOLOGIE

Le laboratoire de pédologie est responsable de deux domaines plus spécifiques qui sont:

- A) La **quantification et caractérisation des apports atmosphériques** en fonction notamment des paramètres météorologiques et des types de couverture végétale (forêt, champ libre).
- B) La **description des mécanismes de transfert des polluants** entre les compartiments air, sol et végétation et leurs transformations physico-chimiques.

La dynamique des polluants à l'intérieur des profils de sol est aussi prise en compte dans le cadre de ce projet et fait l'objet d'un travail de thèse effectué en parallèle (cf. l'étude de Catherine Keller sur les cycles biogéochimiques des métaux lourds en écosystème forestier)

---

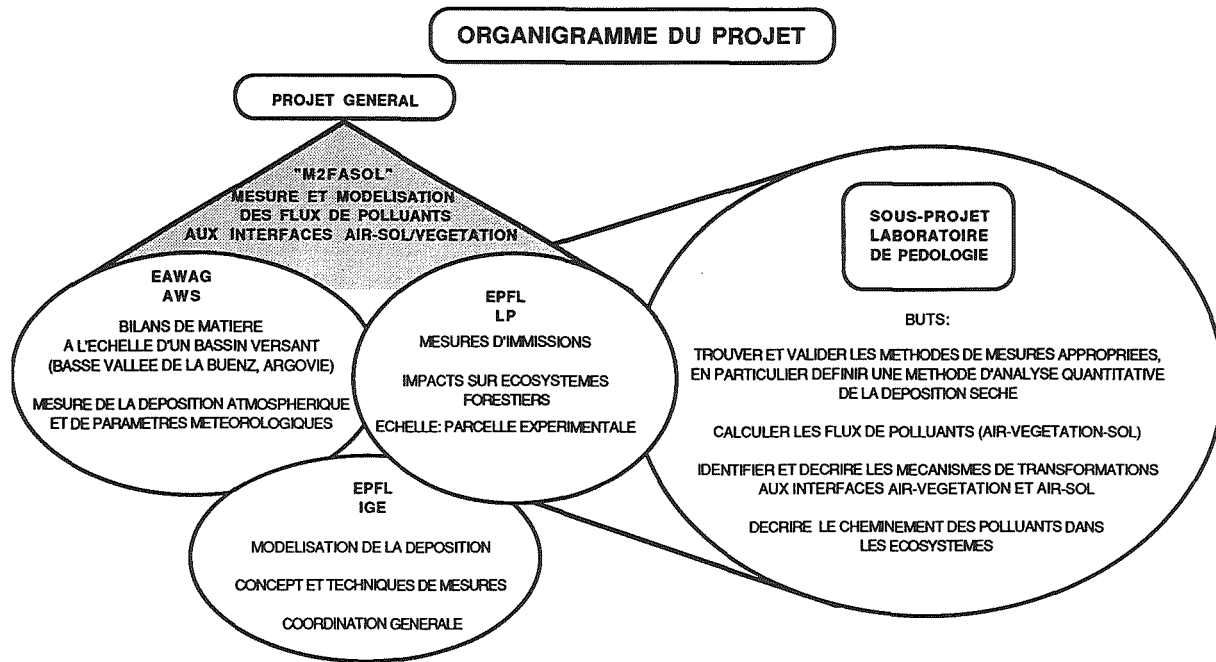


figure 1



LA STATION EXPERIMENTALE DE ST.-CIERGES

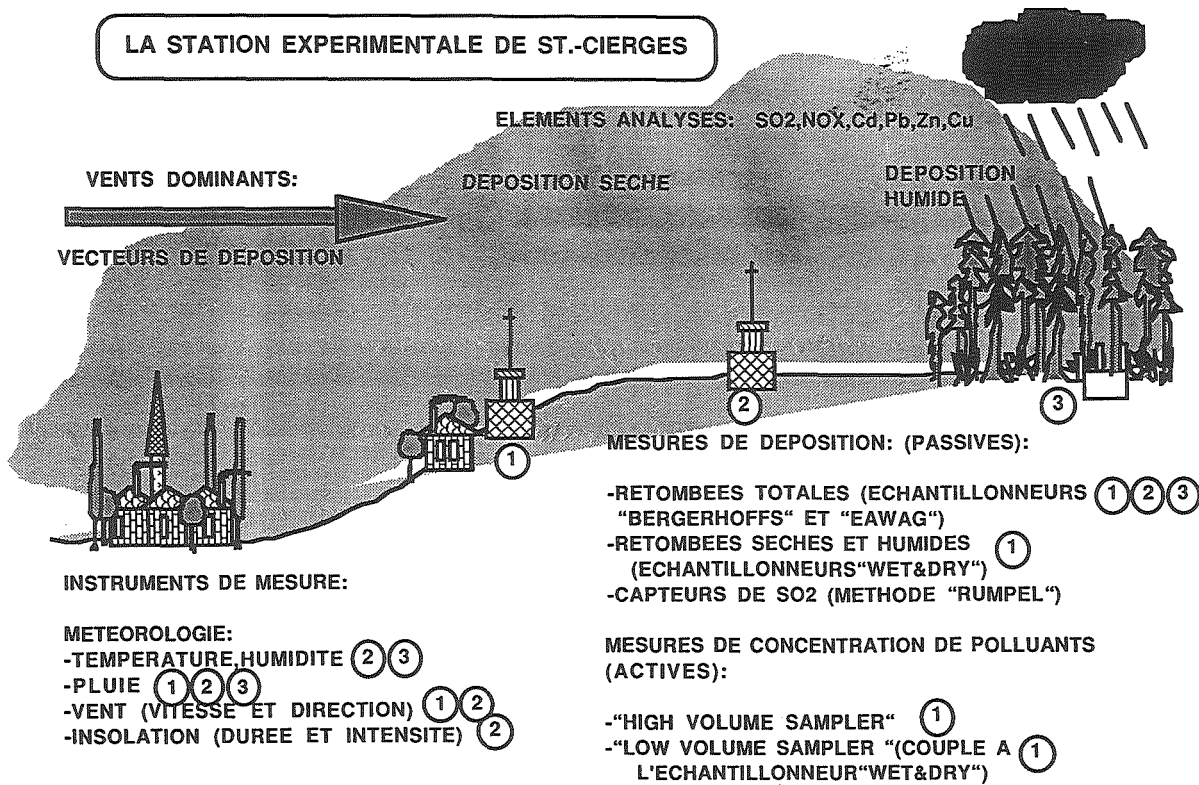


figure 2

#### 4 . L'ECHANTILLONNAGE

Les moyens techniques mis en oeuvre pour réaliser cette étude sont présentés à la figure 2.

L'échantillonnage de type passif (récolteurs Bergerhoff et EAWAG) a pour but de quantifier la déposition de métaux lourds; d'autres récolteurs sont utilisés pour comparer la charge en SO<sub>2</sub> entre les différentes stations expérimentales (appareils Rumpel).

Les échantillonneurs actifs doivent nous renseigner sur les concentrations des polluants dans l'atmosphère ambiante à des moments donnés. Il est prévu d'utiliser le "high volume sampler" à raison d'une semaine par mois, le "low volume sampler" rattaché à l'échantillonneur "wet and dry" étant conçu pour fonctionner en continu pendant les périodes sans précipitations.

Couplé au concept de vitesse de déposition, cette dernière approche nous permet d'obtenir des taux de déposition calculés en fonction des différents types de couverture du sol.

L'interactivité avec les autres instituts partenaires réside dans l'échange des résultats permettant de mettre en évidence les variations dans l'espace et dans le temps des retombées atmosphériques, ainsi que dans la vérification et l'affinement de modèles gaussiens de répartition de la déposition atmosphérique.

## LES MÉTAUX LOURDS DANS LES EAUX GRAVITAIRES DE SOLS MODÉLISÉS

---

France-Line DOMERGUE, Catherine STREHLER et J.-C. VÉDY  
IGR-Pédologie, EPFL, 1015 Lausanne

### 1. INTRODUCTION

La reconstitution de sols dans des sites minéraux ou dégradés doit permettre la mise en place d'horizons organo-minéraux susceptibles de présenter des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques favorables à la croissance des végétaux. Parmi les substrats organiques utilisables à cet effet, on peut utiliser les boues compostées à condition toutefois que leur mise en oeuvre ne s'accompagne pas d'une pollution de l'environnement, notamment par les métaux lourds.

Les résultats présentés ci-dessous concernent une expérience de type lysimétrique débutée en Mai 1985 et centrée sur l'entraînement des métaux lourds (Cd, Cu et Zn) par les eaux gravitaires au travers de profils reconstitués avec des boues compostées et des substrats minéraux non carbonatés.

### 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les sols modélisés et les méthodes analytiques ont été décrits précédemment (RENAUD-BEZOT et VEDY, 1986; STREHLER et VEDY, 1987).

L'étude de spéciation des métaux dans les eaux gravitaires a été réalisée par deux méthodes de séparation, la filtration sur gel (Bio-Gel P-2 de Bio-Rad Laboratories) avec de l'eau déminéralisée comme éluant (BAHAM et al., 1978 ; MENCH et al., 1985) et l'adsorption sur résines échangeuses d'ions (CM-Sephadex C-25 et DEAE-Sephadex A-25 de Pharmacia) (CAMERLYNCK et KIEKENS, 1982); la concentration du cuivre libre a été mesurée par potentiométrie avec une électrode spécifique (Tacussel) (CAVALLARO et McBRIDE 1980).

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans les eaux gravitaires d'un système compost sain/granite, pris comme exemple, la concentration du carbone organique dissous et celle du cuivre montrent toutes deux une décroissance avec le temps et des valeurs élevées pendant l'été 1986 (figure 1).

**Il existe donc une similitude de comportement entre le carbone organique et le cuivre total.**

La présentation sur la figure 2 de l'ensemble des données acquises dès Mars 1986 confirme la relation entre la concentration de cuivre total et celle du carbone organique dissous, les systèmes sains se différenciant nettement des systèmes dopés.

**La migration du cuivre apparaît donc ici bien liée à celle du carbone organique.**

L'évolution de la concentration en zinc des eaux gravitaires d'un système végétalisé compost sain/grès montre qu'il n'existe pas de variation de concentration parallèle à celle de la matière organique (figure 3)

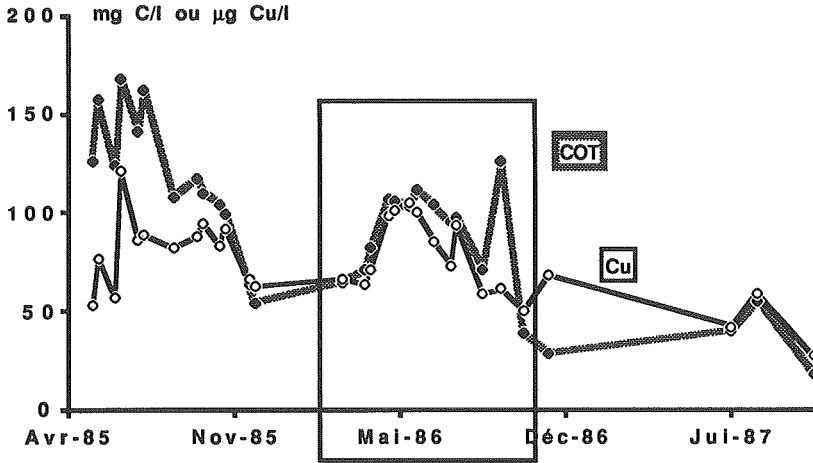


Figure 1 :Variation des concentrations du carbone organique dissous (mgC/l) et du cuivre ( $\mu\text{g/l}$ ) dans les eaux gravitaires d'un sol modélisé compost sain/granite.

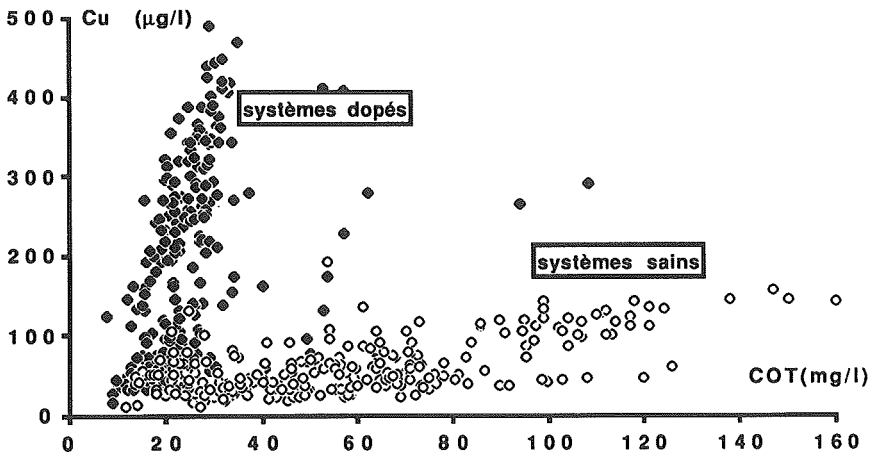


Figure 2 :Relation entre la concentration du cuivre ( $\mu\text{g/l}$ ) et du carbone organique dissous (mgC/l)

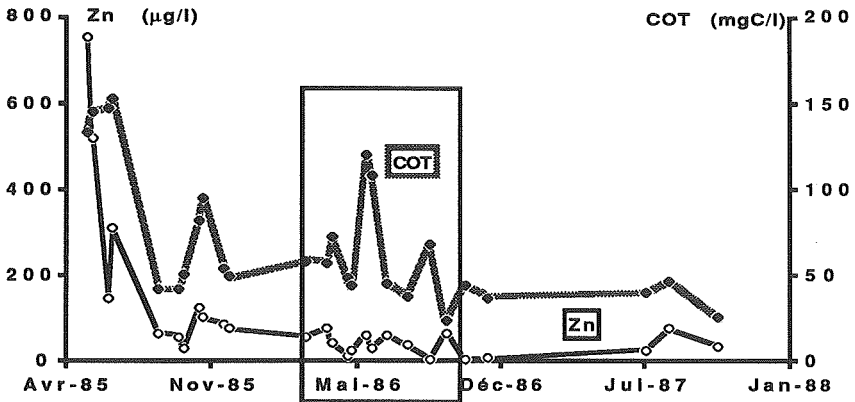


Figure 3 : Variation de la concentration du zinc et du carbone dans les eaux gravitaires d'un lysimètre végétalisé compost sain/grès.

L'entraînement du zinc est donc contrôlé par d'autres facteurs que la concentration du carbone organique en solution.

Un abaissement du pH s'accompagne d'une augmentation de la concentration du zinc en solution, et inversement (figure 4 )

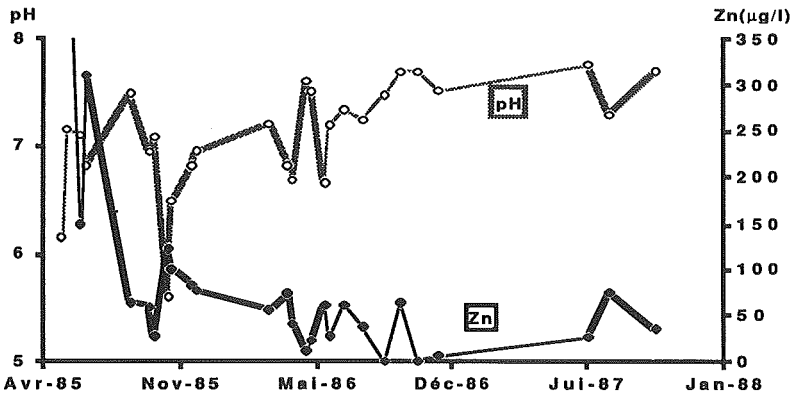


Figure 4 : Variation du pH et de la concentration du zinc dans un sol modélisé végétalisé compost sain/grès.

Il existe donc une corrélation négative entre le pH et la concentration du zinc total dissous, corrélation confirmée par la figure 5.

Le pH apparaît donc comme un paramètre majeur dans le contrôle de l'entraînement du zinc par les eaux gravitaires.

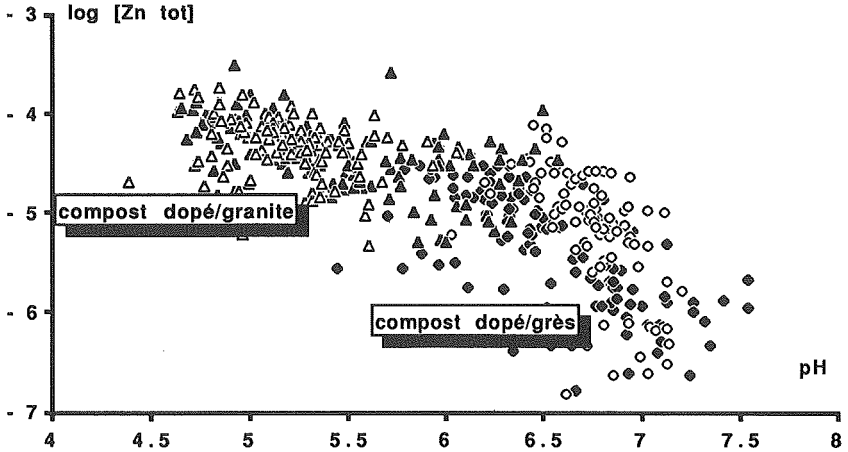


Figure 5 : Relation entre la concentration du zinc dissous et le pH dans les eaux gravitaires des sols modélisés compost dopé/granite ou grès. Les symboles blancs correspondent à des systèmes nus, les noirs à des systèmes végétalisés.

La différence de comportement entre le cuivre et le zinc est donc très marquée, ce qui doit se traduire par l'existence dans les eaux gravitaires d'espèces chimiques différentes.

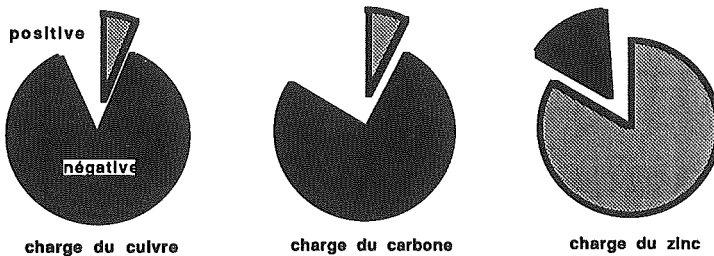


Figure 6 : Charges des espèces cuivre, carbone et zinc déterminées par des résines échangeuses d'ions dans les eaux gravitaires de sols modélisés végétalisés compost sain/granite (complément à 100%: fractions non identifiées).

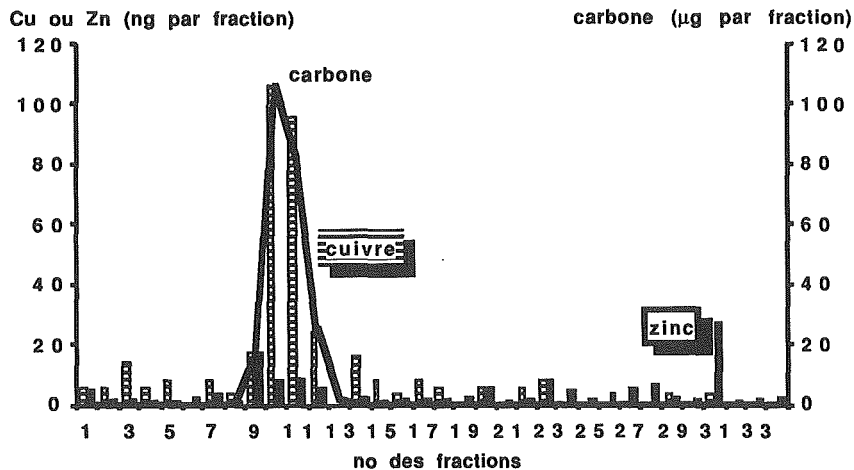


Figure 7 : Filtration sur gel d'un échantillon d'eau gravitaire d'un sol modélisé compost sain/granite (Vo: frac 9, Vt: fraction 31).

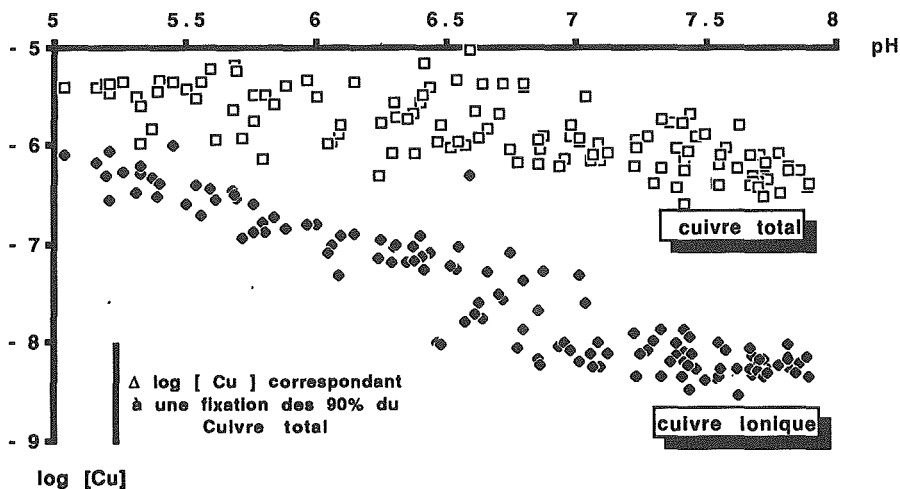


Figure 8 : Concentrations du cuivre total et du cuivre libre dans toutes les eaux gravitaires prélevées de septembre à décembre 1986.

Les résultats, présentés ci-dessous montrent que si le carbone et le cuivre sont en grande partie fixés sur la résine échangeuse d'anions, près de 90% du zinc au contraire ont été retenus par la résine échangeuse de cations (figure 6); la filtration sur gel permet de séparer dans les fractions 9 à 13 correspondant à des masses moléculaires  $\geq 1000$  la totalité du carbone et près de 90% du cuivre (figure 7); de plus, la détermination de la concentration de cuivre libre par une électrode spécifique nous a permis d'affirmer que la plus grande partie du cuivre dissous était complexé, (figure 8) même à pH acide et pour une faible concentration de matière organique. Il apparaît donc clairement que si le zinc se trouve essentiellement sous forme ionique, le cuivre par contre semble fortement lié à la matière organique.

#### 4. CONCLUSION

Cette étude permet d'opposer dans les systèmes étudiés deux métaux lourds aux propriétés très différentes:

- le zinc migre sous le contrôle du pH, les transferts étant plus importants en milieu acide qu'en milieu neutre; cette lixiviation s'effectue très probablement sous des formes cationiques minérales
- le cuivre forme des complexes avec les matières organiques en solution; ces complexes sont relativement stables (non dissociés en présence d'une résine échangeuse de cations) et chargés négativement.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAHAM J., N.B. BALL et G. SPOSITO, 1978  
Gel filtration studies of trace metal-fulvic acid solutions extracted from sewage sludges  
J. Environ. Qual. 7, 181-188
- CAMERLYNCK R. et L. KIEKENS, 1982  
Speciation of heavy metals in soils based on charge separation  
Plant and Soil 68, 331-339
- CAVALLARO N. et M.B. McBRIDE, 1980  
Activities of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  in soils solutions as affected by pH  
Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 729-732
- MENCH M., J.-L. MOREL et A. GUCKERT, 1985  
Liaison du cadmium avec la fraction macromoléculaire soluble des exsudats racinaires de Maïs (*Zea mays L.*)  
C.R. Acad Sc. Paris, t. 301, Série III, 7, 379-382
- RENAUD-BEZOT Christiane et J.C. VÉDY, 1986  
Interactions organo-minérales entre un support acide et un compost de boue d'épuration - premiers résultats obtenus en microlysimétrie  
Bulletin BGS 10, 11-24
- STREHLER Catherine et J.C. VÉDY, 1987  
Dynamics of Cd, Cu and Zn in composted sludge/mineral substrate lysimetric systems  
in: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants: proceedings and Information No.38. Ed by W. van Duikvenbooden and H.G. van Waegeningh, The Hague, 687-690



# TRANSFERTS ET REDISTRIBUTION DU CUIVRE DANS DEUX ECOSYSTEMES ACIDOPHILES ET A POLLUTION DIFFUSE DE SUISSE ROMANDE.

---

Catherine KELLER, J.-Claude VÉDY  
IGR-Pédologie, EPFL, 1015 Lausanne

Les écosystèmes forestiers non soumis, à l'inverse de la plupart des agrosystèmes, à des pollutions anthropiques directes, représentent des modèles instructifs pour l'étude des pollutions diffuses par les métaux lourds.

On se propose d'étudier expérimentalement les processus de transfert et de redistribution du cuivre dans deux écosystèmes forestiers acidophiles à pédogénèse contrastée. Dans un premier temps on s'attache à suivre le transfert saisonnier du cuivre dans la phase aqueuse prélevée aux différents étages de l'écosystème. Dans un second temps, on détermine le rôle de la matière organique en solution dans la complexation organométallique et dans la redistribution du cuivre au sein de l'écosystème.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1 Les parcelles expérimentales

On étudie (1) un sol brun acide sous pessière (St-Cierges, VD), développé sur moraine sablo-limoneuse (altitude 840m, pente moyenne de 7% orientée SW); (2) un podzol humo-ferrugineux sous forêt mixte d'épicéas, mélèzes et arolles (Champex, VS), développé sur éboulis à prédominance granitique (altitude 1650m, pente moyenne 68% orientée NW).

### 1.2 Protocole expérimental

Les eaux gravitaires sont recueillies aux différents étages de l'écosystème:

-pluiolessivats sous la strate arborescente et sous la strate herbacée,

-eaux de ruissellement le long des troncs d'arbres,

-eaux gravitaires sous les principaux horizons du profil pédologique (lysimètres sans tension).

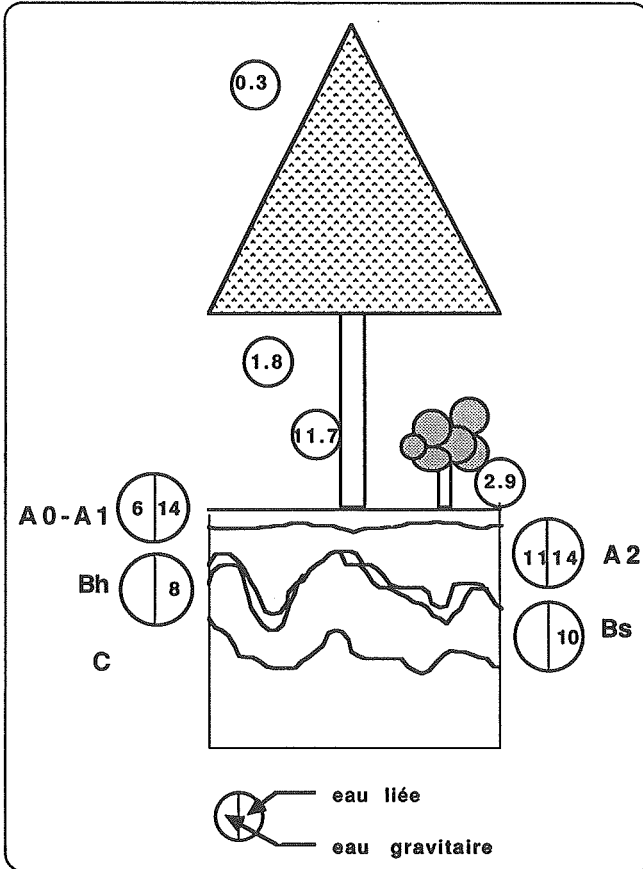
Des mesures complémentaires sont effectuées sur la solution du sol extraite par centrifugation.

Une station météorologique est implantée en système ouvert, à proximité de chaque site.

Les échantillons sont récoltés systématiquement pour la détermination des flux saisonniers; certains épisodes sont analysés dans le détail en vue d'une caractérisation de la complexation organométallique; toutes les solutions sont filtrées à 0.45 µm avant analyse.

### 1.3 Méthodes analytiques

Le cuivre est analysé par absorption atomique sans flamme (PERKIN-ELMER, HGA 500). Les autres paramètres et éléments suivants sont déterminés: pH, carbone organique par oxydation photochimique (ASTRO 1850) et éléments majeurs par spectrométrie d'émission plasma (ARL Spectraspan V). L'étude de la complexation organométallique est effectuée en utilisant la technique des résines échangeuses d'ions (Biorad AG1-X8) et celles de titrations potentiométriques (calcul de fonctions différentielles d'équilibre).



*Figure 1:*  
Concentrations moyennes de cuivre en ppb dans les solutions récoltées aux différents étages de l'écosystème forêt mixte-podzol, durant l'épisode pluvieux du 25 août 1987.

## 2. RESULTATS

### 2.1 Evolution des concentrations

#### 2.1.1 Profils verticaux

La figure 1 illustre à titre d'exemple, le profil vertical de concentration du cuivre lors d'un événement pluvieux caractéristique (25 août 1987) et pour la station de Champex (forêt mixte-podzol). On note des concentrations croissantes de cuivre de la pluie jusqu'aux horizons de profondeur. Les concentrations des solutions récoltées le long des troncs sont maximales (11,7 ppb en moyenne). La concentration en cuivre des solutions extraites par centrifugation est toujours supérieure à celle des eaux récoltées par lysimétrie.

### 3.1.2 Evolution en fonction du temps

L'exemple de la station de St-Cierges (pessière-sol brun acide) (tab. 1) fait apparaître d'importantes fluctuations saisonnières des concentrations de cuivre. En règle générale, les concentrations sont plus élevées en hiver et au printemps qu'en été.

	18-nov	22-nov	25-mar	14-mai	17-jui	30-jul
pluie			2.5	3	8	2
écoulement tronc	10	10.9	11	14	18	4.8
pluiolessivat I		9.4	6.9	6	5	1
pluiolessivat II	16	11.7	15.8	6	12	1.8
eau gravitaire A0					14	3.6

	7-jui	9-jui	21-jui	28-jui	31-jui	25-août
pluie	1.1	1.9	3.7	8.8	0.6	3.4
écoulement tronc	10.8	4.6	6.2	7.7	7.2	11.1
pluiolessivat I	5	2.2	2.5	2.5	1.2	3.2
pluiolessivat II	3.4	3.6	2.8	4.3	2	4.4
eau gravitaire A0	3.4	0.4	3.3	3.9	5.3	6.1

Tableau 1: Concentration de Cu dans les solutions récoltées aux différents étages de l'écosystème pessière-sol brun acide du 18 novembre 1986 au 25 août 1987.

### 3.2 Les interactions organométalliques

L'utilisation des résines échangeuses d'ions permet de caractériser la charge des constituants organiques et des formes du cuivre dans les eaux gravitaires. Cette technique appliquée aux solutions récoltées dans la station de St-Cierges (épisode pluvieux du 25 août 1987) montre que la plus grande partie des constituants organiques et du cuivre présente un caractère électronégatif. Les formes électropositives représentent, pour les constituants organiques, de 20 à 30% environ du carbone organique total en solution (jusqu'à 43% pour les écoulements le long des troncs), pour le cuivre, de 8 à 20% environ du cuivre total en solution.

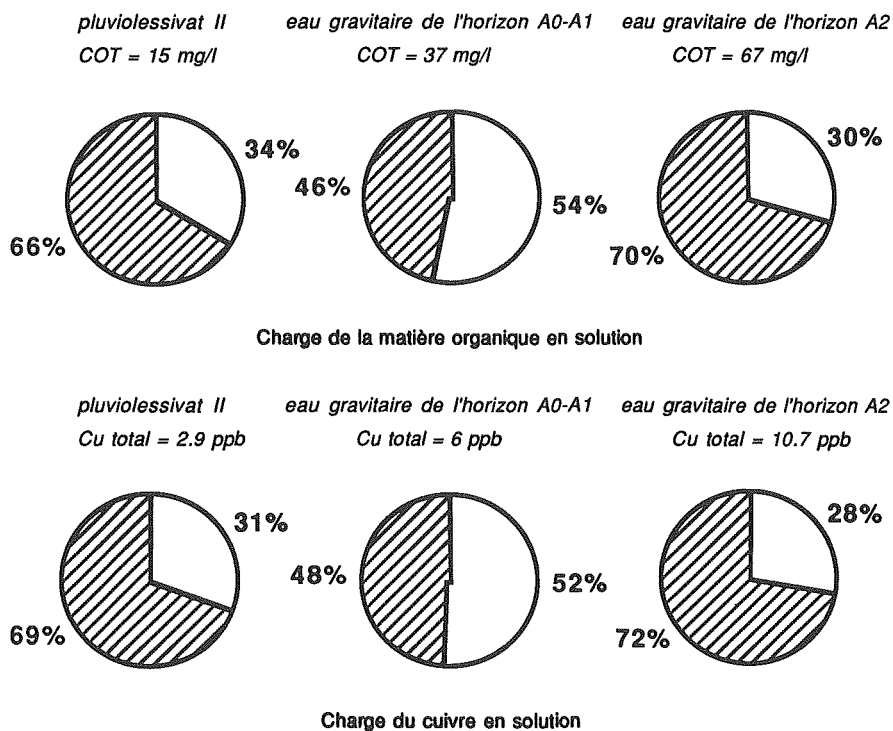
Pour les solutions récoltées dans la station de Champex (épisode pluvieux du 25 août 1987) la fraction organique électropositive est sensiblement plus importante que précédemment: pour les constituants organiques, de 27 à 40% environ du carbone organique total, pour le cuivre, de 12 à 54% du cuivre total. Ces pourcentages augmentent significativement pour les écoulements le long des troncs. Les eaux gravitaires récoltées sous l'horizon A0-A1 du podzol contiennent, à part égale, des composés électronégatifs et électropositifs.

On note que l'évolution verticale des formes électropositives et électronégatives des constituants organiques et du cuivre est, pour cet épisode pluvieux, la même dans les deux écosystèmes. Enfin, on note que la proportion de cuivre électropositif varie de la même manière que celle des constituants organiques électropositifs.

La titration potentiométrique permet, à partir de paramètres expérimentaux, pour une eau donnée, de comparer à différentes valeurs de pH le pouvoir complexant des chélatants en solution. On peut également comparer le pouvoir de complexation de plusieurs eaux entre-elles à des valeurs de pH déterminées.

Les fonctions différentielles d'équilibre illustrées par la figure 3 mettent en évidence la différence de comportement de deux eaux gravitaires provenant respectivement des horizons A0-A1 et A2 du podzol. Les titrations sont effectuées à pH 6.5 pour des problèmes de

compétition entre les protons et les ions  $\text{Cu}^{2+}$  à des valeurs basses de pH . De ce fait, les courbes obtenues ne représentent par exactement la réalité de ces solutions dont le pH moyen se situe aux environs de 3.7. On note que les constituants organiques de l'horizon A0-A1 sont plus complexants vis-à-vis du cuivre que ceux de l'horizon A2.



*Figure 3: Détermination des charges positive et négative moyennes de la matière organique et du cuivre dans deux gravitaires récoltées sous les horizons A0-A1 et A2 du podzol et dans les pluiolessivats II (épisode pluvieux du 25 août 1987) par passage sur une résine anionique de type Biorad AG1-X8.*

Ces résultats très préliminaires montrent à la fois la difficulté et l'intérêt de suivre la dynamique des métaux lourds dans ces écosystèmes forestiers à pollution diffuse.

L'étude des profils verticaux de concentrations et des flux saisonniers est complexe compte tenu des très faibles quantités de métaux lourds mises en jeu et des risques élevés de contamination existant à tous les stades de l'étude. Elles font apparaître cependant des variations verticales et temporelles significatives indicatrices de processus complexes de redistribution en relation avec des formes tout aussi complexes de pollution.

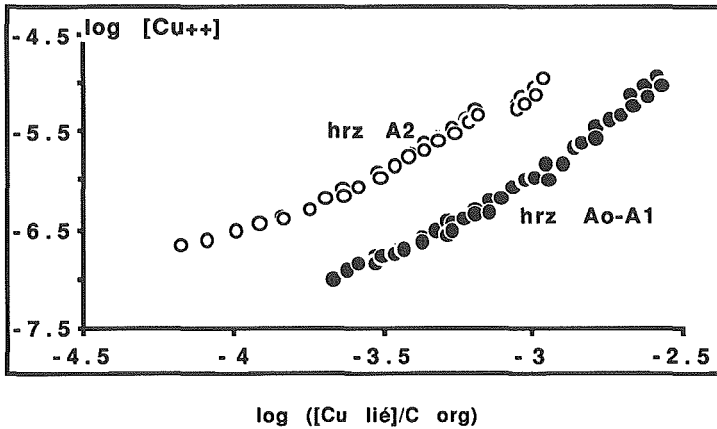


Figure 4: Etude potentiométrique de la complexation du cuivre par la matière organique de deux eaux gravitaires récoltées sous deux horizons de podzol (horizons A0-A1 et A2)

L'étude des formes de transfert des métaux par les eaux gravitaires est difficile si l'on n'utilise que les techniques de fractionnement: faibles concentrations mises en jeu, risque de pollution et d'adsorptions irréversibles sur les résines échangeuses d'ions... Dans ces conditions, les approches expérimentales proposées dans cet article (titrations potentiométriques) s'avèrent plus fructueuses.



# **CU(II)-KOMPLEXIERUNG DURCH MOLEKULARFILTRATIONS-FRAKTIONEN EINES EDELKASTANIEN-LAUBSTREU-EXTRAKTES**

---

J. LUSTER<sup>1)</sup>, B. MAGYAR<sup>2)</sup>, P. BLASER<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen EAFV,  
Zürcherstr. 111, 8903 Birmensdorf

<sup>2)</sup> Laboratorium für Anorganische Chemie der ETH Zürich,  
ETH Zentrum, 8092 Zürich

## **1. EINLEITUNG, ZIELSETZUNG**

Die Bindung gewisser "freier" Metallionen, wie z.B. Cu(II), Pb(II) oder Al(III), durch gelöstes organisches Material (*GOM*) im Bodenwasser ist ein wichtiger Faktor bei der Spezierung dieser Metalle im Boden. Die Spezierung, d.h. die Verteilung der Metalle auf die unterschiedlichen Formen, ist für die Frage der Pflanzenverfügbarkeit von entscheidender Bedeutung.

In einer methodischen Arbeit soll an einem Modellsystem (Wasserextrakt einer Edelkastanien-Laubstreu) gezeigt werden, wie sich mit verschiedenen Trennmetho- den gewonnene Fraktionen des GOM in ihren Komplexbildungseigenschaften gegen- über Cu(II) unterscheiden.

Hier werden die Resultate für eine erste Trennmethode, die Molekularfiltration präsentiert.

## **2. METHODISCHES**

### **2.1. Aufarbeitung**

- Frischgefallene Edelkastanienlaubstreu (Versuchsfläche Copera, TI) wird bei 105° C getrocknet und mit einer Ultrazentrifugalmühle (1mm-Sieb) gemahlen.
- Das erhaltene Pulver wird mit bidest. Wasser extrahiert und bis 0.45µm fil- triert. Bis hierher vgl. auch (BLASER et al., 1984).
- Der frische Wasserextrakt wird durch Elution über einen stark sauren Katio- nenaustauscher von mitextrahierten Kationen weitgehend befreit. Von den kom- plexchemisch relevanten Kationen kann nur Al(III) nicht weitgehend genug ent- fernt werden.

### **2.2. Molekularfiltration**

Der gereinigte Wasserextrakt wird mit einer sequentiellen Diafiltration (Filtration mit konstantem Retentats-Volumen, vgl. auch "Washing Technique" bei (BUFFLE et al., 1978)) durch asymmetrische Molekularfilter mit nominellen Ausschlussgren- zen 100'000, 10'000, 1'000 und 300 bei pH 4 in 5 Fraktionen aufgetrennt.

In Tab. 1 a) sind diese Fraktionen bezüglich ihres Gehaltes an organischem Koh- lenstoff und an nicht austauschbarem Al (nicht mit Ionenaustauscher entfernbare) charakterisiert.

Dazu einige Erläuterungen :

- TOC : Totaler organischer Kohlenstoff, bestimmt mit "TOC-Analyzer".
- Ext. (280 nm) : Extinktion des Elektronenspektrums bei 280 nm, umgerechnet auf die konzentrierte Probe.
- Al / GOM : Für die mol/l GOM wurden mittlere Molekulargewichte aufgrund der Filter-Ausschlussgrenzen angenommen. Unter Annahme eines konstanten C-Gehaltes wurden die Werte dann aus den TOC-Konzentrationen berechnet.

### 2.3. Cu(II)-Komplexierung

Für die Titration des gelösten organischen Materials (GOM) im gereinigten Wasserextrakt und den Fraktionen mit Cu(II) wird die Gleichgewichts-Ionenaustauscher-Methode (*GIM*) nach (STEVENSON und ARDAKANI, 1972) sinngemäss angewendet.

- Wichtige Details: - Der gereinigte Wasserextrakt und die Fraktionen sind jeweils 1:50 mit 0.01 M LiNO<sub>3</sub> verdünnt, so dass die Konzentration an GOM mit derjenigen in typischen Lysimeterlösungen in etwa übereinstimmt.
- pH 6

Die Auswertung der Titrationskurven erfolgt unter der Annahme, dass nur 1 Quasipartikel CuL gebildet wird ("Quasipartikuläres Modell", vgl. (SPOSITO, 1986)). Diese Annahme erlaubt die Bestimmung der

konditionalen Stabilitätskonstante  $K' = \frac{[CuL]}{[Cu]*[L]}$  und der Metallbindungs-Kapazität

$[L_{tot}]$  mithilfe der linearen Beziehung  $\frac{[Cu]}{[CuL]} = \frac{1}{[L_{tot}]*K'} + \frac{1}{[L_{tot}]} * [Cu]$  .

Im Gegensatz zu (STEVENSON und ARDAKANI, 1972) wird bei dieser Auswertemethode nur eine Titrationskurve bei einer Ligandkonzentration benötigt.

In der Praxis sind diese Beziehungen v.a. im unteren Titrationsbereich nicht linear. Das bedeutet, dass das gewählte Modell das Komplexbildungsverhalten nicht genau beschreibt.

Der nicht lineare Bereich ist jedoch in allen Fällen vernachlässigbar klein.

Zusätzliche "chemische" Aussagen lassen sich mit einem durch Annahme weiterer Quasipartikel verbesserten Kurvenfit sowieso nicht gewinnen.

## 3. DISKUSSION

Tab. 1 b) zeigt, dass sich die Bindungsstärke der angenommenen Quasipartikel für zugegebenes Cu(II) mit zunehmender Molekülgrösse erhöht.

Eine mit den gefundenen Stabilitätskonstanten und Metallbindungskapazitäten gerechnete Spezierung zeigt, dass bei totalen Cu-Konzentrationen unter 10<sup>-5</sup> M (≅ 0.6 ppm) 90 % des Cu(II) an Moleküle mit MG > 1'000 gebunden ist. Erst bei deutlich über diesem Wert liegenden Cu(II)-Konzentrationen tragen auch die kleineren Moleküle wesentlich zur Bindung bei.

Die Verteilung des nicht austauschbaren, also stark gebundenen Al (vgl. Tab.1a) weist auf die gleiche Tendenz bei diesem Metall hin.



**Tab. 1a): Charakterisierung des gereinigten Wasserextrakts und der Molekulargewichts-Fractionen**

<sup>1)</sup>Bezogen auf den Gesamtextrakt

**Tab. 1b):  
Cu(II)-Komplexierung**

Fraktion	TOC [ppm] (% <sup>1)</sup> )	Ext.(280 nm) (% <sup>1)</sup> )	natb. Al [ppm] (% <sup>1)</sup> )	Al [mol/l]	Al [mol/l]	log K' [mol/l] <sup>-1</sup>	L <sub>tot</sub> [mol/l]
				GOM [mol/l]	TOC [mol/l]		
> 100'000	320 (24)	6.6 (19)	0.39 (41)	10	5.6*10 <sup>-4</sup>	5.80	1.6*10 <sup>-5</sup>
10'000 - 100'000	265 (19)	9.3 (27)	0.26 (28)	1	4.6*10 <sup>-4</sup>	5.50	4.3*10 <sup>-5</sup>
1'000 - 10'000	215 (16)	6.3 (18)	0.14 (15)	0.06	2.8*10 <sup>-4</sup>	5.40	4.3*10 <sup>-5</sup>
300 - 1'000	150 (11)	3.4 (10)	0.08 (9)	0.006	2.4*10 <sup>-4</sup>	4.97	2.7*10 <sup>-5</sup>
< 300	235 (17)	3.9 (11)	< 0.05 (< 5)	< 0.006	< 1.0*10 <sup>-4</sup>	4.24	8.7*10 <sup>-5</sup>
<i>Summe</i>	<i>1185 (87)</i>	<i>29.5 (85)</i>	<i>&lt; 0.92 (&lt; 98)</i>				<i>21.6*10<sup>-5</sup></i>
<b>Gesamtextrakt</b>	1360	34.9	0.94			5.31	22.0*10 <sup>-5</sup>

#### 4. AUSBLICK

In der Fortsetzung dieser Arbeit sollen als weitere Trennmethoden flüssigchromatographische Techniken ausprobiert werden und die Cu(II)-Komplexierung der so erhaltenen Fraktionen in der gleichen Weise wie oben verglichen werden. Ausserdem sollen den Komplexbildungseigenschaften der Fraktionen auch noch Informationen über die organische Struktur (am ehesten aus  $^{13}\text{C}$ -NMR) gegenübergestellt werden.

Aus den drei Informationen über (i) Trennmechanismus, (ii) Komplexbildung und (iii) Struktur sollten weitergehende Aussagen über das "Wie" der Cu-Bindung möglich sein. Wunschziel wäre die Auftrennung der GOM in den Streuextrakten in komplexchemisch deutlich unterscheidbare Fraktionen.

#### 5. RESUME

A l'aide d'un échangeur de cations, un extrait aqueux d'une litière de châtaignier est fortement libéré des ions métalliques. Ensuite il a été séparé en 5 fractions, en utilisant une diafiltration séquentielle. Ces fractions furent caractérisées par la répartition du carbone organique et de l'Al non échangeable, c'est-à-dire fortement lié (voir fig. 1a).

A l'aide de la méthode d'un échangeur de cation en équilibre avec le métal, des constantes de stabilité conditionnelles à pH 6 ont été évaluées et comparées entre elles, ceci pour les complexes de l'extrait entier et des fractions avec Cu. Sur cette même base, les capacités de liaison métallique ont été déterminées (voir fig. 1b).

Il ressort d'une spéciation calculée à l'aide des valeurs évaluées que, en cas des concentrations totales de Cu de moins de  $10^{-5}$  mol/l, environ 90 % du Cu est lié aux molécules ayant des poids moléculaires plus grands que 1'000. Les plus petites molécules ne contribuent vraiment à la liaison que si les concentrations de Cu sont plus élevées.

#### 6. LITERATUR

BLASER, P., SPOSITO, G., und HOLTZKLAW, K.M., 1984 :

Composition and Acidic Functional Group Chemistry of an Aqueous Chestnut Leaf Litter Extract. *Soil Sci Soc Am J* 48, 278-283

BUFFLE, J., DELADOEY, P., und HAERDI, W., 1978 :

The Use of Ultrafiltration for the Separation and Fractionation of Organic Ligands in Fresh Waters. *Anal Chim Acta* 101, 339-357

SPOSITO, G., 1986 :

Sorption of Trace Metals by Humic Materials in Soils and Natural Waters. *Crit Rev Environ Control* 16, 193-229

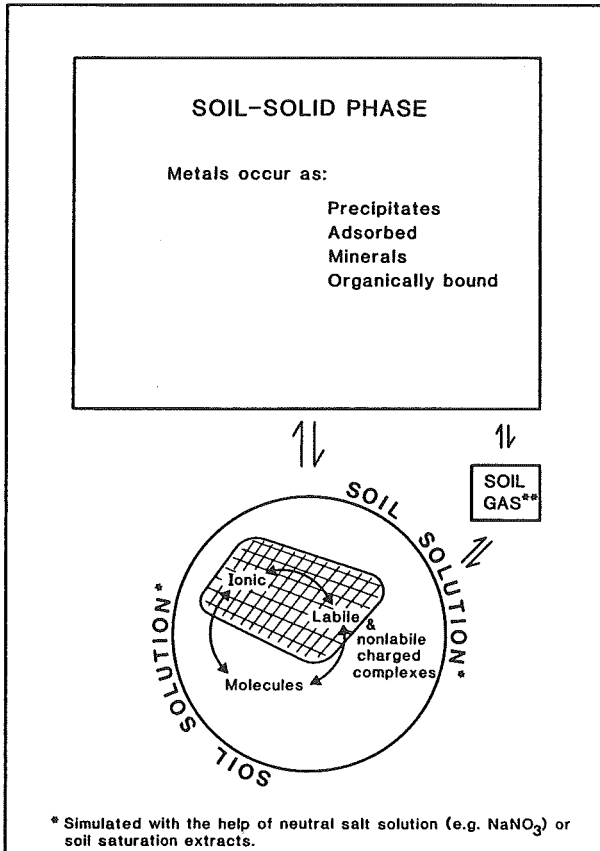
STEVENSON, F.J., und ARDAKANI, M.S., 1972 :

A modified Ion-Exchange Technique for the Determination of Stability Constants of Metal-Soil Organic Matter Complexes. *Soil Sci Soc Am Proc* 36, 884-890

A. BLATTER, S.K. GUPTA und H.HAENI

Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 3097  
Liebefeld-Bern**Einleitung**

Totalgehalte für Schwermetalle in Böden sagen über die Pflanzenverfügbarkeit wenig aus, diese ist je nach Bodeneigenschaft verschieden. Durch Extraktionsmittel wie  $\text{NaNO}_3$ -Lösung wird eine Bodenlösung simuliert.

**Metal Distribution in Soil-System**

\* Simulated with the help of neutral salt solution (e.g.  $\text{NaNO}_3$ ) or soil saturation extracts.

\*\* A small portion of total Hg and Se is exceptionally found in gaseous phase of soil.

Schwermetalle treten in der Bodenlösung in verschiedensten Formen auf (ionische, molekulare u.a.). Dies könnte Auswirkungen auf ihre biologische Wirkung (Aufnahme durch Pflanzen, Einfluss auf Bodenmikroorganismen) zeigen.

Mit Ionenchromatographie (IC) werden freie Ionen und instabile Komplexe von Molekülen, stabilen und inerten Komplexen getrennt.

Werden zusätzlich mit Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) die total löslichen Schwermetalle bestimmt, so können diese in die drei folgenden Klassen geteilt werden:

1. total lösliche (AAS)
2. Ionen und instabile Komplexe (IC)
3. Moleküle, stabile und inerte Komplexe (AAS-IC)

Die Trennung zwischen instabilen und stabilen Komplexen erfolgt auf Grund der Bedingungen auf der Chromatographiesäule.

In der Folge wird von Ionen gesprochen, wobei die 2. Klasse gemeint ist.

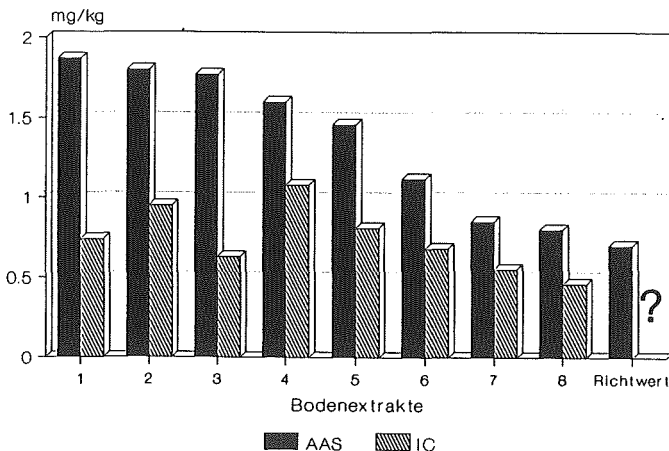
### Methodik

Acht Bodenproben aus Rebbergen werden mit 0,1 M  $\text{NaNO}_3$ -Lösung während 2h (bei RT und 120u) extrahiert und mit Membranfilter 0,45  $\mu\text{m}$  filtriert.

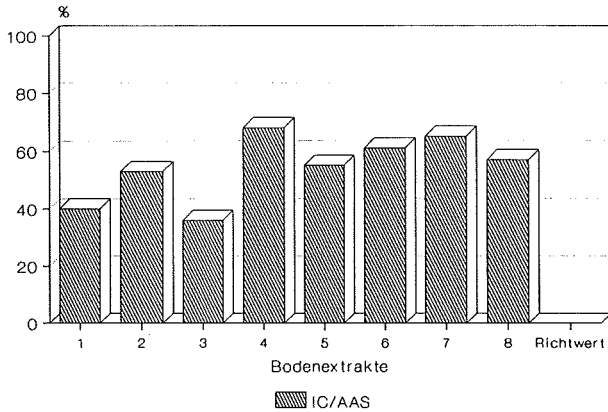
Total lösliches Kupfer wurde mit FAAS (Perkin-Elmer 420) und das ionische mit dem IC (Dionex 2010, Trennsäule HPIC-CS5, Konzentratorsäule HPIC-CG2, Eluent: Oxalsäure 0,05 M, pH 4,8, flow 1,0 ml/min und Farbreagenz PAR) bestimmt.

### Lösliches Kupfer aus acht Rebbergböden

#### lösliches Kupfer

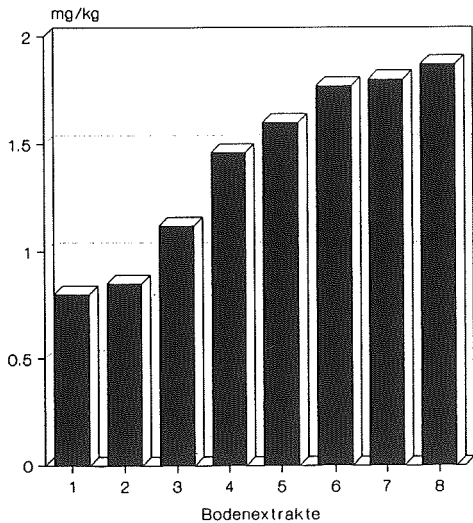


## ionisches Kupfer

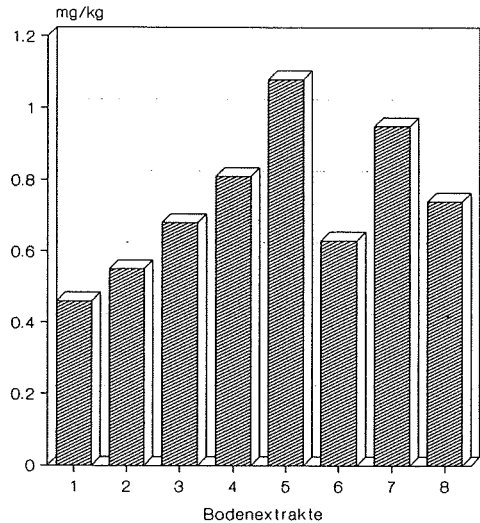
**Schlussfolgerungen**

Werden die acht Bodenlösungen aus Rebbereböden nach steigenden Kupferkonzentrationen aufgetragen, so erhalten wir je nach Methode eine andere Reihenfolge:

## total lösliches Kupfer



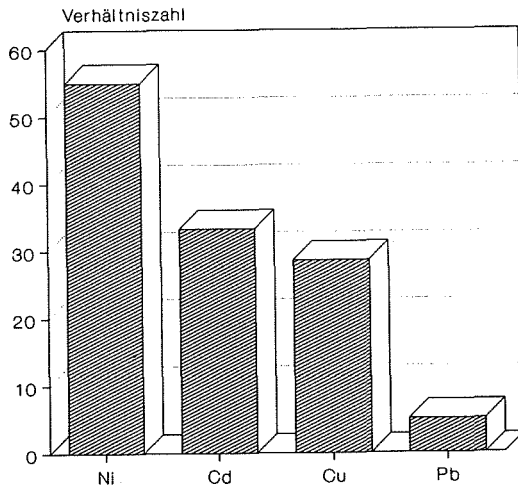
## ionisches Kupfer (IC)



Weitergehende Projekte (Pb-Cd-Interaktionsversuch im Gefäss und ein Kleinparzellenversuch mit in situ belasteten Böden) sollen zeigen, ob die beschriebene Metallselektion Einfluss auf die Schwermetallaufnahme von Pflanzen hat.

Auch erhoffen wir uns Erklärungen, weshalb das Verhältnis zwischen der kritischen Schwermetallkonzentration in Pflanzen und dem  $\text{NaNO}_3$ -löslichen Richtwert der Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBO) je nach Schwermetall so unterschiedlich ist.

### Schwermetallaufnahme krit. Pflanzengehalt/Richtwert lösl.



Der krit. Pflanzengehalt ist der zootoxische bzw. phytotoxische Wert, der zur Festlegung des Richtwertes diente.

EINFLUSS VON BEPFLANZUNG UND ZUSATZSTOFFEN AUF DEN SCHWERMETALLGEGHALT (Cu) UND DIE PUFFERUNG DER BODENLÖSUNG BELASTETER REBBÖDEN.

---

P. PERRET      M. HAAB

Eidg. Forschungsanstalt für Obst-  
Wein- und Gartenbau, 8820 Wädenswil

E I N L E I T U N G

Rebberge gehören zu den am stärksten mit potentiell wurzeltoxischen Schwermetallen (SM) belasteten Kulturen. Schäden dürften hauptsächlich an Jungreben auftreten, da diese in der am stärksten kontaminierten Schicht wachsen. Um Schädigungen vorzubeugen besteht die Möglichkeit bei der Pflanzung, Zusätze wie Torf, Kalk, Dünger ins Pflanzloch zu geben. Entsprechende Untersuchungen mit Topfreben zeigten, dass sich solche Zusätze je nach Bodenart sehr unterschiedlich auf das Rebenwachstum auswirken. Ein kausaler Zusammenhang mit der Wirkung von Schwermetallen kann mit einem solchen Versuchsansatz aber nicht abgeleitet werden, da solche Zusatzstoffe verschiedene, wachstumsrelevante Faktoren beeinflussen.

Die toxische Wirkung der in den Rebböden angereicherten Schwermetalle hängt nicht nur von deren Konzentration im Boden ab. Verschiedene Randbedingungen beeinflussen deren Toxizität, diese könnten in drei "Kompartimente" eingeteilt werden:

B O D E N  
(Transport)

R H I Z O S P H Ä R E  
(Transformationen)

W U R Z E L  
(Empfindlichkeit)

Die Eingriffsmöglichkeiten beim Kompartiment "Empfindlichkeit" ist im Rebbau gering, da nur sehr wenige Unterlagen/Sorten zur Auswahl stehen. Mit kulturtechnischen Massnahmen können aber der Transport der SM zu den Wurzeln sowie die Bedingungen in der Rhizosphäre beeinflusst werden. Dabei ist auch von Interesse, ob sich die Art der Bodenpflege (z.B. Einsaaten) auf die Bepflanzung auswirken kann.

Ein wichtiger Faktor der Toxizität ist das pH. Je tiefer dieses ist, desto toxischer sind sie. Dies ist z.B. der Fall bei der Aufnahme positiv geladener Ionen (z.B. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Die Pufferung der Bodenlösung dürfte dabei einen Einfluss auf diese pH-Absenkung haben, je besser die Bodenlösung gepuffert ist, desto weniger sollte das pH in der Rhizosphäre absinken.

## MATERIAL UND METHODEN

Tabelle 1: Eigenschaften der untersuchten Böden

VERFAHREN	% HUMUS	P *	K *	Ca *	Cu **
STAEFA REBB. MK-KOMP	8.3	.9	3.5	11.6	719
STAEFA REBB. OHNE K	3.9	1.0	3.8	7.8	768
STAEFA KONTROLLBODE	3.2	.6	1.8	11.3	211
WALENSTADT REBBODEN	5.2	.6	3.0	12.1	279
WALENSTADT KONTROLL	7.7	.5	5.0	17.5	58
BACHTOBEL REBBODEN	3.1	.8	6.1	13.0	339
BACHTOBEL KONTROLLB	2.3	.4	3.7	10.3	85
EGLISAU REBBODEN	1.9	.9	5.0	12.9	518
MALANS REBBODEN	5.9	1.3	4.0	9.5	512
MAIENFELD REBBODEN	3.0	1.0	3.4	14.0	746

\* Wasserlöslich

\*\* HNO<sub>3</sub>-Extraktion

Verfahren: Zusatzstoffe: Torf  
Bepflanzungen: Sonnenblumen, Mais, Oelrettich

Vorbereitung der Töpfe

Pro Boden wurden am 14. Mai je 5 9cm-Töpfe eingefüllt, eingesät und im Treibhaus bei identischen Randbedingungen kultiviert. Giessen: mit ionengetauschtem Wasser.

Probeentnahme:

In regelmässigen Abständen wurden Proben entnommen, die Resultate entstammen der Probeentnahme vom 16.7.87, also nach 2 Monaten Versuchsdauer. Am Tage vor der Probeentnahme wurde jeweils auf Feldkapazität gewässert. Das Giessen erfolgte nach einer kinetischen Methode, das ionengetauschte Wasser wurde den Töpfen in einem Guss gegeben. Pro Topf wurde eine identische Menge Perkolat aufgefangen und über Nacht absedimentiert.

Analysen

Nach dem Absetzen wurde der Ueberstand mittels Flammen-Atomabsorption bei 324.8 nm auf Kupfer untersucht. Die Pufferung der Perkolate ermittelten wir mit 0.001 molarer HCL in Anlehnung an die Methode von Schaller und Fischer (1985). Es wurde gleichmässig auf ein End Ph von 4 titriert, in der Annahme, dass dabei der pH - Bereich in der Rhizosphäre abgedeckt werde.



## VERSUCHSERGEBNISSE

Unterschiede in den Cu - Gehalten und dem pH der Perkolate nach 8 Wochen Versuchsdauer im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle

Behandlung Boden	Mais		Oelrettich		Sonnenblumen		Torf	
	Cu	pH	Cu	pH	Cu	pH	Cu	pH
Eglisau	=	+	+	+	+	-	-	+
Maienfeld			-	-	-	+	-	=
Malans	+	+	+	+	+	+	-	=
Stäfa mit (Kompost)	+	=	+	=	+	+	+	-
Stäfa.ko (ohne Komp)	+	+	=	+		+	+	-
Wädenswil Blattmann	-	-	-	+	+	+	-	-
Wädenswil Kontr.	=	=	=	=	+	=	=	-
Walenstadt Reben	-	+	=	=	+	+	-	+
Walenstadt Kontr.	=	=	=	=	+	+	=	+
Bachtobel Bldg.	+	+	+	+	+	+	+	+
Bachtobel Kontr.	=	=	+	=	+	+	+	=
Stäfa Kontr.	=	-	-	=	=	+	=	-

- = Werte nicht sign. gegenüber unbepflanzter Kontrolle
- + bei 0,05 Irrtumswahrscheinlichkeit gesichert höhere Gehalte gegenüber unbepflanzter Kontrolle
- bei 0,05 Irrtumswahrscheinlichkeit gesichert tiefere Gehalte gegenüber unbepflanzter Kontrolle

Von den drei Begrünungsverfahren fällt auf, dass die Variante Sonnenblumen mit einer Ausnahme (Boden Maienfeld) den Kupfergehalt der Perkolate immer erhöht hat. Bei den anderen Begrünungsverfahren sind sowohl höhere als auch niedrigere Cu-Gehalte in den Perkolaten vorhanden. Bei den pH - Werten zeigt sich ein ähnliches Bild, die verschiedenen Verfahren wirken sich in den einzelnen Böden sehr unterschiedlich aus. Interessant ist die Beobachtung, dass sich in den Böden Stäfa - MK - Kompost, und im Bachtobel Bldg. alle Verfahren einheitlich auswirken, das heisst der Cu-Gehalt der Perkolate wurde durch alle Verfahren immer erhöht. Die in den Perkolaten nachgewiesenen Cu-Gehalte schwanken zwischen 0 und 0,45 ppm.

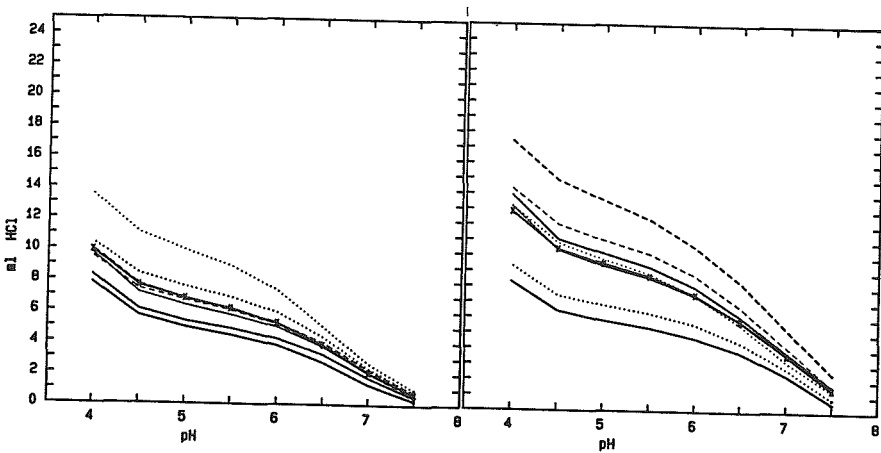
#### Pufferung der Bodenlösung

Die Pufferung der Bodenlösung wurde in den gleichen Perkolaten untersucht, die für die Kupferbestimmungen verwendet wurden. Die Pflanzen waren in diesem Zeitpunkt unterschiedlich hoch: Oelrettich 20 cm, Mais 30 cm, Sonnenblumen 43 cm.

Tabelle 3: Einfluss der Verfahren auf die pH-Werte der Perkolate

VERFAHREN	pH Bod.	Ko.	Torf	So.bl	Meis	Oelr
STAEFA REBB.MK-KOMP	7.1	7.6	7.4	7.6	8.0	7.7
STAEFA REBB OHNE MK	7.4	7.7	7.6	7.9	7.6	8.1
STAEFA KONTROLLB.	7.3	7.8	7.8	8.0	8.1	8.2
WALENSTADT REBBODEN	7.4	7.8	8.0	7.8	7.9	7.8
WALENSTADT KONTROLL	7.6	7.7	8.0	8.0	8.0	7.9
BACHTOBEL REBBODEN	7.5	7.7	7.9	7.6	7.6	7.8
BACHTOBEL KONTROLLB	7.7	8.0	7.9	7.9	8.2	7.7
EGLISAU REBBODEN	7.3	7.5	7.6	7.5	7.5	7.6
MALANS REBBODEN	7.3	7.8	7.6	7.8	7.9	7.8
MAIENFELD REBBODEN	7.5	7.7	7.8	7.8	.	7.8

Der pH-Bereich der untersuchten Böden entspricht den typischen Verhältnissen im Rebbberg. Das pH der Perkolate liegt praktisch in allen Proben deutlich über demjenigen des im Labor bestimmten Boden pH (pH H<sub>2</sub>O). Die Begrünungsverfahren bewirken durchwegs eine Erhöhung des Boden pH, auch im Vergleich zur nicht begrüneten Kontrolle

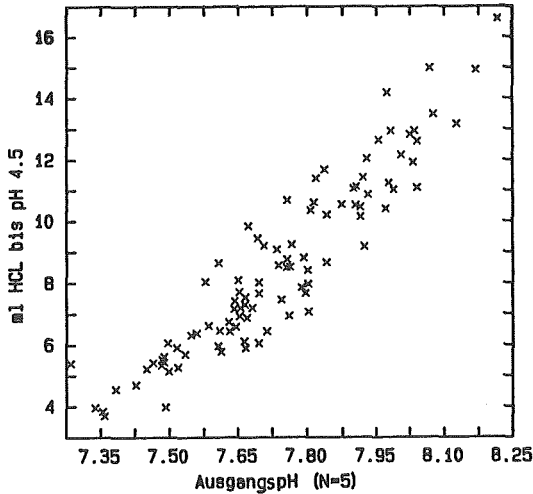


Bachtobel Blauburgunder

Bachtobel Kontrolle

Graphik 1: Beeinflussung der Titrationskurven durch die verschiedenen Bepflanzungen und Zusatzstoffe in einem belasteten und einem unbelasteten Boden.

Aus den beiden Beispielen geht hervor, dass sich die verschiedenen Verfahren in den einzelnen Böden sehr unterschiedlich auswirken. Dabei zeigt sich, dass die Pufferung der Bodenlösungen sowohl von Zusatzstoffen als auch von den Bepflanzungen sehr stark beeinflusst werden können. Im Boden "Bachtobel Kontrolle" zum Beispiel wird vom Ausgangs-pH bis zu pH 4 je nach Verfahren fast doppelt soviel Säure verbraucht. Worauf diese Unterschiede beruhen, konnte bis jetzt noch nicht untersucht werden. Die verschiedenen Verfahren wirken sich nicht in allen Böden gleich aus. Zwischen den Bodenfaktoren C - Gehalt, KAK, Kalkgehalt und der Pufferung der Bodenlösung, konnte keine Beziehung nachgewiesen werden.



Zwischen Anfangs-pH und Säurenverbrauch besteht eine enge Beziehung, je höher das Anfangs - pH desto grösser ist die Pufferung im untersuchten Bereich. Dies weist auf ein besonders wirksames Puffersystem im oberen pH Bereich hin.

Graphik 2: Beziehung zwischen Ausgangs pH und Säurenverbrauch bis pH 4,5

## D I S K U S S I O N

Durch verschiedene Einsaatpflanzen und durch Zusatzstoffe wird das Wachstum von Jungreben beeinflusst. Mit den vorliegenden Untersuchungen wurde versucht, diese Beeinflussung mit messbaren Parametern der Schwermetallbewegung im Boden in Beziehung zu setzen. Mit Einsaatpflanzen und mit der Zugabe von Torf wird die Schwermetallbewegung im Boden beeinflusst. Diese Beeinflussung ist aber sehr stark von bisher noch unbekanntem Bodenparametern abhängig. Wie die Resultate zeigen, sind die Beeinflussungen auch starken zeitlichen Veränderungen unterworfen. Weitere Einflussgrößen wie Witterungs- und Temperaturverlauf dürften ebenfalls einen Einfluss auf den SM - Transport im Boden aufweisen. Die starke Abhängigkeit der SM - Toxizität in der Rhizosphäre vom pH ist bekannt. Inwieweit die Pufferung der Bodenlösung dabei eine Rolle spielt muss weiter abgeklärt werden. Trotzdem sind die grossen Einflüsse der Begrünungsverfahren auf die Pufferung der Bodenlösung interessant.

## ZUSAMMENFASSUNG

Einfluss von Bepflanzung und Zusatzstoffen auf den Schwermetallgehalt (Cu) und die Pufferung der Bodenlösung belasteter Rebboöden.

---

In humusarmen, sauren Böden werden Reben durch wesentlich tiefere Schwermetallgehalte geschädigt, als sie in unseren karbonatreichen, alkalischen Böden vorkommen. Unter ungünstigen Witterungsbedingungen wird aber eine als "Rebmüdigkeit" beschriebene Erscheinung beobachtet, die möglicherweise zum Teil durch Schwermetalle verursacht wird. Vor allem Jungpflanzungen, die im stark kontaminierten Obergrund wachsen, sind von dieser Erscheinung betroffen.

Vorversuche in Töpfen zeigten, dass mit Zusatzstoffen wie Torf, Kalk, etc. das Rebenwachstum in kontaminierten Böden beeinflusst werden kann. Ein kausaler Zusammenhang mit der Wirkung von Schwermetallen kann aus einem solchen Versuchsansatz jedoch nicht abgeleitet werden. Die Wirkung von Schwermetallen kann den drei "Teilbereiche" Transport durch den Boden zu den Rebwurzeln (Translokation), der Wirkung in der Rhizosphäre (Transformationen) und der Empfindlichkeit der Pflanzenwurzel zugeordnet werden. In einem ersten Versuch wurde der Einfluss obiger Behandlungen auf den SM-Transport untersucht. Mit Torf behandelte und unterschiedlich bepflanzte Böden wurden in Töpfe eingefüllt. Zu verschiedenen Zeitpunkten wurde Perkulationswasser gewonnen und auf SM (vorläufig nur Cu) untersucht. Gleichzeitig wurde der Einfluss dieser Behandlungen auf die Pufferung der Perkolate gemessen. Die Pufferung der Bodenlösung dürfte einen Einfluss auf die SM-Toxizität haben, weil in einer gut gepufferten Bodenlösung das Rhizosphären pH höher sein dürfte.

## R É S U M É

Des essais préliminaires en pots ont démontré qu'il était possible d'influencer la croissance de la vigne par des apports de certaines matières, par exemple de la tourbe ou de la chaux. Cet essai n'est toutefois pas une preuve d'effets directs des métaux lourds. La manifestation des métaux lourds peut être classée en trois catégories: transport à travers le sol vers les racines (translocation), effets dans la rhizosphère (transformations) et la sensibilité des racines. Dans un premier essai on a étudié l'influence des matières citées plus haut sur la translocation des métaux lourds. Les sols traités à la tourbe ont été mis en pots dans lesquels on a semé différentes plantes. A plusieurs reprises on a analysé l'eau de percolation quant à sa teneur de métaux lourds, en particulier de cuivre. En mêmes temps on a examiné l'effet des traitements sur le tampon des eaux de percolation.

## L I T E R A T U R

SCHALLER, G. and FISCHER, W.F., 1985: Kurzfristige pH-Pufferung von Böden. Z. Pflanzener, Bodenk. 148, 471 - 480.

JÄGGI, W. und OBERHOLZER H.R.

Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau  
Zürich-Reckenholz

## 1. MIKROBIOLOGISCHE AKTIVITÄT WICHTIGER BODENTYPEN

### 1.1 Einleitung

Dichte, Zusammensetzung und Aktivität der Mikroorganismenpopulation eines Bodens sind von den Standortverhältnissen abhängig, wie Klima, Bodeneigenschaften, Vegetation, Bewirtschaftung sowie Immissionen der Zivilisation. Zur Charakterisierung der bodenmikrobiologischen Verhältnisse sind verschiedene Kriterien zu berücksichtigen: 1. Präsenz = Gesamtkeimzahl und Vertretung verschiedener physiologischer Organismengruppen; 2. Potentielle Enzymaktivitäten = Stoffwechselaktivitäten unter Standardbedingungen im Labor; 3. Tatsächliche Stoffumsetzungen = Stoffwechselaktivitäten unter Feldbedingungen; 4. Mikrobielle Biomasse = Aufnahme, Speicherung und Freisetzung von Pflanzennährstoffen sowie zugleich auch die aktive Substanz selbst. Einzelne Untersuchungsergebnisse informieren lediglich über die entsprechenden Teilaspekte. Zur Charakterisierung der bodenmikrobiologischen Verhältnisse als Gesamtheit, als ökologisches System mit all seinen Wechselwirkungen, sind jedoch besonders die Relationen einzelner Werte zu einander von Bedeutung, speziell diejenige von Kohlenstoff- zu Stickstoffumsetzungen.

Die Standortbedingungen bestimmen den Rahmen, innerhalb dem sich das Bodenleben entfalten kann. Ohne Kenntnis der bodenkundlichen und meteorologischen Verhältnisse ist deshalb eine Interpretation der bodenmikrobiologischen Messwerte kaum möglich. Andererseits ist die Kenntnis der bodenbiologischen Vorgänge für das Verständnis der Bodenbildung unerlässlich, denn Klima, Geologie, Topographie und Bewirtschaftung wirken sich über die Tätigkeit der Bodenorganismen auf die Art und Menge der organischen Bodensubstanz, die Bodenstruktur und weitere pflanzenbaulich und ökologisch wichtige Bodeneigenschaften aus. Der Einblick in diese Zusammenhänge trägt dazu bei, wichtige Merkmale der Bodenfruchtbarkeit zu erfassen und Hinweise auf eine optimale landwirtschaftliche Nutzung zu geben.

### 1.2 Laufende Arbeiten

Um zu einer zuverlässigen mikrobiologischen Bodenanalyse zu gelangen, ist es notwendig, die Jahresdynamik in Abhängigkeit der sich stets ändernden Temperatur-, Feuchtigkeits- und Nährstoffverhältnisse zu ermitteln. Vergleichende Untersuchungen unter Feld- und Laborbedingungen können die Bedeutung einzelner Faktoren aufzeigen. Die folgenden Kennwerte werden bestimmt:

- Gesamtkeimzahl und verschiedene Organismengruppen, die an den Kohlenstoff- und Stickstoffumsetzungen beteiligt sind
- Bodenatmung und N-Mobilisierung im Brutversuch (potentielle C- und N-Mineralisierung)
- $\beta$ -Glucosidase- und Proteaseaktivität (potentielle Stoffwechselaktivitäten)
- Zelluloseabbau im Feld- und im Laborversuch als Mass für den Abbau von Ernterückständen
- Mikrobielle Biomasse
- N-Fractionen und gelöster organisch gebundener Kohlenstoff (DOC) als chemisch schnell bestimmbare Vorstufen der Mineralisierung
- Entwicklung und Ertrag der Kulturpflanzen.

### 1.3 Ergebnisse und Diskussion

Ein alpiner Eisenhumuspodsol, Profil MUOTTAS 1 (MÜLLER, 1986), und eine gleyige Braunerde, Ap-Horizont RECKENHOLZ, wurden miteinander verglichen (Tabelle 1 u. 2).

Tabelle 1. Klima, Vegetation und Bewirtschaftung

Profil	Höhe ü.M. m	Vegetations- dauer Monate	Durchschn. Jahrestemp. °C	Mittl. Nieder- schlagsmenge mm	Vegetation bzw. Nutzung	Stickstoff- Düngung kg N/ha
MUOTTAS 1	2520	4	- 1,5	1085	Borstgras- weide	unbestimmt (Harn+Kot)
RECKENHOLZ	442	8	8,9	1050	Zuckerrüben	56 (NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> )

Tabelle 2. Bodenkundliche Untersuchungen

Profil	Hori- zont	Tiefe cm	Ton	Schluff	Scheinb. Dichte g/cm <sup>3</sup>	pH		C <sub>org.</sub> %	N <sub>tot.</sub> mg/g	C/N
			% (min. Feinerde)	%		H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>			
MUOTTAS 1	Ah	0- 3			0,7	4,6	3,9	14,5	11	13,2
	EA	3-17	10,7	15,6	1,25	4,3	3,8	1,3	2	6,5
	Bhs	17-40	7,4	15,9	1,28	4,7	4,2	2,8	2	14,0
RECKENHOLZ	Ap	0-20	35	25	1,27	6,5	5,8	2,1	1,5	14,4

Die meisten Mikroorganismengruppen sind im Profil MUOTTAS 1 weniger häufig vertreten als im Vergleichsprofil RECKENHOLZ (Fig. 1). Die Bakterienpopulationen, welche sich auf Pepton- bzw. Mineralmedium vermehren, sind im Profil MUOTTAS 1 praktisch gleich gross. Dies deutet darauf hin, dass alle hier vorkommenden Bakterien in der Lage sind, sich mit mineralischen Nährstoffen und Glucose als einziger C- und Energiequelle zu vermehren, und daher sehr anspruchslos sind. Mit Ausnahme der Pilze, Nitrit-Oxidanten und Zellulolyten sind die Mikroorganismen im Bhs-Horizont weniger häufig vertreten als in den übrigen Horizonten. Die Ursachen dieser Ausnahmen dürften darin bestehen, dass ein grosser Teil der Zellulolyten Pilze sind, welche in diesem Horizont noch relativ geeignete Lebensbedingungen finden, und dass sich die tiefen pH-Werte im Ah- und EA-Horizont (Tabelle 2) für die Nitrit-Oxidanten ungünstig auswirken.

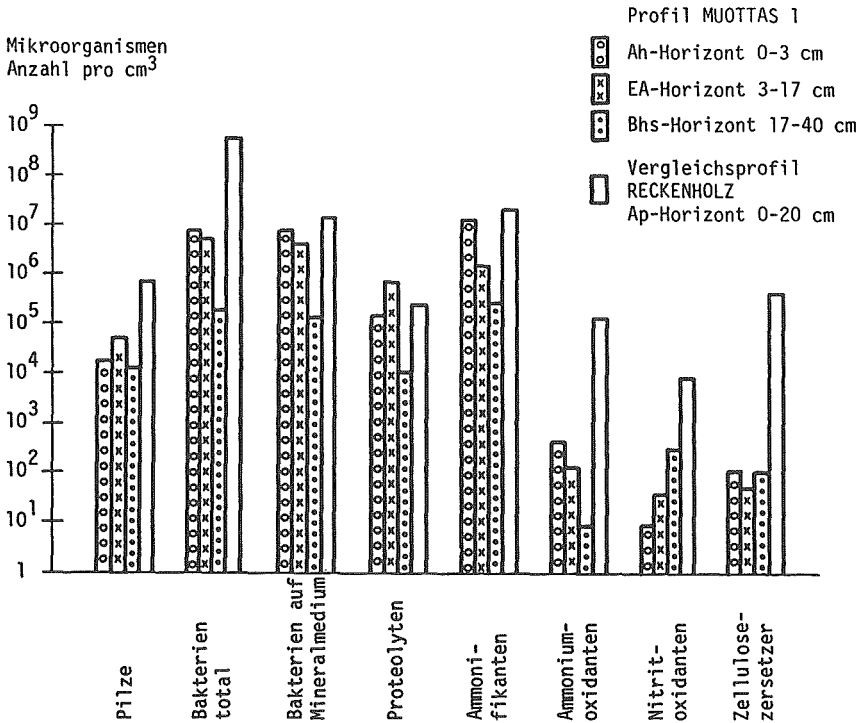
Der Zelluloseabbau im Laborversuch ist im Ah-Horizont des Profils MUOTTAS 1 höher als im Ap-Horizont des Vergleichsprofils RECKENHOLZ (Fig. 2), obschon sich die Organismendichten der Zellulolyten umgekehrt verhalten (Fig. 1). Die Inkubationszeit zur Ermittlung des Zelluloseabbauvermögens dauert mit 4 oder mehr Wochen verhältnismässig lange. In dieser Zeit baut sich eine spezifische Mikroorganismenpopulation mit der Fähigkeit zum Abbau dieses Substrates auf. Deshalb sind offensichtlich die Vermehrungsbedingungen im Ah-Horizont des Profils MUOTTAS 1 günstiger als in allen übrigen untersuchten Horizonten. Unter Feldbedingungen ist hingegen der Zelluloseabbau im ganzen Profil MUOTTAS 1 nur gering. Tiefe Temperaturen, aber auch teilweise Trockenheit dürften dafür verantwortlich sein.

Die Proteaseaktivität als potentiellies Abbauvermögen von Eiweissen ist wiederum im Ah-Horizont des Profils MUOTTAS 1 sehr hoch (Fig. 3). Ebenfalls sehr hoch ist hier die N-Mineralisierungsrate im Laborversuch. Ohne Zugabe von Kleemehl ist hingegen die N-Mineralisierung im Bhs-Horizont desselben Profils sehr niedrig. Diese unterschiedlichen N-Mineralisierungsraten dürften dadurch zu erklären sein, dass im Ah-Horizont erheblich mehr leicht zersetzbare N-Verbindungen vorliegen als im Bhs-Horizont, welche für den Aufbau der Mikroorganismenpopulationen not-

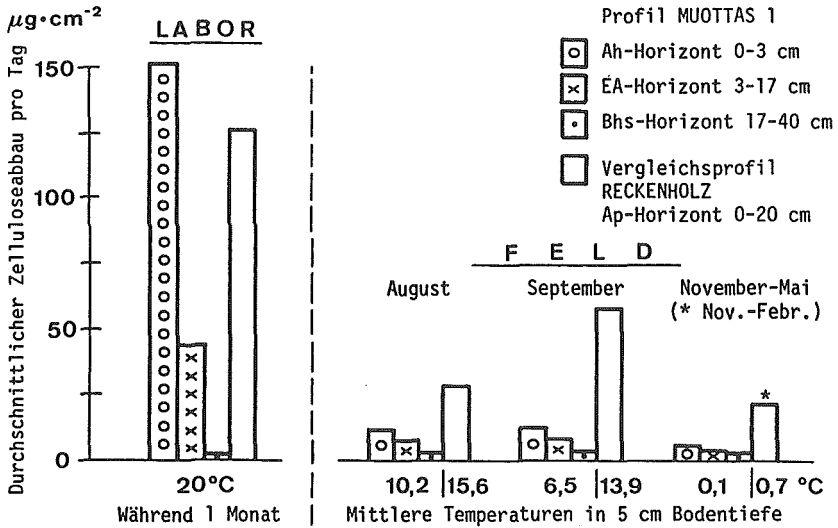
wendig sind. Diese Annahme wird dadurch unterstützt, dass bei Zugabe von Kleemehl die N-Mineralisierungsraten in beiden Horizonten etwa gleich stark ansteigen.

#### 1.4 Folgerungen

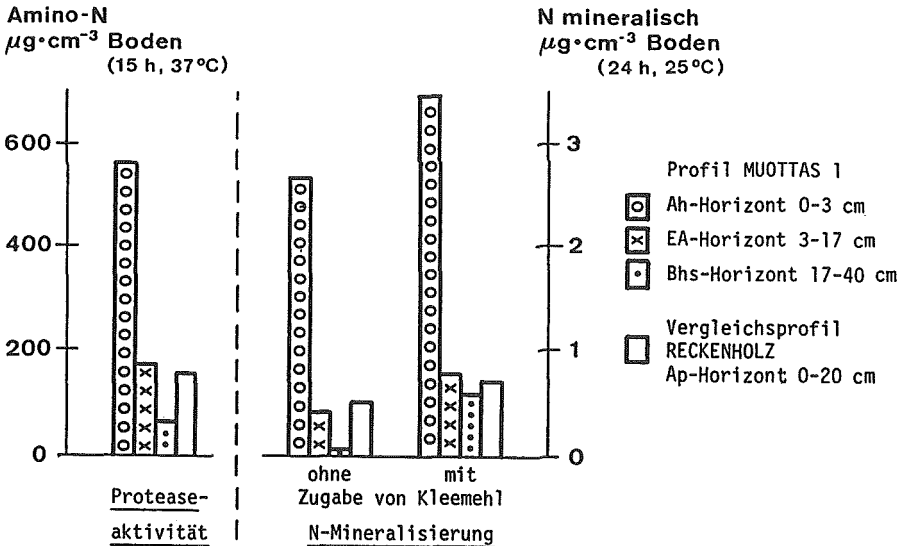
In den Laborversuchen zeigte der Ah-Horizont des Profils MUOTTAS 1 sehr hohe Aktivitäten, obschon die Mikroorganismenpopulationen und der Zelluloseabbau im Feld nicht entsprechend hoch sind. Daraus kann geschlossen werden, dass die Standortbedingungen eine hohe mikrobielle Aktivität verhindern, obschon von der vorliegenden organischen Substanz her die Voraussetzungen dazu vorhanden wären (Tabelle 2). Erst bei andauernd höheren Temperaturen und bei konstanter höherer Feuchtigkeit ist eine solche dann im Labor möglich. Im EA- und im Bhs-Horizont scheint zudem auch eine mangelhafte Verfügbarkeit des Stickstoffs ein limitierender Faktor für die mikrobielle Aktivität zu sein.



Figur 1. Präsenz verschiedener Gruppen von Mikroorganismen im Profil MUOTTAS 1 und im Vergleichsprofil RECKENHOLZ



Figur 2. Zelluloseabbau im Profil MUOTTAS 1 und im Vergleichsprofil RECKENHOLZ während verschiedenen Zeitperioden unter Feldbedingungen sowie in entsprechenden Bodenproben unter Standardbedingungen im Labor.



Figur 3. Proteaseaktivität und Stickstoffmineralisierung in Bodenproben vom Profil MUOTTAS 1 und vom Vergleichsprofil RECKENHOLZ unter Standardbedingungen im Labor.



## 2. MIKROBIELLE N-MOBILISIERUNG IM BODEN

### 2.1 Einleitung

Zur richtigen Bemessung der Stickstoffdüngung ist es notwendig, das N-Nachlieferungsvermögen des betreffenden Bodens zu kennen. Während es mit der sogenannten N-Min-Methode möglich ist, den Bodenvorrat an mineralischem Stickstoff in einem bestimmten Zeitpunkt festzustellen, fehlt heute noch eine praxiserrechte Methode zur Erfassung des N-Nachlieferungsvermögens während der Vegetationsperiode. Das Ziel dieser Arbeiten besteht daher darin, einen Kurzzeit-Test zur Messung der Stickstoffnachlieferung von Böden auszuarbeiten.

Das Ausmass der N-Mineralisierung ist von der Menge und von der Art der organischen Bodensubstanz, vom C/N-Verhältnis sowie von den Temperatur-, Luft- und Wasserverhältnissen abhängig. Da der Witterungsverlauf nicht im voraus bekannt ist, geben Laboruntersuchungen lediglich potentielle Werte, deren Relation zur tatsächlichen N-Mobilisierung unter Feldbedingungen in einem weiteren Schritt abgeklärt werden muss.

### 2.2 Laufende Arbeiten

In N-Steigerungsversuchen der Sektion Pflanzenernährung wird durch regelmässige N-Min-Untersuchungen und die Erfassung des N-Entzuges durch die Kulturen die tatsächliche N-Mobilisierung im Feld möglichst exakt bestimmt, ohne dass jedoch allfällige N-Verluste durch Auswaschung und Denitrifikation gemessen werden können.

Zur Zeit werden die folgenden Methoden zur Bestimmung der potentiellen N-Mobilisierung dieser Böden geprüft:

- N-Mobilisierung im Brutversuch unter Standardbedingungen (Zunahme des Nitratgehaltes)
- Mikrobielle Biomasse (N-Festlegung bzw. N-Speicher und später teilweise wieder N-Freisetzung sowie aktive Substanz der N-Mobilisierung)
- N-Fractionen (leicht mineralisierbare N-Verbindungen)
  - . N-HWL = heisswasserlöslicher Stickstoff
  - . N-SKP = mit saurer Kaliumpermanganatlösung extrahierbarer Stickstoff
  - . N-EUF = durch Elektro-Ultrafiltration extrahierbarer Stickstoff

### 2.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Analysenergebnisse verschiedener Standorte unterschieden sich zum Teil sehr stark; am gleichen Standort ergaben sich jedoch praktisch keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Düngungsverfahren; im Juni lagen die Werte teilweise etwas höher als zu den übrigen Untersuchungszeitpunkten. Zwischen N-HWL und N-SKP bestand eine signifikante Korrelation. Zu den mikrobiologischen Messwerten (N-Mobilisierung im Brutversuch und mikrobielle Biomasse) bestand ebenfalls ein enger Zusammenhang. Das Verhältnis der Resultate der verschiedenen Untersuchungsmethoden zu einander kann jedoch von Boden zu Boden verschieden sein. Aufgrund der Berechnung der N-Bilanzen ergab sich für das Jahr 1985 eine N-Mobilisierung unter Feldbedingungen von 20-50 kg N/ha und für das Jahr 1986 von 40-80 kg N/ha. Um die Eignung der einzelnen Methoden zur Vorhersage der N-Nachlieferung zu beurteilen, sind noch weitere Untersuchungen und detailliertere Auswertungen notwendig.

## 3. BIOLOGISCHE N-BINDUNG IN VERSCHIEDENEN BOEDEN

### 3.1 Einleitung

Einige Bakterienarten sind die einzigen Lebewesen mit der Fähigkeit, Luftstickstoff ( $N_2$ ) zu binden. Dadurch stellen sie einen wichtigen Bestandteil des Ökosystems Boden-Pflanze dar, indem sie die einzige natürliche Möglichkeit bieten,

um N-Defizite durch die Ernte und N-Verluste durch Denitrifikation wieder auszugleichen. Aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit und ihrer weiten Verbreitung hat dabei die Symbiose von Rhizobium mit Leguminosen die grösste Bedeutung.

Der Leguminosenertrag ist das Interaktionsprodukt der Faktoren Genotyp der Pflanze x Genotyp des Rhizobiums x Umweltbedingungen. Die Rhizobiumarten sind pflanzenspezifisch. Lange nicht alle Rhizobien derselben Art können jedoch mit jeder potentiellen Wirtspflanze eine Symbiose eingehen, denn die Genotypen der beiden Partner müssen individuell zu einander passen. Des weitern weisen auch nicht alle Knöllchen derselben Pflanze ein gleich hohes N-Bindungsvermögen auf, sehr viele können ineffektiv sein. Ueber die Rhizobienpopulationen unserer Landwirtschaftsböden und ihre Symbioseeseigenschaften ist noch sehr wenig bekannt.

### 3.2 Laufende Arbeiten

Rhizobien lassen sich nur aufgrund ihrer Fähigkeit zur Knöllchenbildung von anderen Bodenbakterien unterscheiden. Ihre Populationsdichte wird deshalb mit der most probable number - Methode unter Verwendung ausgewählter Leguminosenpflanzen ermittelt.

Die Leistungsfähigkeit einer Rhizobienpopulation unter den gegebenen bodenchemischen Verhältnissen wird unter standardisierten Licht-, Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen in Gefässversuchen mit einem Boden-Sand-Gemisch untersucht. Knöllchenbildung, Nitrogenaseaktivität und Pflanzenertrag werden bestimmt.

Die Leistungsfähigkeit von Rhizobien ohne Einfluss der bodenchemischen Verhältnisse wird in Nährlösungskulturen geprüft, wobei einzelne Rhizobiumisolate oder Rhizobienpopulationen als Bodenfiltrat zugesetzt werden. Auf diese Weise gelangen ausschliesslich die Symbioseeseigenschaften der Knöllchenbakterien und der Pflanze zum Ausdruck.

Mit Hilfe dieser Methoden wird versucht, die Eignung verschiedener Böden für den Leguminosenanbau zu beurteilen, bzw. die Ursachen für entsprechende Probleme zu finden.

### 3.3 Ergebnisse und Diskussion

Zur Untersuchung des Einflusses einzelner Faktoren wurden Ackerbohnen, Erbsen und Rotklee verwendet. Ohne N-Düngung war das Wachstum dieser Pflanzen praktisch ausschliesslich vom Ausmass der biologischen N-Bindung abhängig. In den meisten ackerbaulich genutzten Böden der Schweiz scheinen genügend leistungsfähige Rhizobien vorhanden zu sein, damit das Ertragspotential der verschiedenen Leguminosen voll ausgeschöpft wird.

Von den Bodeneigenschaften wirkte sich der pH-Wert am stärksten auf die Symbioseleistung aus; pH-Werte zwischen 6 bis 7,5 erwiesen sich als optimal, unterhalb pH 5,6 waren die Ergebnisse sehr schlecht. Auch bei sauren Bedingungen können viele Rhizobien und Wurzelknöllchen vorhanden sein, wobei aber nur wenige eine gute Leistung zeigen. Durch Anreicherung leistungsfähiger Rhizobien konnten die N-Bindung und der Pflanzenertrag jedoch erheblich verbessert werden.

Der Genotyp der Pflanze bestimmt sowohl, mit welchen Rhizobien eine Symbiose möglich ist, als auch in einem gewissen Umfang das Ausmass der N-Bindung. Dies zeigte sich bei Klee besonders deutlich. Bei der Pflanzenzüchtung ist deshalb zu beachten, dass die leistungsfähigen Rhizobien als Symbionten bevorzugt werden (OBERHOLZER, 1984).

### Literatur

MÜLLER, M., 1986: Soils above the timberline in the upper Engadin. Mittelln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 48, 107-120.

OBERHOLZER, H.R., 1984: Untersuchungen über die biologische Stickstoffbindung bei Ackerbohnen. Mitt. Schweiz. Landw. 32, 181-196.

EINFLUSS VON VA-MYCORRHIZA-PILZEN AUF DIE AUFNAHME UND  
VERTEILUNG DER SCHWERMETALLE Cd und Zn in LACTUCA SATIVA

---

BARBARA DEHN, HANS STICHER UND HANNES SCHÜEPP

Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau,  
8820 Wädenswil und Labor für Bodenchemie, Institut für  
Lebensmittelwissenschaft der ETHZ, 8092 Zürich.

## 1. EINLEITUNG

### 1.1. Zur VA-Mycorrhiza

In ihrer natürlichen Umwelt leben die meisten unserer Kultur- und Wildpflanzen in einer Lebensgemeinschaft mit Mycorrhiza-Pilzen. Die vesikulär-arbuskuläre Mycorrhiza (VAM), eine Symbiose zwischen Pflanzenwurzeln und Pilzen aus der Familie der Endogonaceen (Zygomyceten), stellt dabei eine besonders intensive symbiontische Lebensgemeinschaft dar, die nach Schätzungen von Pyrozinski (1981) bei 80-90 % aller auf dem Land lebenden Kormophyten anzutreffen ist. Die Symbiose findet sich bei fast allen Familien der höheren Pflanzen und selbst in niederen Pflanzengruppen, wie den Bryophyten und Pteridophyten, was auf ihr hohes entwicklungsgeschichtliches Alter hinweist. Die geringe Wirtsspezifität der Pilze, ihre weite Verbreitung in vielen Bodentypen und Klimazonen und nicht zuletzt ihr grosser Anteil an der mikrobiellen Biomasse im Boden, macht sie zu einem bedeutenden Bestandteil der pflanzlichen Rhizosphäre.

Die VA-Mycorrhiza-Pilze bilden ein lockeres Geflecht von Mycel-fäden (extraradikales Mycel) um eine Wirtswurzel herum, bei dem die Hyphen mehrere Zentimeter von der Wurzel entfernt den Boden explorieren und die Funktion von Wurzelhaaren innehaben. Daneben kommt es zu einer intensiven Besiedelung des Wurzelcortex durch das reichverzweigte endogene Mycel. Als symbiontischer Lebenspartner dringt der Pilz jedoch nicht in die Endodermis und das zentrale Leitgewebe ein. In den Zellen der inneren Rindenschichten werden die charakteristischen Arbuskeln als hoch spezialisierte Kontaktorgane zur Wirtspflanze und die Vesikel ausgebildet. Die Arbuskeln besitzen eine hohe Stoffwechselaktivität und sind reich an Proteinen und Enzymen, während die Vesikel der Speicherung von Nähr- und Schadstoffen dienen.

### 1.2. Physiologische Aspekte der Symbiose

Die hohe Kompatibilität der Symbiose kommt in einer Vielzahl von wechselseitigen Stoffwechseleinflüssen der Partner zum Ausdruck. Im allgemeinen fördert die Mycorrhiza-Symbiose die Entwicklung und Vitalität der Wirtspflanze durch folgende Faktoren:

- Verbesserte Nährstoffadsorption insbesondere von Phosphat und anderen durch die Bodeneigenschaften stark fixierten Elementen (Hayman und Mosse 1972, Jensen 1982).
- Transport des Phosphats und andere Nährstoffionen über aktive Mechanismen vom Pilz zur Pflanze (Cox und Tinker 1976).
- Stimulierung von Stoffwechselprozessen über hormonale und physiologische Wege (Dehne 1986).
- Verminderte Anfälligkeit gegenüber Wurzelkrankheiten (Schönbeck 1979).
- Erhöhte Widerstandsfähigkeit gegenüber Stressfaktoren wie Trockenheit, Temperatur, Versalzung, Nährstoffmangel (Moawad 1979).
- Filterwirkung gegenüber Schwermetallen (Schüepp et al. 1987) und eventuell anderen bodenbürtigen Schadstoffen.

### 1.3. Problemstellung

Das Lösungsverhalten von Schwermetallen im Boden und ihre biologische Verfügbarkeit für die Pflanzen wird einerseits von den chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften und dem Konkurrenzverhalten der Schwermetallen untereinander und andererseits von biologischen Prozessen im rhizosphären Bereich bestimmt.- Die Hyphen der VA-Mycorrhiza-Pilze stellen den grössten Teil der Bodenmikroflora in der pflanzlichen Rhizosphäre dar. Verbunden mit ihrer rein adsorptiven Ernährungsweise wird durch das extraradikale Pilzmycel eine optimale Raumdurchdringung und eine im Vergleich zu ihrem Vegetationskörper grosse Oberfläche angestrebt. Freigesetzte Schwermetallionen in der Bodenlösung können daher an diesen Oberflächen über funktionelle Gruppen adsorbiert werden. Da Pilzzellen allgemein ein hohes Akkumulationsvermögen für Schwermetalle besitzen (Kuusi et al. 1981) und diese an Zellwandsubstanzen binden (Ashida et al. 1963), soll geprüft werden, ob Mycorrhiza-Pilze die Pflanzenaufnahme von Schwermetallen durch Adsorption und selektive Akkumulation in Mycelteilen beeinflussen können.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

Es wurden Gefäßversuche mit drei verschiedenen VA-Mycorrhiza-Pilzstämmen und zwei unterschiedlich belasteten Bodentypen durchgeführt. Die Pilzisolat waren folgende:

Code	Stamm	Herkunft
D 13	<u>Glomus fasciculatum</u> Gerd. & Trappe	Deutschland
T 6	<u>Glomus etunicatum</u> Becker & Gerd.	Tunesien
Gl 1	<u>Glomus mosse</u> Nicol. & Gerd.	Schweiz

Als Wirtspflanze wurde Salat: Lactuca sativa L var. capitata, Sorte Ravel verwendet. Die Versuchsböden stammten aus einem längjährigem Bodenkontaminationsversuch mit Klärschlamm und Kompostsubstraten.

Verfahren A bestand aus einem Klärschlamm-behandeltem Boden mit hohen Schwermetallgehalten; pH: 7.0,

NH<sub>4</sub> OAc-EDTA-Extrakt: Cadmium 5.02 mg/kg      Zink 309.7 mg/kg

und Verfahren B aus einem Rindermist-gedüngtem Boden mit niedrigen Gehalten; pH: 6.5,

NH<sub>4</sub> OAc-EDTA-Extrakt: Cadmium 0.27 mg/kg      Zink 8.7 mg/kg.

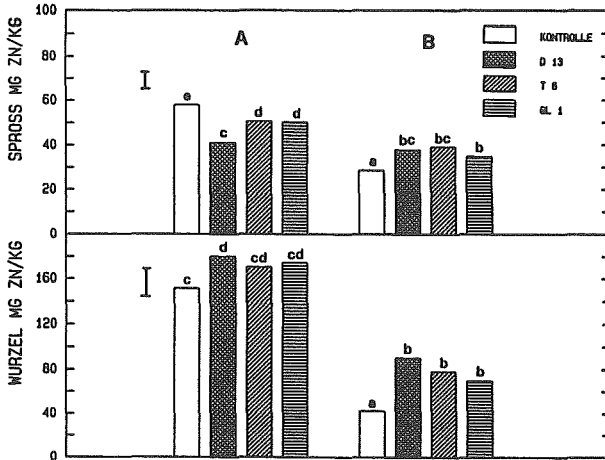
Die verwendeten Böden wurden durch eine chemische Behandlung mit Basamid (Dazomet) sterilisiert und die semi-steril gekeimten Salatsetzling im Alter von 2 Wochen mit dem jeweiligen Mycorrhiza-Pilz inokuliert, während die Kontrollen mit mycorrhiza-freien Bodenextrakten versehen wurden. Nach einer Kulturdauer von 8 Wochen im Gewächshaus wurden die Salatpflanzen geerntet und getrennt nach Spross und Wurzel für jedes Pilzisolat untersucht. Eine Trennung von VAM-Pilz und Wurzel war auf Grund der Morphologie der Symbiose nicht möglich.

## 3. RESULTATE UND DISKUSSION

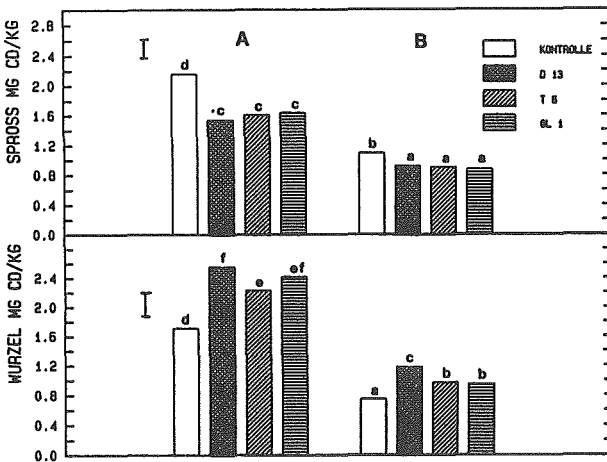
Der Einfluss der VA-Mycorrhiza auf die Konzentrationen an Zink und Cadmium in Wurzeln und oberirdischen Pflanzenteilen wurde im Hinblick auf die Befallsintensität der Pflanzen untersucht. In den Wurzelsystemen wurde der Gesamtproteingehalt und das Aminosäurespektrum ionen-chromatographisch bestimmt.

Die Entwicklung der Mycorrhiza-Pilze war durch die Schwermetallkonzentrationen im Substrat nicht nennenswert beeinflusst, insbesondere die gegenüber hohen Nährstoffgehalten toleranten Isolate D 13 und T 6 zeigten keine Reduktion im Befall.

Andererseits hatte die Symbiose mit den VA-Mycorrhiza-Pilzen einen deutlichen Einfluss auf die Schwermetallaufnahme der Wirtspflanze. In den oberirdischen Teilen infizierter Pflanzen war die Schwermetallkonzentration bei hohen Substratgehalten an Zink und Cadmium deutlich reduziert gegenüber den pilzf freien Kontrollen. In den Wurzelsystemem führte die VAM-Infektion dagegen bei allen Verfahren zu höheren Schwermetallgehalten Fig.1+2.

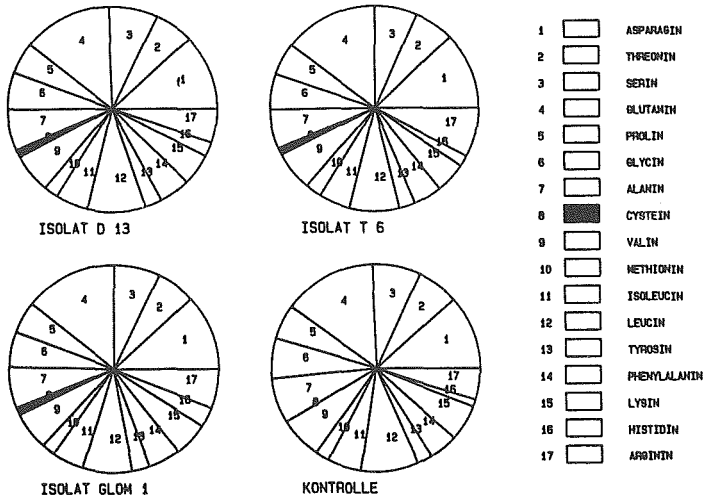


Figur 1: Einfluss der VA-Mycorrhiza auf die Zinkkonzentration in Spross und Wurzel von *Lactuca sativa* in den beiden Substraten A und B, nach Inokulation der Pflanzen mit den VAM-Isolaten D 13, T 6 und G1 1; Kontrollpflanzen ohne Pilzpartner. Verschiedene Buchstaben über den Säulen kennzeichnen gesicherte Unterschiede im Duncan-Test, ( $p = 0.05$ )



Figur 2: Einfluss der VA-Mycorrhiza auf die Cadmiumkonzentration in Spross und Wurzel von *Lactuca sativa* in den beiden Substraten A und B, nach Inokulation der Pflanzen mit den VAM-Isolaten D 13, T 6 und G1 1; Kontrollpflanzen ohne Pilzpartner. Verschiedene Buchstaben über den Säulen kennzeichnen gesicherte Unterschiede im Duncan-Test, ( $p = 0.05$ )

Dieser Effekt war beim Element Cadmium signifikant verschieden gegenüber den mycorrhiza-freien Kontrollen. Die erhöhten Schwermetallkonzentrationen in Mycorrhiza-Wurzeln lassen sich durch eine verstärkte Retention der Metalle im Wurzelbereich verpilzter Pflanzen erklären. Die Akkumulation kann durch eine Komplexierung der Metalle innerhalb oder auf der Oberfläche der Pilzhyphen erfolgen. Die Bindung von Schwermetallen an die Oberflächen von Algen über funktionelle Gruppen der Zellwände wird auch durch Xue und Mitarbeiter (1988) beschrieben. Damit kann in stark infizierten Mycorrhiza-Wurzeln durch die Gegenwart eines resistenten Endophyten die Anzahl der Metallbindungsstellen durch die grosse Oberfläche schwermetall-akkumulierender Pilzzellwände beträchtlich erhöht werden.



**Figur 3:** Aminosäuremuster in % von Salatwurzelextrakten nach Inokulation der Pflanzen mit den VA-Mycorrhiza-Isolaten (D 13, T 6 und G1 1) und Kontrollpflanzen ohne Pilzinfektion. Die Aminosäure Cystein ist durch schwarze Farbe hervorgehoben.

Durch die Mycorrhiza-Bildung nahm nicht nur der Gesamtprotein-gehalt der Wurzelsysteme, sondern insbesondere der Anteil der SH-haltigen Aminosäure Cystein (Fig.3) zu. Cystein-haltige Moleküle spielen bei der biologischen Komplexierung von Schwermetallionen eine wichtige Rolle (Lerch 1980).

#### 4. SCHLUSSFOLGERUNG

Mycorrhiza-Pilze beeinflussen die Schwermetallkonzentration in den verschiedenen Pflanzenteilen von *Lactuca sativa*. Während in der Wurzel die Mycorrhiza zu einer Konzentrationserhöhung der Schwermetalle Cadmium und Zink führt, nehmen die Gehalte in den oberirdischen Teilen von Mycorrhiza-Pflanzen bei Schwermetallbelastung ab. Eine Komplexierung der Metalle an den Pilzzellwänden durch cysteininhaltige Liganden von Proteinen, kann den Transport der Metalle in den Spross der Pflanze reduzieren. Die VA-Mycorrhiza kann daher bei hohen Schwermetallgehalten eine gewisse Filterfunktion gegenüber dem Boden ausüben.

#### 5. LITERATUR

- ASHIDA, J., HIGASHI, N. and KIKUCHI, T., 1963: An electron-microscopic study on copper precipitation by copper-resistant yeast cells. *Protoplasma* 57, 27-32.
- COX, G. and TINKER, P.B., 1976: Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytol.* 77, 371-378.
- DEHNE, H.W., 1986: Influence of VA mycorrhizae on host plant physiology. In: *Physiological and genetical aspects of mycorrhizae*, (ed. Gianinazzi-Pearson, V. and Gianinazzi, S.), pp. 431-435. INRA, Paris.
- HAYMAN, D.S., and MOSSE, B., 1972: Plant growth responses to vesicular-arbuskular mycorrhiza: III. Increased uptake of labile P from soil. *New Phytol.* 71, 41-47.
- JENSEN, W.A., 1982: Influence of four vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on nutrient uptake and growth in barley (*Hordeum vulgare*). *New Phytol.* 90, 45-50.
- KUUSI, T., LAAKSOVIRTA, K., LIUKKONEN-LIIJA, H., LODENIUS, M. and PIEPPONEN, S., 1981: Lead, cadmium and mercury contents of fungi in Helsinki area and in unpolluted control areas. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 173, 261-267.
- LERCH, K., 1980: Copper methallothionein, a copper binding protein from *Neurospora crassa*. *Nature* 284, 368-370.
- MOAWAD, A.M., 1979: Ecophysiology of VA mycorrhiza in the tropics. In: *The soil-root interface* (ed. Harley, J.L. and Russel, R.S.), pp. 197-209. Academic Press, London.
- PYROZINSKI, K.A., 1981: Interactions between fungi and plants through the ages. *Can. J. Bot.* 59, 1824-1827.
- SCHÖNBECK, F., 1979: Endomycorrhiza in relation to plant diseases. In: *Soil-borne plant pathogens* (ed. Schippers, B. and Gams, W.), pp. 271-280. Academic Press, London.
- SCHÜEPP, H., DEHN, B. and STICHER, H., 1987: Interaktionen zwischen VA-Mycorrhizen und Schwermetallbelastungen. *Angew. Botanik* 61, 85-96.
- XUE, H.B., STUMM, W. and SIGG, L., 1988: The binding of heavy metals to algae surface. *Water Research* (in press).



## EINE NEUE METHODE ZUR UNTERSUCHUNG DER BESIEDLUNG DES BODENS DURCH VESICULÄRE-ARBUSCULÄRE MYKORRHIZA-PILZE

---

HANNES SCHÜEPP, DIANE DOUD MILLER und MAJA BODMER  
Eidgenössische Forschungsanstalt, 8820 Wädenswil

### EINLEITUNG

Die Vesikulären-Arbuskulären Mykorrhizen (VAM) stellen ein allgemein verbreitetes, hoch spezialisiertes, symbiontisches Pilz-Wurzel-System dar und kommen, mit wenigen Ausnahmen, bei sämtlichen Kultur- und Wildpflanzen und in allen klimatischen und geographischen Regionen vor. Auch in landwirtschaftlich intensiv genutzten, mit Stickstoff und Phosphor gut versorgten Flächen, sind die VAM regelmässig anzutreffen.

In der Pflanzenwurzel bilden die Mykorrhiza-Pilze neben dem ausgedehnten Myzel auch die sogenannten Arbuskeln (Bäumchen) zum Austausch der Nährstoffe und als Speicherorgane die sogenannten Vesikeln (Bläschen). Den Boden durchwächst der Pilz sowohl mit dicken Hyphen als auch mit feinem Myzel. Er bildet in den Wurzeln, besonders aber im Boden, grosse, oft sehr zahlreiche Sporen, um über lange Zeiten überdauern zu können. Die VAM-Pilze bilden wohl weitaus den grössten Teil der mikrobiellen Biomasse in Wurzeln und Boden. Die rasche Vermehrung des Pilzgewebes in- und ausserhalb der Wurzeln und deren Abbau (Mineralisierung) durch die Bodenmikroorganismen stellen als dynamischer Zyklus ein besonders wichtiges Phänomen der biologischen Bodenaktivität dar.

Die Bedeutung der VA-Mykorrhizen bei den Stoffkreisläufen im Boden ist noch wenig untersucht. In vielen Böden und Gegenden konnte zwar gezeigt werden, dass diese Pilze die Phosphataufnahme der Pflanzen in ungenügend versorgten Böden wesentlich verbessern (Hayman und Mosse 1971, Hattingh et al. 1973). Den Mykorrhizen kommt auch eine wesentliche Rolle zu bei der Aufnahme von Schwermetallen durch die Pflanzen (Schüepp et al. 1987).

Allgemein wird angenommen, dass die Mykorrhiza-Pilze in erster Linie die von der Pflanze in die Wurzeln verlagerten Kohlenhydrate als Kohlenstoffquelle nutzen. Noch kaum erforscht sind die kompetitiv-saprophytischen Fähigkeiten der pilzlichen Mykorrhiza-Partner im Bodenökosystem, das heisst die Frage, ob und in welchem Ausmass sie im Boden vorhandenes organisches Material abbauen und verwerten können.

Auch die Bedeutung der Mykorrhizen im Kreislauf des Stickstoffes wurde bis anhin wenig beachtet. Die Biomasse der Mykorrhiza-Pilze ist reich an Stickstoff; allein das in den Zellwänden vorhandene Chitin weist einen beträchtlichen Stickstoffgehalt auf. Der Auf- und Abbau dieser pilzlichen Biomasse bedeutet eine wesentliche Festlegung, respektive Mineralisierung des Stickstoffes und beeinflusst somit den N-min-Gehalt des Bodens.

Das den Boden durchwachsende Pilzmyzel trägt wesentlich zur Verbesserung der Bodenstruktur bei und erhöht die Krümelstabilität. Dies bestätigen Untersuchungen von Sutton und Sheppard (1975) und Pacioni (1986), die eine Stabilisierung von Sand-

böden durch das Myzel von VAM-Pilzen zeigen konnten. Die in dieser Arbeit beschriebene, neue Methode eignet sich, um das Verhalten und die Bedeutung der VAM-Pilze im wurzelfreien Boden in standardisierten Experimenten zu untersuchen.

## MATERIAL UND METHODEN

Als VAM-Pilz wurde ein Isolat von *Glomus mosseae* Gerd. & Trappe aus einem Kleefeld im Areal der Forschungsanstalt Wädenswil verwendet. Der Boden, ein sandiger Lehm mit niedrigem organischem Gehalt und pH 5.9, stammte aus einer ungedüngten Parzelle

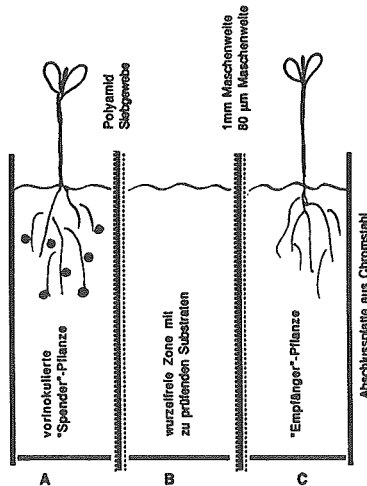
eines Versuchsfeldes im "Hessen" ob Wädenswil.

Um die Ausbreitung des Myzels der Mykorrhiza-Pilze ausserhalb der Wurzeln und den Grad der Bodenbesiedlung zu untersuchen, wurde ein Küvettensystem entwickelt, das bewurzelte und wurzelfreie Bodenschichten in beliebiger Kombination anordnen lässt (Schüepp et al. 1987).

Den Boden und die schmalen Wände der Küvetten bildet ein U-förmiges Chromstahlblech, während ein Sandwich aus drei Polyamidgeweben als breite Seitenflächen dient. Ein feines Gewebe mit einer Maschenweite von 80 µm wird beidseitig durch ein Gewebe von 1 mm Maschenweite verstärkt. Das feine Polyamidnetz wird von den Wurzeln nicht durchwachsen, während das Pilzmyzel dieses ungehindert passieren kann (Fig. 1).

Von den in einer ersten Küvette (A) wachsenden, mit einem VAM-Pilz inokulierten Pflanzen, den sogenannten "Spender"-Pflanzen, kann der Mykorrhiza-Pilz die angrenzende, wurzelfreie Küvette (B) durchwachsen und die Pflanzen in einer dritten Küvette (C), die sogenannten "Empfänger"-Pflanzen infizieren. Die Zeit, die der VAM-Pilz braucht, um die wurzelfreie Zone zu durchwachsen, muss durch laufende Kontrollen von "Empfänger"-Pflanzen bestimmt werden. Je nach Versuchsfrage lässt sich das Küvettensystem beliebig erweitern und kombinieren.

Die verwendeten Bodenproben sind chemisch oder durch Gammabestrahlung zu sterilisieren, um die natürlich vorhandenen VAM-Pilze abzutöten. Die Mykorrhiza-Bildung wird nach Aufhellung der Wurzeln mit KOH und Anfärbung der Pilzstrukturen mit Trypanblau sichtbar gemacht und. Der Grad der Mykorrhisierung wird nach der von Bodmer und Mitarbeitern (1986) beschriebenen Methode bestimmt.



● Inokulum des Mykorrhiza-Pilzes

FIG. 1:

Küvettensystem mit wurzelfreier Zone als Durchwachstest für Mykorrhiza-Pilze

## RESULTATE

Im ersten Versuch wurde der Einfluss von 5, 50 und 500mg Cu pro kg Boden auf die Ausbreitung des Myzels von *Glomus mosseae* in wurzelfreiem Boden untersucht (Fig.2). Das Kupfer wurde als Kupfersulfat mit einem Chromatographiesprayer homogen in die Bodenprobe eingebracht und diese unmittelbar danach in die Küvette B (wurzel-freie Küvette) eingefüllt. Die Mykorrhisierung wurde bei "Spender"- und "Empfänger"-Pflanzen 6 beziehungsweise 12 Wochen nach Inokulation der "Spender"-Pflanzen ermittelt. Bereits 6 Wochen nach Versuchsbeginn hatte der Pilz die wurzelfreie Zone bei 0 und 5mg Cu pro kg Boden durchwachsen und bei allen "Empfänger"-Pflanzen fast den selben Befallsindex wie bei den "Spender"-Pflanzen erreicht. Bei 50 und 500mg Cu pro kg Boden war jedoch die Ausbreitung des Pilzmyzels gehemmt und die "Empfänger"-Pflanzen zeigten erst nach 12 Wochen Inkubationszeit eine schwache Mykorrhizenbildung.

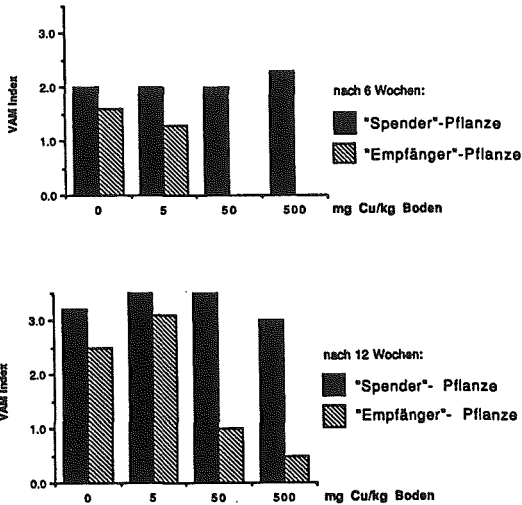


Fig. 2: Besiedlung der Wurzeln von Apfelsämlingen der Sorte Golden Delicious mit dem Mykorrhiza-Pilz *Glomus mosseae* (VAM Index), 6 bzw. 12 Wochen nach dem Inokulieren.

"Empfänger"-Pflanze durch eine 2 cm dicke Bodenschicht (wurzelfreie Zone, Fig. 1) mit verschiedenen CU-Konzentrationen von der "Spender"-Pflanze getrennt.

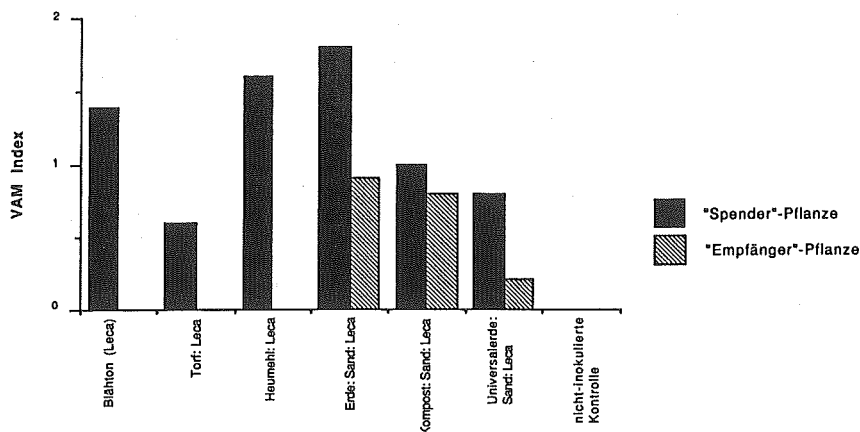


Fig. 3: Besiedlung der Wurzeln von *Trifolium alexandrinum* mit dem Mykorrhiza-Pilz *Glomus mosseae* (VAM Index), 5 Wochen nach dem Inokulieren.

"Empfänger"-Pflanze durch eine 2 cm breite wurzelfreie Zone (Cuvette B, Fig. 1) mit verschiedenen Substraten und Bodenproben von der "Spender"-Pflanze getrennt.

Figur 3 zeigt das Durchwachsvermögen des Pilzmyzels von *Glomus mosseae* durch eine 2 cm breite wurzelfreie, mit verschiedenen Substraten und Bodenproben gefüllte Küvette. Die Küvetten A und C mit den "Spender"- und "Empfänger"-Pflanzen waren einheitlich mit der Mischung, Erde:Sand:Leca, gefüllt, um eine reproduzierbare Ermittlung der Mykorrhisierung sicher zu stellen. Je nach dem in Küvette B untersuchten Substrat ergaben sich somit jedoch im Bereich der die Küvetten trennenden Polyamidgewebe abrupte Uebergänge bezüglich pH, Bodenstruktur und Feuchtigkeit, die möglicherweise für den Pilz eine unüberwindbare Barriere darstellte. Weitere vergleichende Untersuchungen mit diesem Küvetten-system über die Myzelausbreitung in verschiedenen Substraten oder unterschiedlich behandelten Bodenproben müssen so angelegt werden, dass die einzelnen Komponenten voneinander getrennt zu erfassen sind.

## DISKUSSION

Die hier beschriebene Methode ermöglicht, das Durchwachsvermögen von VAM-Pilzen durch verschiedene Bodentypen und Substrate zu bestimmen. In wurzelfreien Küvetten lässt sich das kompetitiv-saprophytische Wachstum von VAM-Pilzen im Boden in Abhängigkeit von Menge und Beschaffenheit des organischen Materials untersuchen.

Auch die Intensität der Besiedlung des wurzelfreien Bodens durch VAM-Pilze lässt sich in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften und der Eignung der inter- und intraspezifischen sehr variablen Pilzisolat ermitteln. Dabei kann die Bestimmung des Chitins

und der Eignung der inter- und intraspezifischen sehr variablen Pilzisolat ermitteln. Dabei kann die Bestimmung des Chitins oder des ATP in der wurzelfreien Zone Aufschluss über die zusätzliche, von VAM-Pilzen gebildete Biomasse und deren Auswirkungen auf die Bodenstruktur und die Krümelstabilität geben. Das Küvettensystem wird sich auch für Untersuchungen mit  $^{15}\text{N}$  eignen, um die Bedeutung der Mykorrhizen beim Transport und bei der Festlegung beziehungsweise Mineralisierung des Stickstoffes zu klären.

Die Methode eignet sich auch, wie die oben dargelegten Resultate zeigen, um allfällige Nebenwirkungen xenobiotischer Stoffe auf Mykorrhiza-Pilze reproduzierbar und von der Pflanze losgelöst zu testen.

**RESUME:** NOUVELLE METHODE POUR EVALUER LA COLONISATION DU SOL PAR DES HYPHES DE MYCORRHIZES VA

Par cette nouvelle méthode, l'activité des hyphes de mycorrhizes VA doit être étudiée dans des zones du sol sans racines. Elle consiste dans un système de cuvettes séparées l'une de l'autre par des textures polyamides avec une largeur de maille de 80  $\mu\text{m}$ . Les racines des plantes sont enfermées dans des cuvettes, cependant les hyphes de mycorrhizes peuvent passer librement dans des cuvettes voisines sans racines.

En ce qui concerne la pénétration, la colonisation et l'activité du champignon de mycorrhizes VA, la méthode rend possible de comparer la capacité des différentes souches de champignons de mycorrhizes VA et l'influence des types variés de sols. Les résultats présentés dans ce travail montrent que ce système de cuvettes convient pour étudier les effets des xénobiotiques sur les hyphes des champignons dans le sol séparé des racines.

**LITERATUR**

- BODMER MAJA, GUI SUN CHENG and H.SCHÜEPP 1986: Monitoring of vesicular-arbuscular mycorrhiza in field plots treated with selected fungicides. Proceedings of the 1st Europ. Symposium on Mycorrhizae, Dijon 1985, INRA, Paris, 701-706.
- HATTINGH M.J., L.E.GRAY and J.W.GERDEMANN 1973: Uptake and translocation of  $^{32}\text{P}$ -labelled phosphate to onion roots by endo-mycorrhizal fungi. Soil Science 116, 383-387.
- HAYMAN D.S. and B.MOSSE 1971: Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. I. Growth of Endogone-inoculated plants in phosphate-deficient soils. New Phytol. 70 19-27.
- PACIONI G. 1986: A simple apparatus for estimating soil aggregation by extramatrical mycelia. Proceedings of the 1st Europ. Symposium on Mycorrhizae, Dijon 1985, INRA, Paris, 665-666.
- SCHÜEPP H., BARBARA DEHN und H. STICHER 1987: Interaktionen zwischen VA-Mykorrhizen und Schwermetallbelastung. Angewandte Botanik, 61, 85-96.
- SCHÜEPP H., DIANE DOUD MILLER and MAJA BODMER 1987: A new technique for monitoring hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi through soil. Trans.Br.mycol. Soc., 89, 429-435.
- SUTTON J.C. and B.R.SHEPPARD 1976: Aggregation of sand-dune soil by endomycorrhizal fungi. Can.J.Bot., 54, 326-333.



DIE WETTBEWERBSFAEHIGKEIT VON KUNSTLICH GEIMPFTEN MYKORRHIZAPILZEN  
IM NATUERLICHEN BODEN

---

S. EGLI, I. KAELIN

Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen,  
CH-8903 Birmensdorf

## 1. PROBLEMSTELLUNG

Die künstliche Impfung mit Mykorrhizapilzen ist heute eines der Zielgebiete der angewandten Mykorrhizaforschung, sowohl auf dem Gebiet der Ekto- wie der Endomykorrhiza. Durch eine künstliche Impfung mit geeigneten Mykorrhizapilzen lassen sich die vielfältigen Vorteile der Symbiose nutzbar machen.

Aus forstlicher Sicht ist eine künstliche Impfung dort sinnvoll, wo die bestehenden natürlichen Mykorrhizaverhältnisse ungenügend sind, sei es, dass eine Mykorrhizaflora überhaupt fehlt (Steppen-, Ackerböden, Abraumhalden, etc.) oder dass die bestehende Mykorrhizaflora mangelhaft oder ungeeignet ist und gezielt verbessert oder ersetzt werden muss.

Wir verfügen heute über alle für eine künstliche Impfung notwendigen methodischen und impftechnischen Grundlagen, auch kennen wir aus Syntheseversuchen eine grosse Zahl mykorrhizabildender Pilzarten mit ihren potentiellen Symbiosepartnern. Dieses Wissen allein genügt jedoch nicht, um die künstliche Impfung in der Praxis gezielt und erfolgreich anwenden zu können. Was uns weitgehend noch fehlt, sind Kenntnisse über das Verhalten von Mykorrhizapilzen in ihrer natürlichen Umgebung, insbesondere über die verschiedenen kompetitiven Wechselwirkungen zwischen Impfpilz und bodenökologischen Faktoren. Bei der künstlichen Mykorrhizaimpfung im Pflanzgarten können zwar bodenbiologische Konkurrenzfaktoren mittels einer Bodendesinfektion vor der Impfung ausgeschaltet werden, die Wirkung ist jedoch nur von kurzfristigem Charakter: Der Impfpilz erhält einen zeitlichen Vorsprung gegenüber den bodenbürtigen Organismen, die Konkurrenzprobleme werden jedoch lediglich zeitlich verschoben.

Wie bisherige Untersuchungen zeigen (GARBAYE, 1982, 1983), ist die Wettbewerbsfähigkeit eines Mykorrhizapilzes im natürlichen Boden, oder anders ausgedrückt, die Rezeptivität des Bodens eine ganz wichtige Grundlage bei der Selektion von Impfpilzen für die künstliche Mykorrhizaimpfung.

Die vorliegende Untersuchung soll erlauben, gewisse Aussagen zu machen über das kompetitive Verhalten von drei verschiedenen Mykorrhizapilzen nach der Impfung von Fichtensämlingen in nicht desinfizierten Pflanzgartenböden. Das Hauptinteresse gilt dabei den Wechselwirkungen zwischen Impfpilz und bodenbürtiger Mykorrhizapilzflora.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

Die drei untersuchten Böden stammen aus verschiedenen schweizerischen Pflanzgärten (EAFV, ZH [550 m ü.M.], Rodels, GR [640 m ü.M.], Disentis, GR [1180 m ü.M.]). Es wurde aus je einem Fichtenverschulbeet mit gleichaltrigen Pflanzen die obersten 10 cm Boden abgetragen, gesiebt und in aufklappbare rootrainers (Spencer-Lemaire) abgefüllt. In sterilem Sand vorgezogene, zwei Monate alte Fichtensämlinge (*Picea abies*) wurden in die aufgeklappten rootrainers pikiert. Gleichzei-

tig wurde das Wurzelsystem mit einer Pilzsuspension geimpft. Drei verschiedene Mykorrhizapilze der Fichte wurden für die Impfung verwendet: Hebeloma cylindrosporum, Boletus edulis und Cenococcum geophilum. Die Pilze wurden in Flüssig-Schüttelkulturen (MMN-Medium) während zwei Wochen vorkultiviert, kurz gemixt und mit sterilem Wasser gewaschen. Von der so erhaltenen Mycel suspension wurde nach GARBAYE (1983) die Keimzahl bestimmt (Anzahl lebender Mycelfragmente). Das Inokulum wurde auf zwei Konzentrationen verdünnt und in drei Variationen geimpft: Dosis 1 ( $5 \cdot 10^3$  Keime pro Pflanze), Dosis 2 ( $5 \cdot 10^4$  Keime pro Pflanze) und Dosis 0, mit 3 Wiederholungen pro Behandlung. Alle drei Wochen, ab der 16. Woche alle 6 Wochen, wurden die rootrainers geöffnet und das Wurzelsystem hinsichtlich der Mykorrhizabildung taxiert. Die Taxierung der Mykorrhizen erfolgte nach morphologischen Kriterien bei 6- bis 10facher Lupenvergrößerung. Kriterien für die Auswertung waren das Mykorrhizaprozent (prozentualer Anteil der mykorrhizierten Wurzelspitzen an der Gesamtzahl der Wurzelspitzen) und die prozentualen Anteile der einzelnen Mykorrhizatyphen. Insgesamt wurden - neben dem durch den Impfpilz erzeugten Mykorrhizotyp - 10 Mykorrhizatyphen nach morphologischen Kriterien ausgeschieden.

### 3. RESULTATE UND DISKUSSION

Von den drei untersuchten Mykorrhizapilzen hat lediglich Hebeloma cylindrosporum Mykorrhizen gebildet. Die beiden anderen, Cenococcum geophilum und Boletus edulis, sind unabhängig von Bodenherkunft und Impfdosierung bereits kurz nach der Impfung abgestorben und verschwunden, ohne Mykorrhizen gebildet zu haben. Eine mögliche Erklärung wäre die, dass sowohl Cenococcum geophilum wie Boletus edulis keine typischen early-stage Pilze sind, also in der Natur kaum mit jungen Pflanzen Mykorrhizen bilden. Dies kann wohl als Primärursache ausgeklammert werden, da das Inokulum gar nicht zum Auswachsen kam und folglich nie ein physiologischer Austausch zwischen Pilz und Pflanze zustande gekommen ist. Das rasche Absterben des Inokulums scheint eher darauf hinzuweisen, dass die drei untersuchten Böden von den bodenbiologischen Voraussetzungen oder vom Chemismus her für das Wachstum dieser beiden Pilze nicht geeignet sind.

Abbildung 1 zeigt das Verhalten von Hebeloma cylindrosporum gegenüber der natürlichen, bodenbürtigen Mykorrhizaflorea in den einzelnen Böden und den Einfluss der Impfdosierung auf die Mykorrhizabildung. Mit der Dosierung 2 werden auf allen drei Böden bessere Resultate erzielt als mit der Dosierung 1, der zeitliche Verlauf der Mykorrhizabildung wird dabei jedoch nicht beeinflusst. Das Inokulum ist innerhalb weniger Tage ausgewachsen. Bereits 21 Tage nach der Impfung konnten erste Mykorrhizen festgestellt werden, zu einem Zeitpunkt, als noch keine bodenbürtigen Mykorrhizen gebildet waren. Das Mykorrhizaprozent von Hebeloma cylindrosporum erreicht relativ rasch Maximalwerte, im Boden Disentis bereits nach 4 Wochen, in den beiden andern Böden nach 7 Wochen. Die höchsten Maximalwerte werden bei beiden Dosierungen im Boden Disentis erreicht (15%, 25%), die tiefsten im Boden EAFV (5%, 18%). Das Mykorrhizaprozent beginnt dann wieder abzufallen, im Boden EAFV rascher als in den andern Böden - bereits 28 Wochen nach der Impfung sind hier keine Hebeloma-Mykorrhizen mehr festzustellen. Hebeloma cylindrosporum scheint also auf den drei hier untersuchten Böden nicht oder nur beschränkt wettbewerbsfähig zu sein. Das Mykorrhizaprozent von Hebeloma cylindrosporum beginnt ganz deutlich in jenem Zeitpunkt abzusinken, in welchem die Bildung bodenbürtiger Mykorrhizen einsetzt. Es scheint also, dass die bodenbürtige Mykorrhizapilzflorea ein massgebender, das kompetitive Verhalten des Impfpilzes beeinflussender Faktor ist.

Unter den bodenbürtigen Mykorrhizatyphen ist ein Typ - Typ 1 - ganz klar auf allen drei Böden dominierend. Es scheint, dass es sich hier um einen Mykorrhizapilz handelt, der den speziellen für Pflanzgärten typischen Verhältnissen angepasst ist. Die übrigen Typen sind zum Teil streng an einzelne Böden gebunden.



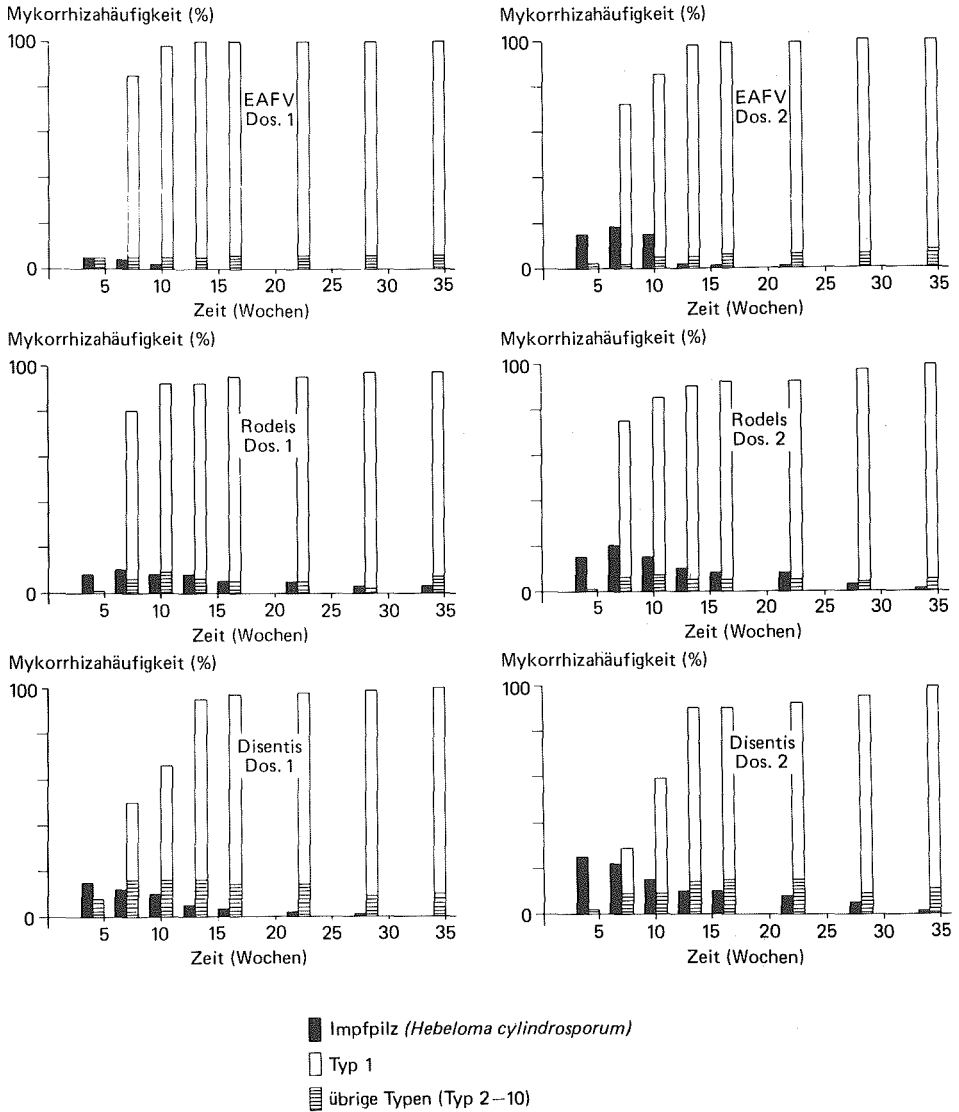


Abbildung 1  
Entwicklung von *Hebeloma cylindrosporium* und bodenbürtigen Mykorrhizatypen nach der Impfung, in Abhängigkeit von Impfdosierung und Boden.

Diese ersten Resultate zeigen, dass das kompetitive Verhalten ein ganz wichtiges Kriterium ist bei der Selektion eines Impfpilzes im Rahmen einer künstlichen Impfung, dass aber die einzelnen die Entwicklung des Impfpilzes beeinflussenden Faktoren und Mechanismen sehr komplex und schwer durchschaubar sind. Weitere Untersuchungen, vor allem mit Berücksichtigung bodenchemischer Parameter werden notwendig sein, um diese Probleme besser zu verstehen.

## Résumé

La compétitivité de champignons mycorrhiziens inoculés artificiellement dans des sols naturels

Des semis d'épicéa (*Picea abies*) non mycorrhizés ont été repiqués dans trois types de sols en pépinière et ont été simultanément inoculés avec trois espèces de champignons mycorrhiziens, afin de tester leur compétitivité envers les champignons autochtones. *Cenococcum geophilum* et *Boletus edulis* ont disparu peu après l'inoculation, dans les trois types de substrat, sans qu'aucune mycorrhization ne se soit produite. *Hebeloma cylindrosporum* a très rapidement formé des mycorrhizes, bien qu'il ne semble concurrentiel dans aucun des trois types de sol. Le taux de mycorrhization a déjà été atteint 4 à 7 semaines après l'inoculation (5 à 25% selon le type de sol et le dosage de l'inoculum), puis il est assez rapidement retombé aux environs de zéro lorsque les mycorrhizes formés par les champignons autochtones sont apparus. Le dosage de l'inoculum a un effet évident sur le succès de l'opération: plus la quantité d'inoculum est élevée, plus le taux de mycorrhization est important.

## Literatur

- GARBAYE, J., 1982: Quelques aspects de la compétitivité des souches ectomycorhiziennes. In: Les Mycorrhizes: biologie et utilisation. Les Colloques de l'INRA, Nr. 13: 303-312. Ed. INRA, Paris.
- GARBAYE, J., 1983: Premiers résultats de recherches sur la compétitivité des champignons ectomycorhiziens. Plant and Soil, 71 (1983): 303-308.

**MIKROHETEROGENITÄT DES WALDBODENS: BESTEHT EINE BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM PH-WERT UND DER MIKROVERTEILUNG VON ARTHROPODEN?**

AUTOR: P. Reutimann  
Naturhistorisches Museum  
Augustinergasse 2  
4001 Basel

**1. EINLEITUNG**

Boden ist die äusserste belebte Verwitterungsschicht der Erdrinde. Durch die Immissionen von Luftschadstoffen kommt es auch in Schweizer Wäldern zu einem Säure-, Schad- und Stickstoffeintrag in die Ökosysteme, der zu Ungleichgewichten in der Pflanzenernährung führt. (FLÜCKIGER et al., 1986). Vor allem aus Nordeuropa sind einige Auswirkungen auf Bodenorganismen beschrieben worden (DRABLØS, 1980, GRAEFE, 1972). Die Ergebnisse belegen, dass Bodenorganismen in ihrer Leistungsfähigkeit und Artenvielfalt beeinträchtigt werden.

Die Horizontalverteilung von Bodenarthropoden ist in den obersten Zentimetern des Bodens durch artspezifische und umweltbedingte, "geklumpte" Aggregationen und starke jahreszeitliche Änderungen der Populationsgrößen gekennzeichnet (USHER, 1975, SCHENKER, 1981, EVISON, 1981, STREIT, 1982). In geschädigten Buchenwäldern kommt es in den letzten Jahren zunehmend zum Absterben der Krautschicht im Bereich der Stammbasen ("Todeshöfe"). Ob Winderosion, schadstoffbelastetes Stammabflusswasser oder wurzelbedingte Rhizosphärenversauerung dafür Ursache sind, ist nicht restlos geklärt.

Es stellt sich die Frage, wie Populationen von Bodenarthropoden durch die kleinräumigen Muster des pH-Wertes im Oberboden beeinflusst werden.

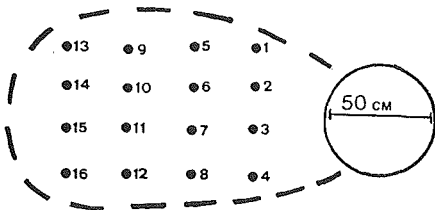
**2. METHODEN**

In einem immissionsgeschädigten Buchenmischwald bei Nollingen (Badisch Rheinfelden, BRD) wurden im April 1984 die

westlich des Stammes:  
"Todeshof" ohne Vegetation



östlich des Stammes:  
mit Vegetation



30 60 90 120  
Abstand vom Baum [cm]

**Abb. 1: Situationsplan und Probenmuster um eine Buche**

Mikroheterogenität des pH-Wertes der obersten 5cm des Bodens, einer Löss-Staugley-Parabraunerde, um eine willkürlich ausgewählte Buche untersucht. Mit einer standardisierten Bodensonde (BIERI et al., 1978a), wurden insgesamt 32 Kleinproben aus dem Oberboden entnommen (Volumen: 123cm<sup>3</sup>, h=5cm, Abb.1). Die 16 Proben westlich des Stammes liegen in einem "Todeshof", während die 16 Proben östlich davon in einer Region mit dichter Bodenbedeckung (Carex spec.) liegen. Die Bodenarthropoden wurden im Labor mit einem Macfadyen-Apparat (BIERI et al., 1978b) extrahiert und unter der Binokularlupe bestimmt. Die pH-Werte der 32 Bodenproben wurden erst danach gemessen (10 g lufttrockene Feinerde gesiebt (<2mm in 25ml 0,0125-molarer KCl-Lösung). Die Ergebnisse wurden mit dem t-Test für unabhängige Stichproben und dem Spearman-Rangkorrelationstest ausgewertet.

### 3. RESULTATE UND DISKUSSION

Aus den 32 Proben wurden insgesamt 5694 Arthropoden bestimmt. Die Individuenzahlen, sowie die daraus errechneten durchschnittlichen flächenbezogenen Dichten (Abundanzen pro m<sup>2</sup>) sind in Tab.1 zusammengefasst. Im Gegensatz zu SCHENKER

Tab.1: BESATZDICHTEN

	PROBEN 1-16:				PROBEN 17-32:			
	ANZAHL	ABUNDANZ	%	T-TEST	ANZAHL	ABUNDANZ	%	
Asseln	3	62	0,1	*	15	308	1,4	
Doppelfüßer	3	62	0,1	n.s.	2	83	0,2	
Symphylen	33	104	0,7	n.s.	43	959	3,9	
Hornmilben	3012	62383	65,5	***	413	8738	37,6	
Modermilben	227	4698	4,9	*	46	953	4,2	
Urinsekten	791	16366	17,12	*	367	9110	33,5	
Fliegenlarven	54	1118	1,2	n.s.	26	828	2,4	
Hundertfüßer	38	785	0,8	n.s.	17	332	1,5	
Spinnen	6	124	0,1	n.s.	6	124	0,5	
Pseudoskorpione	0	0	0	n.s.	2	41	0,2	
Lauf-, Samt-, und Schnabelmilben	307	6358	6,7	n.s.	71	1458	6,5	
Raubmilben	109	2256	2,4	n.s.	72	1491	6,6	
Käferlarven	6	124	0,1	***	25	394	2,3	
Käfer adult	8	166	0,2	***	19	390	1,7	
STREUZERSETZER:	4123	84793	89,7		912	20979	82,9	
RÄUBER:	474	9813	10,3		187	4230	17	
<u>GESAMTTOTAL:</u>	4597	94605	100		1097	25209	100	

(1981) können keine Dichtegradien um die Stammbasis nachgewiesen werden. Vielmehr zeigen sich teilweise grosse Unterschiede der Besatzdichten zwischen den Einzelproben. Die Werte der Hornmilben (Oribatida), Modermilben (Acaridida), Urinsekten (vor allem Collembolen), aber auch Asseln (Isopoda), Käfer und deren Larven (Coleoptera) aus beiden einander gegenüberliegenden Sektoren unterscheiden sich jedoch signifikant voneinander. Die Mikroheterogenität des pH-Wertes lässt aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Sektoren erkennen (pH min.=3,7, pH max.=4,7;  $\bar{x}$ =4,1 östlich und 4,4 westlich des Stammes). Rangkorrelationstests zeigen aber, dass ein Koeffizient zwischen den pH-Werten und den Besatzdichten sowohl der Hornmilben, Springschwänze, als auch der Gesamtzahlen der

Mikroarthropoden (Milben und Urinsekten,  $r_s = -0,78$ ) besteht (Abb.2). Die Resultate lassen vermuten, dass die pH-Werte (als Ausdruck für mikrobielle Aktivität des Bodens) die Populationsgrößen der Mikroarthropoden über die Ernährung beeinflussen.

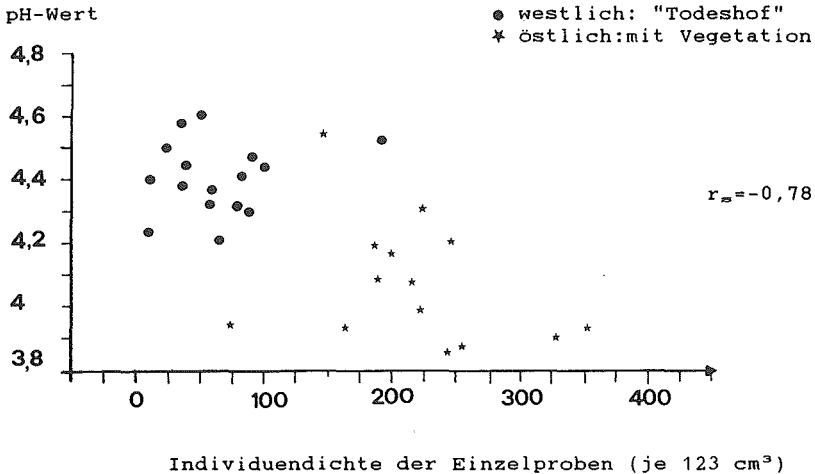


Abb.2: Korrelation zwischen den pH-Werten und den Individuendichten der Mikroarthropoden (Milben und Springschwänze)

Auffällig sind die grossen Dichten an kleinen mikroorganismenfressenden (vor allem Pilze und Algen) Hornmilben westlich des Stammes (mikrophytophage Arten nach LUXTON (1972). Grosse streuzersetzende Hornmilbenarten (makrophytophage Arten) sind hier dagegen sehr selten. Zwischen den beiden untersuchten Sektoren dürften grosse Unterschiede in den Nährstoffbilanzen (Angebot und Bedarf durch höhere Pflanzen) bestehen. Im "Todeshof" kämen demnach Nährstoffe vor allem den durch den tieferen pH-Wert ohnehin geförderten Bodenpilzen (vgl. LARCHER, 1976) zugute, von denen wiederum die mikrophytophagen Milben und Springschwänze profitieren können.

Das Verhältnis der Populationsdichten von Milben zu Springschwänzen ist mit einem Wert von 1,64 östlich des Stammes zu 4,62 westlich davon verschoben. Die meist räuberischen Raub-, Samt-, Lauf- und Schnabelmilben haben westlich des Stammes einen Anteil von 10,3 Prozent, östlich davon aber 17,3 Prozent an der Gesamtzahl der Mikroarthropoden. Die Werte sind aber nicht signifikant voneinander verschieden. Es ist unklar, weshalb die grossen streuzersetzenden Asseln (und andere grössere Arthropoden) westlich des Stammes selten werden. Denkbar wäre eine direkte Beeinträchtigung durch Schadstoffe oder ein Nährstoffmangel (Ca). Im April 1987 entnommene Bodenproben um eine andere Buche am selben Standort belegen, dass die Verteilungsmuster um andere Bäume ähnlich sind (REUTIMANN, unveröff.). Damit gleichen Artenzusammensetzung und Individuendichte der Arthropoden in "Todeshöfen" denen in Oberböden von Fichtenforsten mit Rohhumusauflage, obschon am Standort Mull die

Humusform ist. Daraus ergeben sich kleinräumige, durch Immissionen mitbedingte Verteilungsmuster für viele Populationen von Bodenorganismen. In stark versauerten Bereichen ist daher zu erwarten, dass sich der Streuabbau, aber auch der positive Einfluss der Bodenfauna auf abiotische Bodenparameter (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1976) und auf die übrigen Organismen (Nahrungsketten) verändern.

#### 4. LITERATUR

- BIERI, M., DELUCCHI, V., LIENHARD, C., 1978a:  
Beschreibung von zwei Sonden zur standardisierten Entnahme von Bodenproben für Untersuchungen an Mikroarthropoden. Mitt. Schweiz. Ent. Ges. 51: 327-330.
- BIERI, M., DELUCCHI, V., LIENHARD, C., 1978b:  
Ein abgeänderter Macfadyen-Apparat für die dynamische Extraktion von Bodenarthropoden. Mitt. Schweiz. Ent. Ges. 51: 119-132.
- DRABLØS, D., 1980 [ed]:  
Ecological Impact of acid precipitation. Proc. of Int. Conf. Sandefjord. Oslo-Ås, SNSF-Project 1980, 383 pp.
- EVISON, B., 1981:  
Vergleichende Untersuchung der Mikroarthropoden in einer Fettwiese und einer Brachypodium-Brache am Jura-Nordhang mit besonderer Berücksichtigung der Cryptostigmata (Acarina, Oribatei). Diss. Univ. Basel, 198 S.
- FLÜCKIGER, W., BRAUN, S., FLÜCKIGER, H., LEONARDI, S., ASCHE, N., BÜHLER, U., LIER, M., 1986:  
Untersuchungen über Waldschäden in festen Buchenbeobachtungsflächen der Kantone Basellandschaft, Baselstadt, Aargau, Solothurn, Bern, Zürich und Zug. Schweiz. Zeitschr. Forstwesen 11: 917-1010.
- GRAEFE, U., 1982:  
Auswirkungen der "sauren Niederschläge" auf die Bodenfauna von Waldbeständen und deren Therapie. Vorstudie für ein Handlungskonzept. Institut f. angew. Bodenbiologie, Fischers Allee 50, D-2000 Hamburg, (unpubl.).
- LARCHER, W., 1976:  
Ökologie der Pflanzen. UTB Ulmer 232, 320 S.
- LUXTON, M., 1972:  
Studies on the Oribatid mites of a Danish beech wood soil part 1: Nutritional Biology. Pedobiologia 12: 434-436.
- REUTIMANN, P., 1985:  
Ökophysiologische und nahrungsökologische Untersuchungen an Oribatiden (Acari) eines alpinen Rasens im Schweizerischen Nationalpark. Diss. Univ. Basel, 252 S..
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., 1976:  
Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHENKER, R., 1981:  
Dispersion, Populationsdynamik und Systemstellung der Cryptostigmata (Acari) im Bodenökosystem eines Laubmischwaldes der Nordwestschweiz. Diss. Univ. Basel, 138 S..
- STREIT, B., 1982:  
Microarthropod population gradients and aggregations in the soil of a mixed temperate deciduous forest. Revue Suisse de Zoologie 89: 993-1004.
- USHER, M. B., 1975:  
Some properties of the aggregations of soil arthropods Cryptostigmata. Pedobiologia 15: 355-363.

La microhétérogénéité du sol d'une forêt polluée près de Nollingen (BRD)(sol brun lessivé) a été l'objet d'une recherche pédozoologique en 1984. Le pH ainsi que les populations d'arthropodes de 32 échantillons autour d'un hêtre furent mesurés et comptés. Les populations d'arthropodes, principalement celles des microarthropodes microphytophages (Acariens Oribates et Astigmatés, Collemboles) et des Coléoptères sont significativement élevées du côté de l'arbre où la végétation est inexistante. Par contre, le nombre des Isopodes est réduit. Nous supposons qu'il s'agit d'une conséquence du flux des éléments nutritifs élevé influençant les microorganismes du sol. Il existe un coefficient de corrélation de  $-0,78$  entre les populations des microarthropodes et des valeurs pH des échantillons de sol correspondants.

En conséquence, l'humification et les relations trophiques changent et s'approchent des conditions qui règnent dans une monoculture d'épiceas.

#### 6. DANK

Dr. C. Bader (Basel), PD Dr. W. Flückiger und Dr. S. Braun (Schönenbuch), sowie Dr. A. Bühlmann (Basel) sei für ihre wertvolle Hilfe und Beratung herzlich gedankt.





DIE BODENFAUNA ALS NÄHRSTOFFSPEICHER IN GEOÖKOSYSTEMEN DES  
TAFEL- UND FALTENJURA

Michèle GLASSTETTER

Geographisches Institut der Universität Basel  
Forschungsgruppe Physiogeographie und Geoökologie  
Heuberg 22  
CH-4051 Basel

1. EINLEITUNG, FRAGESTELLUNG

In zwei vom Geographischen Institut Basel unter geomorphologischen und geoökologischen Gesichtspunkten erforschten Elementarlandschaften bei Anwil/BL und Oberbünwil/SO wird im Rahmen einer Dissertation auch die Bodenfauna, insbesondere die Regenwürmer (Lumbricidae) regelmässig untersucht und verglichen.

Folgende Fragen standen im Mittelpunkt der Untersuchung:

1. Welche Taxa der Bodenfauna sind von ihrer Grössenordnung und Aktivität her besonders gut räumlich zu erfassen und dazu geeignet, in stoffliche Beziehung zu abiotischen Faktoren gesetzt zu werden?
2. Welche räumlichen und zeitlichen Verteilungsmuster zeigen Regenwürmer als wichtigste Vertreter der Bodenmakrofauna in Braunerden und Rendzinen des Jura?
3. Mit welchen bodenchemischen Labormethoden lassen sich Nährstoffe aus Regenwürmern und Bodenproben schonend aufschliessen, sodass Nährstoffe aller Proben direkt miteinander verglichen werden können?
4. Welche Konzentrationen von Nährstoffen sind in Geweben und in der Lösung von Regenwürmern nachzuweisen? Lassen sich räumliche oder zeitliche Änderungen feststellen?

2. METHODE

Die Makrofauna wurde im Handausleseverfahren (vgl. BONO, 1986) in zwei Einzugsgebieten im Tafel- und Faltenjura an je einem Braunerde- und einem Rendzinastandort gesammelt (GLASSTETTER & LESER, 1987). Pro Standort und Hauptjahreszeit erfolgte die Auslese nach Bodenschichten getrennt (0-10 cm, 10-20 cm und 20-40 cm) in je drei Gruben zu 0,1 m<sup>3</sup> Inhalt. Bei den Wägungen der Regenwürmer wurden die Frischmassen (Lebendgewichte) der vier häufigsten Gattungen (einschliesslich der juvenilen Individuen) voneinander getrennt und mit gefülltem Darm erfasst. Aufschluss und Analyse der Nährstoffe aus Oberbodenmaterial, Wurmlösung und Fauna erfolgte nach einem erweiterten Verfahren in Anlehnung an SCHLICHTING & BLUME (1966, 87) (Fig. 1): 10.0g pulverisiertes Probenmaterial (bei maximal 40°C getrocknet) wurden mit 10,0 ml Ammoniumlaktat-Essigsäure-Lösung 4 Stunden lang bei 250 rpm geschüttelt und sofort filtriert. Die Methode soll die Lösung von Nährstoffen aus toten Lumbriciden im Boden durch organische Säuren von Pflanzenwurzeln nachvollziehen. Die quantitative Calcium-, Magnesium- und Kalium-Messung des Filtrats erfolgte am AAS, die des Phosphats (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) durch photometrische Auswertung des Phosphat- und Molybdatkomplexes am Spektrophotometer (5-fach verdünntes Filtrat) (Angaben in ppm = mg/kg TM).

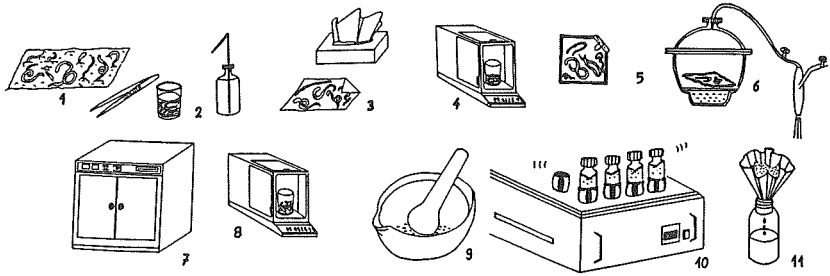


Fig. 1 1: Auslese und Bestimmung der Regenwürmer nach BOUCHÉ (1972), 2: Reinigung mit  $H_2O$  dest., 3: Trocknung mit Papiertüchern, 4: Frischmasse-Wägungen, 5: Einschliessen in Polyester-Tüllbeutel, 6: Vakuumtrocknung über Silikagel (3 Tage), 7: Nachtrocknung bei  $40^\circ C$  (1 Tag), 8: Trockenmasse-Wägungen, 9: Zermörsern zu aufschliessbarem Pulver, 10: Extraktion der Nährstoffe in Ammoniumlaktat-Essigsäure durch Schütteln, 11: Filtration.

### 3. RESULTATE UND DISKUSSION

#### 3.1. Biomasse

Die Biomasse der Regenwürmer beträgt an den zwei Tafeljura-Standorten (BTJ) im Mittel der Hauptjahreszeiten ca.  $200g/m^2$ . Die vertikal bohrende Art Nicodrilus longus (Ude) dominiert mit einem Anteil von ca. 60 Prozent. Fig. 2 zeigt in beiden Untersuchungs-

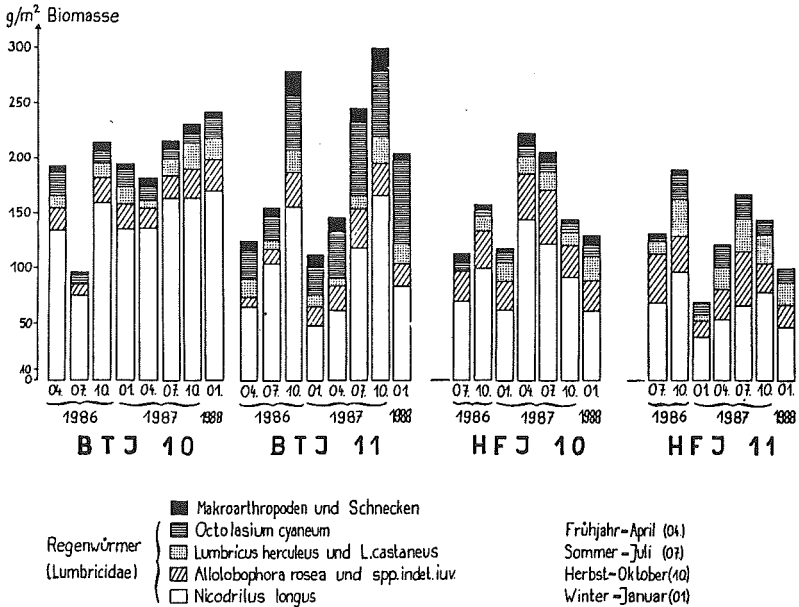


Fig. 2 Biomasse der Bodenmakrofauna an 4 Teststandorten im Jura in den Hauptjahreszeiten von April 1986 bis Januar 1988.

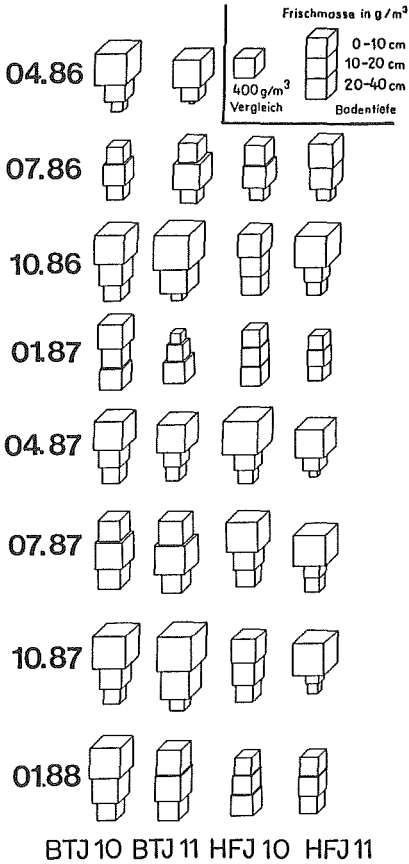


Fig.3 Vertikale Verteilung der Makrofauna-Frischmasse [g/m<sup>2</sup>]

weichungen und Probenzahlen (n) für Oberboden, Regenwurmlosung und Regenwürmer. Die Lumbriciden der untersuchten Standorte leben in Ca-reichen Böden. Sie scheiden grosse Ca-Mengen in der Losung aus. Ein Teil des Ca in den Tieren selbst ist auf den Darminhalt zurückzuführen. Die Mg-Konzentrationen in allen drei Kompartimenten niedriger und konstant. In den Geweben wird Mg 1,5 bis 3 mal, K 10 bis 20 mal und P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60 bis 600 mal konzentriert.

jahren den deutlichen Anstieg der Biomasse vom Winter bis zum folgenden Herbst in der Rendzina. Stabiler sind die Werte in der tiefgründigeren, gutgedüngten Braunerde. Im Hohen Faltenjura (HFJ) liegt die mittlere Biomasse bei ca. 150 g/m<sup>2</sup>. Bodentyp, Nutzung und Düngung beeinflussen die Biomasse der einzelnen Lumbricidenarten (GLASSTETTER & LESER, 1987). Die Hauptaktivitätszeit der Regenwürmer (Produktion von Losung an der Bodenoberfläche (GLASSTETTER in Vorb.)) liegt im Frühjahr und Herbst. In diesen Jahreszeiten ist an allen Standorten die Frischmasse der Bodenfauna (mit ca. 95 Prozent Regenwürmern) im Oberboden am höchsten (Fig. 3). Im Sommer und Winter verlagert sich die Frischmasse mehrheitlich in mittlere und tiefere Bodenhorizonte.

### 3.2. Nährstoffe

Regenwürmer speichern Nährstoffe in ihren Geweben und Körperflüssigkeiten, sowie -vorübergehend- im Darminhalt. Tab. 1 zeigt Mittelwerte, Standardab-

Boden Losung Regenw.				
Ca	$\bar{x}$	14846	20273	6804
	s	14517	23270	5479
	n	7	12	30
Mg	$\bar{x}$	323	491	749
	s	114	255	71
	n	8	12	30
K	$\bar{x}$	439	789	6754
	s	241	256	540
	n	8	12	30
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$\bar{x}$	41	116	6575
	s	63	80	977
	n	8	12	30

Tab.1 Mittlere Nährstoffkonzentrationen [ppm] der 4 Standorte von April 1986 bis Januar 1988.

Die Lumbriciden sind daher ein bedeutendes biotisches Kompartiment im Nährstoffhaushalt der Grünlandökosysteme des Jura:

1. Durch ihren positiven Einfluss auf die Zersetzung von organischen Materialien (vgl. auch SYERS & SPRINGETT, 1983),
2. Durch Verlagerung von Ca, Mg, K und  $P_2O_5$  in den Ausscheidungen an die Bodenoberfläche und entlang ihrer Röhren in tiefere Bodenschichten, und
3. Durch punktuelle Freisetzung hoher Kalium- und Phosphatmengen nach ihrem Tod (direkt oder über den Kot ihrer Räuber).

#### 4. RÉSUMÉ

Dans deux bassins versants du Jura, l'auteur collecte et compare la macrofaune du sol, spécialement les Lombriciens, dans le cadre d'une thèse de doctorat. Les Lombriciens se laissent, grâce à leur taille et leur activité, particulièrement bien mettre en relation avec l'espace et les facteurs abiotiques. Ils accumulent dans leurs tissus de hautes concentrations de potasse et de phosphate. Leur biomasse moyenne varie, selon les stations, entre 150 et 200 g par m<sup>2</sup>.

#### 5. DANK

Prof. Dr. H. Leser, Vorsteher des Geographischen Instituts Basel, danke ich für stetige Unterstützung und Interesse herzlich. Mein Dank für tatkräftige Mithilfe im Feld gilt auch meinen Kollegen und Kolleginnen sowie den Mitarbeitern des Instituts, für die Bestimmung der Nährstoffe im Labor Frau I. Gallert und Frau H. Strohm. Fam. R. Schaffner und E. Spiess in Anwil/BL, sowie Fam. U. Kaufmann in Oberbeinwil/SO leisteten wertvolle Unterstützung vor allem durch ihre Erlaubnis, auf den Grundstücken arbeiten zu dürfen. P. Reutimann/Basel besorgte die Durchsicht des Manuskriptes.

#### 6. LITERATUR

BONO, R., 1986:

Geökologische Untersuchungen zur Naturraumgliederung und Regenwurmfauna des Niederen und Hohen Sundgaus (Elsass, Frankreich). Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie 8, Dissertation Basel, 300 S.

BOUCHÉ, M.B., 1972:

Lombriciens de France: Ecologie et Systématique. Inst.Nat.Rech.Agr., Ann.Zool-Ecol.Anim., N° hors série, Paris, 671 S.

GLASSTETTER, M., LESER, H., 1987:

Arbeitsbericht über vergleichende Bodenfaunauntersuchungen im Jura als Beitrag zur Erforschung biotischer Kompartimente in Geökosystemen. Regio Basiliensis 28(3).

SCHLICHTING, E., BLUME, H.P., 1966:

Bodenkundliches Praktikum. Parey, Hamburg, 209 S.

SYERS, J.K., SPRINGETT, J.A., 1983:

Earthworm Ecology in Grassland Soils. In: Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture (J.E. SATCHELL, ed.), Chapman & Hall, London: S 67-83.

STICHPROBENPLAN FÜR DIE REGENWURMART *LUMBRICUS TERRESTRIS* L. <sup>1</sup>

---

O. Daniel und M. Bieri

Institut für Pflanzenwissenschaften, Phytomedizin; ETHZ; 8092 Zürich

## RESUME

On a utilisé les données d'une population de vers de terre ramassés dans une prairie, afin de développer un plan d'échantillonnage. Le nombre d'échantillons à prendre a été calculé pour deux niveaux de précision pour les adultes et pour les larves de *Lumbricus terrestris* L.

Le plan d'échantillonnage nous démontre que normalement nous devons nous contenter d'une précision moindre dans l'étude de la population adulte. Si les densités des larves sont élevées, on peut les estimer avec un effort moins grand.

## 1. EINLEITUNG

Für populationsdynamische Untersuchungen im Feld sind Stichprobenpläne notwendig. Diese ermöglichen das Abschätzen der Stichprobenanzahl, welche für eine bestimmte Präzision einer Abundanzschätzung erforderlich ist. Bei bodenbiologischen Arbeiten verhindert der grosse Arbeitsaufwand bei der Probenentnahme oder beim Bestimmen der Tiere oft das Erreichen der gewünschten Präzision.

---

<sup>1</sup> Diese Arbeit ist Bestandteil der Publikation: DANIEL, O., JAGER, P., CUENDET, G. und M. BIERI, (im Druck): Stichprobenentnahme und Stichprobenplan für die Regenwurmart *Lumbricus terrestris* L. International Symposium on Terrestrial Oligochaeta, Hamburg, 14-18. September 1987.

Die Untersuchung fand im Rahmen des ETH-Schulratprojektes "Simulation der Bioakkumulation und -dispersion von Schadstoffen im Boden, basierend auf einem Populationsmodell von *Lumbricus terrestris* L." statt. Das Projekt wird vom Institut de Génie de l'Environnement, EPFL und dem Institut für Pflanzenwissenschaften, ETHZ gemeinsam durchgeführt.

In der vorliegenden Arbeit wurde für die Schätzung der Populationsdichten von juvenilen und adulten Regenwürmern der Art *Lumbricus terrestris* L. je ein Stichprobenplan erarbeitet.

## 2. METHODEN

Die Experimente wurden auf einem ebenen Grundstück der FAT (Tänikon), welches als Mähwiese genutzt wird, durchgeführt. Eine Parzelle von 40 m x 40 m wurde in 4 Quadranten von 20 m x 20 m unterteilt. In jedem Quadranten wurden an 15-20 mittels Zufallszahlen ermittelten Orten Stichproben entnommen. Die Grösse der Stichprobenfläche betrug 0.25 m x 0.25 m. Die Extraktion der Regenwürmer aus dem Boden erfolgte mit wässrigen Lösungen reizender Substanzen (Formaldehyd, Chloroacetophenon) (DANIEL et al., im Druck).

Beim Erarbeiten von Stichprobenplänen ist eine Definition der Zuverlässigkeit der geschätzten Dichten nötig. In dieser Arbeit wurde die Zuverlässigkeit als vorgegebenes Verhältnis von Standardfehler zu Mittelwert definiert. Die Stichprobenanzahlen können nach KARANDINOS (1976) für Poissonverteilungen mit Formel [1] und für Negativbinomialverteilungen mit Formel [2] berechnet werden.

$$n = \frac{1}{\bar{x} * C^2} \quad [1]$$

n = Stichprobenanzahl

C = vorgegebenes Verhältnis von Standardfehler zu Mittelwert

$\bar{x}$  = mittlere Dichte der adulten *L. terrestris* pro 1/4 m<sup>2</sup>

$$n = \frac{\frac{1}{\bar{x}} + \frac{1}{k}}{C^2} \quad [2]$$

n = Stichprobenanzahl

C = vorgegebenes Verhältnis von Standardfehler zu Mittelwert

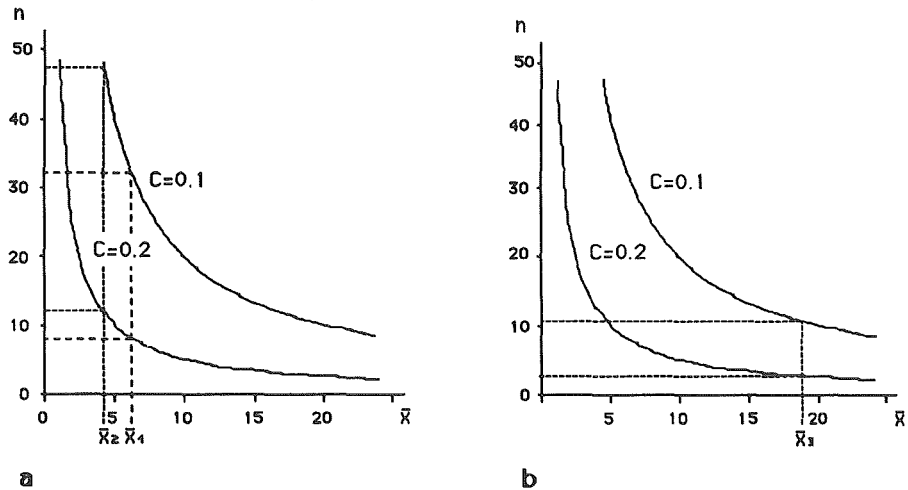
$\bar{x}$  = mittlere Dichte der juvenilen *L. terrestris* pro 1/4 m<sup>2</sup>

k = Parameter der Negativbinomialverteilung

### 3. RESULTATE

Die beobachteten Abundanzen der adulten *L. terrestris* liessen sich mit einer Poissonverteilung beschreiben, jene der juvenilen mit einer Negativbinomialverteilung (Chi<sup>2</sup>-Test,  $\alpha = 0.05$ ).

Die Berechnung der für eine bestimmte Zuverlässigkeit nötigen Stichprobenanzahl wurde mit  $C = 0.1$  und  $C = 0.2$  durchgeführt. Mit der Formel [1] wurde die Beziehung zwischen der für eine definierte Zuverlässigkeit nötigen Stichprobenanzahl und der Dichte für die Adulten berechnet und in Fig. 1. a dargestellt. Die Beziehung zwischen der nötigen Stichprobenanzahl und der Dichte für die Juvenilen wurde mit der Formel [2] berechnet und in Fig. 1. b aufgezeichnet.



**Fig. 1:** Nötige Stichprobenzahl (n) in Abhängigkeit der mittleren Populationsdichte von *L. terrestris* ( $\bar{x}$ ) bei einer definierten Genauigkeit (C).

a) Adulte ( $\bar{x}_1$ : mittlere Dichte der Adulten von *L. terrestris* pro 1/4 m<sup>2</sup> in den Quadranten I und III;  $\bar{x}_2$ : mittlere Dichte der Adulten von *L. terrestris* pro 1/4 m<sup>2</sup> in den Quadranten II und IV).

b) Juvenile ( $\bar{x}_3$ : mittlere Dichte der Juvenilen von *L. terrestris* pro 1/4 m<sup>2</sup> in den Quadranten I bis IV).

#### 4. DISKUSSION

Aus Fig. 1 ist ersichtlich, dass bei den in Tänikon geschätzten mittleren Abundanzten die Adulten mit 8 bis 12, die Juvenilen mit 3 Stichproben mit einem Standardfehler von 20 % der mittleren Dichte erfasst werden können. Wenn der Standardfehler nur 10 % der mittleren Dichte betragen soll, steigt die nötige Stichprobenanzahl bei den Adulten auf 32 bis 47. Die Dichte der Juvenilen lässt sich dann mit 11 Stichproben schätzen (Fig. 1).

Insbesondere bei den Adulten steigt die nötige Stichprobenanzahl mit abnehmender Dichte und zunehmender gewünschter Zuverlässigkeit rasch an. Bei Standorten mit nicht homogenen Umweltbedingungen nimmt die Varianz der Abundanzschätzungen generell zu, und damit wird die für eine definierte Zuverlässigkeit nötige Stichprobenanzahl zusätzlich grösser.

Man wird sich daher aus ökonomischen Gründen meistens mit einem Standardfehler von 20 % der mittleren Dichte für adulte *L. terrestris* begnügen müssen, während bei hohen Dichten bei den Juvenilen trotz der aggregierteren Verteilung mit relativ geringem Stichprobenaufwand zuverlässige Abundanzschätzungen erhalten werden können.

#### 5. LITERATUR

- DANIEL, O., JAGER, P., CUENDET, G. und M. BIERI, (im Druck): Stichprobenentnahme und Stichprobenplan für die Regenwurmart *Lumbricus terrestris*L. International Symposium on Terrestrial Oligochaeta, Hamburg, 14-18.September 1987.
- KARANDINOS, M. G., 1976: Optimum sample size and comments on some published formulae. Bull. Entomol. Soc. Amer. 22, 417-421.



JANINA POLOMSKI

Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 8903 Birmensdorf

## EINFÜHRUNG

Der "unterirdische Wald", wie manchmal das Wurzelwerk von Waldpflanzen genannt wird, ist durch grosse morphologische und physiologische Vielfalt und Flexibilität in der Anpassung an verschiedene Standortverhältnisse gekennzeichnet.

Die ökologischen Faktoren modifizieren sehr stark die genetisch bedingten Eigenschaften der Wurzeln. Die Variabilität der räumlichen Ausdehnung und Verteilung, der Anatomie und der physiologischen Aktivität der Wurzeln ist deshalb sogar innerhalb einer Art sehr gross. Die Heterogenität des Bodens bedingt, dass einzelne Teile der Gesamtbewurzelung einer Pflanze in verschiedener Weise beeinflusst werden können.

Der Poster besteht aus 2 Teilen, welche ein aktuelles und ein abgeschlossenes Projekt kurz vorstellen.

## TEIL 1

Morphologische Entwicklung von Wurzeln in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen.

Die beschriebenen Beispiele wurden aus dem umfangreichen Literatur-Studium ausgewählt, das zur Zeit im Rahmen des Projektes "Wurzelwerk der Waldpflanzen" (N. Kuhn) gemacht wird. Basierend auf diesem Studium soll versucht werden, das Wurzelwerk verschiedener Pflanzengesellschaften unter Berücksichtigung der Standortverhältnisse z.B. der Erosionsgefährdung, Ueberschwemmung zu charakterisieren.

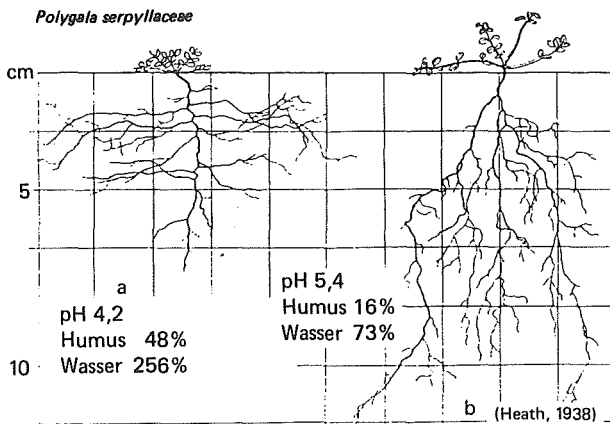


Abb. 1

In dem sauren, schlecht gelüfteten Boden (a) entwickelt sich ein flaches Wurzelsystem mit einer vorwüchsigen Primärwurzel. Die Seitenwurzeln breiten sich horizontal in der oberen Bodenschicht aus. Im Boden mit besseren Wachstumsbedingungen (b) sind sie stark verzweigt und wachsen vertikal bis 17 cm in den Boden.

## TEIL 2

Morphologische und physiologische Variabilität mykorrhizierter Wurzeln von Fichten-Sämlingen.

Diese Untersuchungen wurden an den natürlich wachsenden Sämlingen im Jahre 1985/86 durchgeführt.

Die morphologische und physiologische Variabilität wurde durch die verschiedenen auftretenden Mykorrhizotypen und deren Phosphatase-Aktivität charakterisiert.

Die Phosphatase ist ein Enzym, das an der Mineralisierung der organisch gebundenen Phosphate im Boden beteiligt ist. Da ein grosser Teil (bis 80%) des Gesamtphosphatgehaltes im Boden aus organischen Verbindungen besteht, ist die Phosphatase ein wichtiges Enzym im Phosphatmetabolismus.

a) Aus dem Wurzelwerk von vier 5jährigen Fichten-Sämlingen wurden die Mykorrhizen separat entnommen und nach morphologischen Merkmalen sortiert. Für jeden der vier identifizierten Mykorrhizotypen wurde saure Phosphatase gemessen und einen Querschnitt durch die Mykorrhiza gemacht.

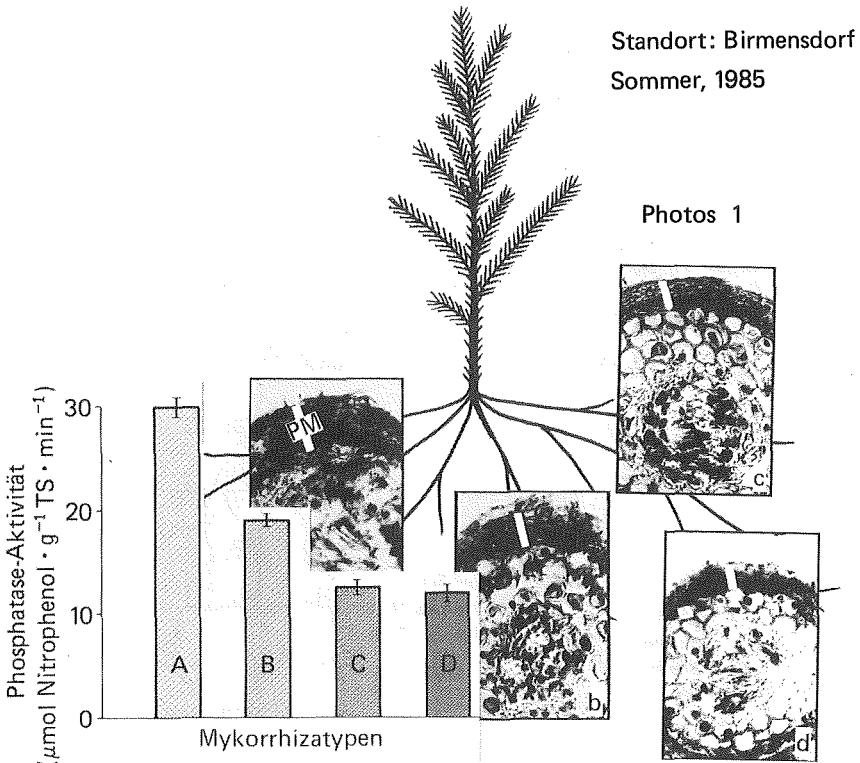


Abb. 2

Die Phosphatase-Aktivität variiert je nach Mykorrhizotyp sehr stark; die höchste Aktivität wurde für den Typ A, die tiefste für den Typ D gemessen.

Da der grösste Teil der Phosphatase sich in dem Pilzmantel mykorrhizierter Wurzeln befindet, ist ein Zusammenhang zwischen der Struktur des Pilzmantels und Phosphatase-Aktivität anzunehmen. Die Querschnitte zeigen, dass die Mykorrhiza A einen sehr dicken und kompakten Mantel bildet, während die Mykorrhiza D einen feinen und losen Mantel aufweist.

b) Für verschiedene Mykorrhizen, u.a. für *Cenococcum geophilum* und einem anderen, aus demselben Wurzelstock eines Fichten-Sämlings entnommenen Mykorrhizotyp wurden die kinetischen Parameter  $K_m$  und  $V_{max}$  ermittelt (Abb. 3).

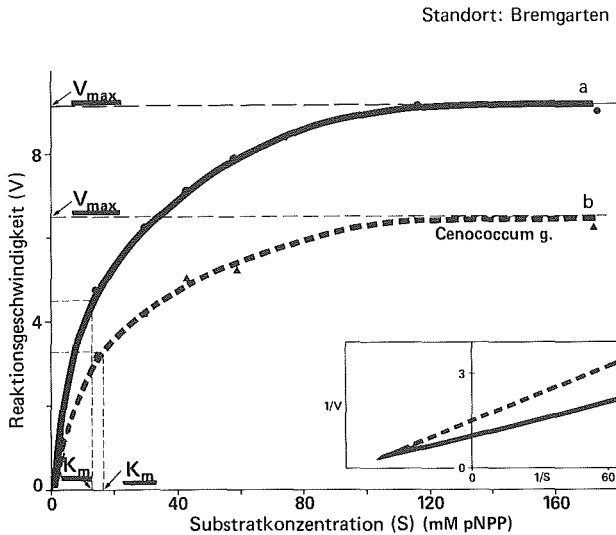


Abb. 3

*Cenococcum geophilum* weist niedrigere  $K_m$ - und  $V_{max}$ -Werte auf als der zweite Mykorrhizotyp. Zu den Unterschieden in der Phosphatase-Aktivität zwischen den beiden Mykorrhizen tragen in diesem Fall sowohl die verschiedenen Absorptionsflächen der mykorrhizierten Wurzeln wie auch die Affinität des Enzyms zum Substrat bei.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Das verschiedenartige Wurzelwachstum einzelner Pflanzenarten ist nicht nur genetisch bedingt, sondern auch durch die spezifischen Bodenverhältnisse stark modifiziert.

Es zeigt sich sogar innerhalb desselben Wurzelwerkes eine grosse Variabilität sowohl in der morphologischen Entwicklung wie auch bezüglich der physiologischen Aktivität, in dieser Arbeit charakterisiert durch die auftretenden Mykorrhizen und deren Phosphatase-Aktivität.



## D I E   S P A T E N P R O B E

---

U. VOEKT, CH. SALM und G. HASINGER

**ZIELE:** Eine für die Praxis sehr wichtige Methode der Bodenbeurteilung ist die Spatenprobe.

Die Spatenprobe gibt Antwort auf folgende Fragen:

- Ist der Boden genug trocken für eine Bearbeitung?
- Hat er eine Pflugsohle oder andere Verdichtungshorizonte?
- Wachsen die Wurzeln normal?
- Ist der Boden genug durchlüftet oder stinkt der Boden und hat eine graue Farbe?
- Ist der Boden krümelig oder ist er verschlämmt und verdichtet?
- Wurde Mist richtig eingearbeitet oder wurde er verlockt?
- Verbröseln er wie Kuchen oder ist er zäh wie ...?
- Leben im Boden genügend Regenwürmer?

**VORGEHEN:** Mit einem Spaten wird eine möglichst ungestörte Probe entnommen. Wichtig ist, dass die Probe unter die bearbeitete Schicht reicht.

Die Beobachtung des Übergangs von der bearbeiteten in die un bearbeitete Schicht ist besonders wichtig. Erscheint uns der Übergang wie mit dem Messer geschnitten, so war meistens die Bearbeitung zu tief oder zu intensiv. Der Boden hatte zu wenig Zeit, um sich zu erholen. Ernterückstände in Pflugtiefe deuten auf eine schlechte Durchlüftung der bearbeiteten Bodenschicht.

Die Probe wird mit Vorteil während oder am Ende des grössten Wurzelwachstums entnommen, da der Wurzelverlauf selbst viele Hinweise über einen lockeren oder verdichteten Zustand des Bodens geben kann. Sehr wichtig ist auch die Entnahme einer Probe vor der Bearbeitung um festzustellen, ob der Boden in Bearbeitungstiefe genügend abgetrocknet ist.

## K R I T E R I E N   D E R   B E U R T E I L U N G

---

**GEFÜGE:**     Das Gefüge wird nach Form, Grösse, Bindigkeit und Hülligkeit angesprochen. Durch das Verreiben eines ausgebrochenen Krümelns kann bei einem **hülligen Aggregat** eine Aufhellung festgestellt werden. Diese **Humushüllen** schützen die Krümel vor dem Verkleben und fördern die Tragfähigkeit des A-Horizontes. Die Gefügeart gibt wesentliche Aussagen über die Fruchtbarkeit und vor allem die Bearbeitbarkeit des Bodens. Das Gefüge wird durch die Nutzung am meisten beeinflusst. Die Humushüllen dienen als Nährstoffspeicher und Träger von Bakterien und Pilzen. Sie schützen den Boden vor Erosion und Verdichtung. Loses Einzelkorngefüge ist besonders erosionsgefährdet.

**FARBE:**     Die Farbe des Bodens zeigt direkt die Oxydationsstufen von Mangan und Eisen an. Daraus können wir auf den Lufthaushalt schliessen. Wenn der Boden rot- oder dunkelbraun ist, deutet das auf genügend Luftsauerstoff hin. Je nach Humusgehalt wird die Farbe heller oder dunkler. Bei gehemmter Durchlüftung wird Mangan ausfallen, es zeigen sich schwarzbraune, ausschmierbare Punkte. Bei stärkerem Luftmangel wird Eisen reduziert und der Boden zeigt eine rostfleckige bis graublauere Farbe.

**GERUCH:**     Der Geruch deutet auf die aktuelle Sauerstoffversorgung hin und somit auf den Ablauf aerober oder anaerober Vorgänge. Der feine Erdgeruch ist ein Zeichen guter Durchlüftung und deutet auf die Aktivität der Aktinomyceten hin. Wenn anaerobe Vorgänge ablaufen stinkt der Boden nach verdorbener Silage oder nach Senkloch.

**FEUCHTIGKEIT:**     Die Feuchtigkeit des Bodens ist entscheidend für die Tragfähigkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens. Wenn sich der Boden zwischen den Fingern kneten lässt, ist er für die Bearbeitung zu feucht. Die Bearbeitungswerkzeuge dürfen nur so tief in den Boden eingreifen, dass der Boden nicht geknetet wird.

**BODENART:** Die Bodenart beeinflusst vor allem den Wasserhaushalt und die Bearbeitbarkeit. Schluffreiche Böden sind staufeucht bis staunass und neigen zur Verschlammung. Tonreiche Böden sind meist auch staunass, wenn sie nicht durch ein gutes Krümelgefüge durchlässiger werden. In einem staufeuchten Boden ist die Erosions- und Verdichtungsgefährdung erhöht.

**PFLUGSOHLE:** Die Pflugsohle ist eine Zone mit gehemmter Wasser- und Luftdurchlässigkeit. Über dieser Schicht wird durch das Pflügen vermehrt organisches Material eingelagert. Für den Abbau dieses Materials ist vermehrt Sauerstoff nötig. Das verstärkt noch zusätzlich den Luftmangel.

**GEFÜGESTABILITÄT:** Die Gefügestabilität ist vor allem an Hand der Humushüllen und des Tongehaltes abschätzbar. Je ausgeprägter die Humushülle und je höher der Ton und Kalkgehalt, umso stabiler ist der trockene Krümel.

**EROSIONSGEFÄHRDUNG:** Wird wesentlich durch die Hangneigung und Geländeform bestimmt. Natürliche Gerinne sind immer wieder Zonen für neue Erosionsanschnitte. Hoher Schluff- und Sandgehalt, im Untergrund gehemmte Durchlässigkeit, loses Einzelkorngefüge, geringer Humusgehalt und labiles Gefüge erhöhen die Erosionsgefährdung. Die Winterbrache wirkt sich verstärkend auf die Erosionsanfälligkeit aus. Zu intensives Bearbeiten schwächt die Krümelstabilität und macht die Feinerde besonders erosionsanfällig. Ton- und humusreiche Böden haben einen höheren inneren Zusammenhalt und leisten so der Verschlammung und der Erosion Widerstand. Die Verleimung der Bodenbestandteile Sand und Schluff durch die Tätigkeit der Bodenlebewesen stabilisiert die Bodenoberfläche und schützt sie so vor Erosion. Die Bodenlebewesen können nur im Schatten einer Pflanzendecke tätig sein.

**VERDICHTUNGSHORIZONTE:** Hoher Tongehalt und mangelnde Durchlässigkeit wirken sich vor allem verdichtungsgefährdend aus. Am meisten wird der Boden durch Befahren in zu feuchtem Zustand verdichtet (Bildung von plattiger Struktur).

**VERROTTUNGSGRAD:** Ernterückstände vom Vorjahr sollten bis im Juni abgebaut sein. Anderenfalls deutet dies auf eine mangelnde Sauerstoffversorgung oder zu geringe biologische Aktivität hin.

Schicht, 15 x 85/100		Standort: .....		Auszubild. und Regenwassertiefe	
		Atmosphäre		Gerüche	
		Farbe		Gesch.	
		Feuchtigk.		Bodenart	
gut		krümelig, humushüblig		erdig	leicht
gut		krümelig		geruchlos	mittelschwer
mittel		bröcklig, humushüblig		modrig	schluffig
mittel		bröcklig		ranzig	schwer
mässig		klumpig		nach Senkloch	tonig (lössig)
schlecht		plattig			stabile
schlecht		einzelkorn kompakt			labile Gefügestabilität
mässig		einzelkorn lose			Feinerosion
gut					Rillenerosion
gut					Grabenrosion
gut					Verdichtungshorizonte
mässig					Pflugschle
schlecht					Verrottungsgrad der
schlecht					Ernterückstände
					Bemerkungen



RINGVERSUCH KRÜMELSTABILITÄT

---

J.A. Neyroud, RAC Changins; W. Stauffer, FAC Liebefeld; P. Weisskopf, FAP Reckenholz

## 1. EINLEITUNG

Die Krümelstabilität ist eine wichtige Eigenschaft des Bodens. Sie bestimmt den Luft-/Wasserhaushalt sowie die Bearbeitbarkeit des Bodens. Mangelnde Krümelstabilität kann das Risiko von Verschlammung, Erosion oder Verdichtung erhöhen. Die Krümelstabilität lässt sich im Feld einschätzen, kann aber auch im Labor gemessen werden. In der Schweiz kommen verschiedene Messmethoden zum Einsatz, über deren Vergleichbarkeit liegen jedoch bisher keine Resultate vor. Die Arbeitsgruppe hat sich zum Ziel gesetzt, die drei in der Schweiz gebräuchlichsten Methoden in einem Ringversuch miteinander zu vergleichen.

## 2. METHODENBESCHREIBUNG

2.1 Tauchsiebapparatur (M 1)Prinzip der Methode

Sorgfältig entnommene und gleichartig vorbehandelte Bodenproben werden in luft-trockenem Zustand durch Sieben unter Wassereinwirkung nach Aggregatgrößen fraktioniert (Tauchsieben). Mit Hilfe einer grafischen Darstellung lässt sich der mittlere Gewichts-durchmesser der Krümel vor bzw. nach der Tauchsiebung bestimmen; als Ausdruck der Krümelstabilität wird das Verhältnis zwischen den beiden mittleren Gewichts-durchmessern gewählt.

Details zur Methode

Die Ausgangsprobe wird in Fraktionen von 1-2, 2-3,15 und 3,15-5 mm ausgesiebt und deren Gewichtsanteile an der Gesamtprobe ermittelt. Zur eigentlichen Analyse werden 50 g Bodenkrümel benötigt.

Die Siebung unter Wasser erfolgt während 60 Minuten bei einer Hubhöhe von 4 cm und 44 Hüben pro Minute. Die Maschenweite der Siebe beträgt 2, 1 und 0,5 mm, der Siebdurchmesser 15 cm.

## 2.2 Stampfvolumeter-Methode (M 2)

### Prinzip der Methode

Sorgfältig entnommene und gleichartig vorbehandelte Bodenproben werden in lufttrockenem Zustand durch Sieben fraktioniert. Die einzelnen Krümelfraktionen werden nach Wiederbefeuchtung auf dem Stampfvolumeter durch wiederholte brüske Verzögerungen ("Schläge") mechanisch beansprucht. Aus dem Verhältnis des Bodenvolumens vor bzw. nach der Beanspruchung kann als Mass für die Krümelstabilität die sogenannte "Sackungsstabilität" errechnet werden.

### Details zur Methode

Die Ausgangsbodenprobe wird nach Lufttrocknung in Fraktionen von 1-2, 2-5 und 5-10 mm Durchmesser ausgesiebt. Für die Untersuchung der Sackungsstabilität werden jeweils 80 g einer Krümelfraktion in 100 ml-Messzylinder eingewogen. Auf dem Stampfvolumeter können gleichzeitig 9 Messzylinder untersucht werden, d.h. pro Beanspruchungszyklus von 1500 Schlägen eine Bodenprobe (3 Krümelfraktionen à 3 Wiederholungen).

## 2.3 Méthode de mesure de la stabilité structurale selon Hénin et al. (M 3)

### Principe de la méthode

Un échantillon de terre est prélevé avec précaution, en évitant d'écraser ou de modifier l'architecture interne des mottes. Durant une phase de séchage lent, la terre est réduite à la main en agrégats de tailles inférieures à 2 mm.

L'indice S d'instabilité est obtenu en mesurant la quantité d'agrégats ayant résisté à un traitement mécanique standardisé, après divers modes d'humectation de la terre. On mesure le rapport entre particules fines libres et agrégats résistants. L'indice K de stabilité est obtenu en mesurant la vitesse de percolation de l'eau à travers une colonne d'agrégats, ainsi que le ralentissement de cette vitesse avec le temps: les agrégats instables se détruisent et diminuent le volume réservé au passage de l'eau.

### Détails de la méthode

Indice S - Le tamisage mécanique standardisé assure la séparation entre agrégats résistants et particules fines. Indice K - Le remplissage d'un cylindre d'agrégats est exécuté de manière à exclure l'air du système.

## 3. KURZBESCHREIBUNG DER VERSUCHSSTANDORTE

	<u>Liebefeld</u>	<u>Tänikon</u>
Standortbedingungen:	pH = 6,5	= 7,0
	Bodenart sandiger Lehm	toniger Lehm
	org. C-Gehalt = 1,7 %	= 3,3 %
Verfahren:	L 25 FF GE, O L 26 FF GE, m L 28 FF GE, KS L 73 FF NW, O L 74 FF NW, m L 76 FF NW, KS	T 1 FF M, m T 2 FF M, om T 3 FF G, om T 4 FF P, om T 5 NW, om
	GE = Gemüsebau-FF NW = Naturwiese O = ungedüngte Kontrolle m = rein mineralische D. KS = hohe Klärschlammgaben	G = getreidebetonte FF M = maisbetonte FF P = FF mit Kunstwiese NW = Naturwiese m = rein mineralische D. om = organisch-mineralische D.

## 4. RESULTATE

Versuchsstandort Liebefeld

	77	76.3	0.09/21.98	Maximalwert pro Methode							Durchschnitt
	69	68.8	0.33/5.84	Minimalwert pro Methode							Verfahren
<u>Rang</u>	<u>M 1</u>	<u>M 2</u>	<u>M 3</u>	<u>74</u>	<u>76</u>	<u>28</u>	<u>73</u>	<u>26</u>	<u>25</u>		<u>Verfahren</u>
1	L 74	L 28	L 76	*	*	*					L 74
2	L 28	L 76	L 74	*	*	*					L 76
3	L 76	L 74	L 73	*	*		*				L 28
4	L 26	L 73	L 28			*	*	*			L 73
5	L 25	L 26	L 25					*	**		L 26
6	L 73	L 25	L 26				*	*	*		L 25

Versuchsstandort Tänikon

	79	81.4	0.23/18.67	Maximalwert pro Methode						Durchschnitt	
	64	73.5	0.69/7.18	Minimalwert pro Methode						Verfahren	
<u>Rang</u>	<u>M 1</u>	<u>M 2</u>	<u>M 3</u>	<u>T 5</u>	<u>T 4</u>	<u>T 1</u>	<u>T 3</u>	<u>T 2</u>		<u>Verfahren</u>	
1	T 5	T 5	T 5	***							T 5
2	T 4	T 4	T 1		**	*					T 4
3	T 3	T 1	T 4		*	*	*				T 1
4	T 1	T 3	T 3			*	**				T 3
5	T 2	T 2	T 2					***			T 2

## SCHLUSSFOLGERUNGEN UND ZUSAMMENFASSUNG

Alle drei Methoden bezeichnen beim Relativvergleich jeweils dieselben Verfahren als gut bzw. als schlecht. Bei Verfahren mit mittleren Stabilitätswerten sind die Beurteilungen unterschiedlich.

Probenahme und Probenaufbereitung spielen eine entscheidende Rolle und beeinflussen die Resultate wesentlich. Diesem Punkt muss in Zukunft vermehrt Beachtung geschenkt werden.

Der erste Ringversuch beschränkte sich auf zwei Standorte mit guten Akkerböden; er soll mit einem erweiterten Spektrum unterschiedlicher Böden wiederholt werden.

Bisher konnten nur Relativvergleiche gemacht werden. Bodenschutz, Beratung und Landwirtschaft verlangen jedoch in zunehmendem Masse nach absoluten Werten zur Beurteilung des Bodengefüges. Eine verbreiterte Datenbasis wird es erlauben, für verschiedene Standortvoraussetzungen absolute Richtwerte der Krümelstabilität anzugeben, die bei bestimmten Nutzungsarten anzustreben sind.

## C O N C L U S I O N

- 1 : Chaque méthode permet de classer les meilleurs et les moins bons procédés dans le même ordre. Quelques différences subsistent pour les valeurs intermédiaires.
- 2 : La phase de prélèvement et de préparation des échantillons de sol est décisive, car elle influence le résultat final. Une standardisation des procédures est nécessaire.
- 3 : La comparaison des méthodes a été effectuée sur deux sols seulement, elle doit être étendue plus largement.
- 4 : Les résultats obtenus doivent être comparés entre eux pour leur interprétation. Il est souhaitable d'aboutir à des valeurs absolues, directement utilisables dans la pratique et la vulgarisation. Une base de données représentatives plus large nous facilitera la tâche.

## CONSISTANCE ET COHESION DU SOL

Une approche pour déterminer la sensibilité du sol à l'érosion

B. MULLER et J.A. NEYROUD, RAC-Changins 1260 NYON

Les propriétés mécaniques du sol agricole sont mal connues. Pourtant les progrès en géotechnique durant ces dernières décades nous offrent des bases théoriques ainsi que des instruments de mesure permettant d'étudier le comportement mécanique du sol agricole. La première application envisageable est la prévision de la sensibilité du sol à l'érosion (érodibilité).

### 1. CONSISTANCE

Les limites de consistance d'Atterberg permettent de **caractériser** du point de vue géotechnique un sol fin (> 50 % des éléments avec  $\phi < 0,06$  mm) ou la fraction fine d'un sol grossier (normes SNV 670 005 et SNV 670 008). Lorsqu'on ajoute progressivement de l'eau à un sol, on constate des changements dans sa consistance. Les limites de consistance usuelles sont les limites de plasticité et de liquidité (Fig. 1):

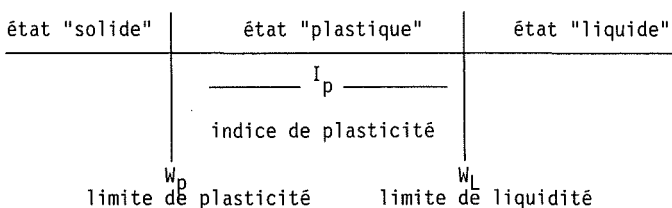
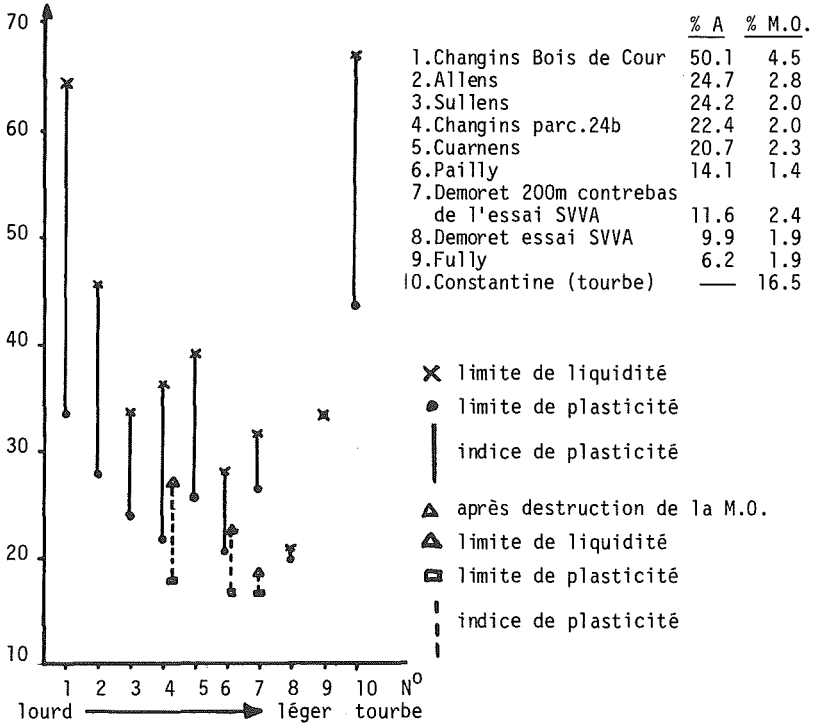


Figure 1 Limites de consistance d'Atterberg

- La limite de liquidité  $W_L$  est définie par la teneur en eau du sol lorsque une raie faite dans un gâteau de sol se referme sur 1 cm après avoir subi 25 secousses à l'aide de l'appareil de Casagrande.
- La limite de plasticité  $W_p$  est définie par la teneur en eau, lorsque en roulant un échantillon de sol, le boudin se brise à une épaisseur de 3 mm.
- L'indice de plasticité  $I_p$  est la différence entre les deux limites ci-dessus.

La détermination des limites de consistance est décrite par la norme SNV 670 345 ainsi que par KARLSSON, 1981.

Les limites de consistance d'une dizaine de sols agricoles ont été mesurées. Les résultats reportés sur la *Figure 2* montrent bien l'influence du taux d'argile (A) et du taux de matière organique (% M.O.).



**Figure 2 :** Limite de consistance et indice de plasticité de différents sols agricoles de Suisse pour 4 sols les mesures ont été répétées après destruction de la M.O. à l'aide de  $H_2O_2$ .

L'indice de plasticité ainsi que la limite de consistance tendent à diminuer avec une baisse du taux d'argile mesuré par granulométrie. De même, la destruction de la matière organique provoque une chute de l'indice de plasticité ainsi que des limites de consistance. L'influence du traitement à l'eau oxygénée ( $H_2O_2$ ) sur les minéraux argileux n'a pas été prise en compte.

Les teneurs en argile granulométrique et en matière organique ne peuvent expliquer toutes les variations de l'indice de plasticité. En effet, la fraction argileuse d'un sol comprend des minéraux fort variés,

à densités de charges, etc... différentes. Le géotechnicien tient largement compte de l'indice d'activité de l'argile (LANG, HUDER, 1985). Les quelques mesures de consistance effectuées sur les sols cultivés concordent avec les résultats de SEED, WOODWARD, LUNDGREN (1964) en ce qui concerne l'influence de la teneur et de l'activité de l'argile. La chute de l'indice de plasticité et des limites de consistance observée après destruction de la M.O. concordent aussi avec les observations faites sur des sols agricoles avec moins de 30 % d'argile par REMY (1971). En résumé, pour les sols observés, l'indice de plasticité et les limites de consistance sont proportionnels à la teneur en argile, à l'activité de celle-ci et la teneur en matière organique (humus !). Ces trois paramètres peuvent être considérés comme quasi invariants. L'indice de plasticité et la limite de consistance caractérisent donc de manière **INTRINSEQUE** le sol cultivé.

## 2. COHESION

La cohésion permet d'estimer la force qui retient les particules du sol entre-elles (BENDER, 1984). Plus précisément la cohésion est égale à la résistance au cisaillement lorsque la pression normale au plan de fracture est nulle.

La résistance au cisaillement a été mesurée au champ à l'aide d'un scissomètre et au laboratoire à l'aide d'un pénétromètre à cône (Fallcone g-200 de GEONOR). La profondeur de pénétration du cône permet de calculer la résistance au cisaillement (HANSBO, 1957). La cohésion apparente se mesure sur des échantillons saturés.

Les mesures de résistance au cisaillement et de cohésion ont uniquement été effectuées pour le sol No 4 (Changins). Nous constatons :

- la résistance au cisaillement (mesurée avec le scissomètre) chute avec un taux d'humidité croissant;
- il semble que la cohésion (mesurée avec le scissomètre) soit influencée par la technique de travail du sol. Cette différence n'a pas été mise en évidence avec le pénétromètre à cône;
- la cohésion (mesurée avec le pénétromètre à cône) n'est pas influencée par les divers amendements organiques, ni par la fumure N.

En résumé, la cohésion dépend de la consolidation subie par le sol ainsi que de sa teneur en eau lors de la mesure. Elle complète l'"histoire des contraintes récentes" de la parcelle, elle est une propriété **TEMPORAIRE** du sol.

### 3. APPLICATION A LA MESURE DE LA SENSIBILITE DU SOL A L'EROSION

La connaissance de la sensibilité du sol à l'érosion (érodibilité) grâce à un test de champ ou de laboratoire permettrait de mieux prévoir le risque d'érosion. On se gardera cependant d'oublier les autres facteurs d'érosion : l'érosivité de la pluie, morphologie du terrain, couverture végétale et techniques culturales.

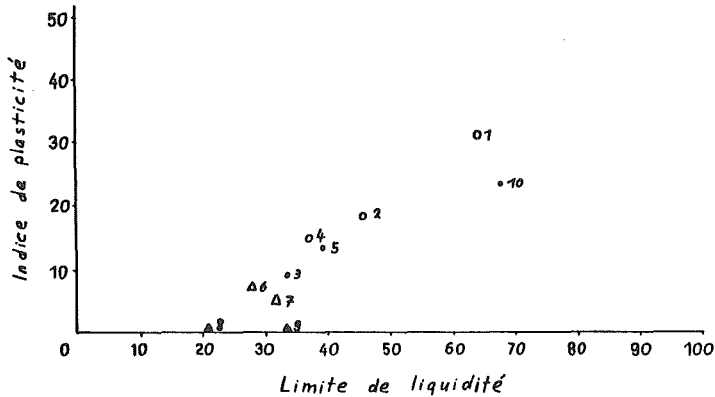


Figure 3 : Diagramme de plasticité

La figure 3 montre que les limites de consistance permettent de classer les sols quant à leur résistance à l'érosion. Les sols les plus sensibles ont des limites de liquidité  $W_p$  et des indices de plasticité  $I_p$  bas ( $I_p < 10$  ?).

Le présent travail constitue une première approche de l'étude des propriétés mécaniques du sol agricole. D'autres applications sont envisageables notamment dans le domaine du travail du sol. Cette étude a été rendue possible grâce à un crédit du PNR-22 "sol" et de la collaboration de l'"Institut für Grundbau und Bodenmechanik" de l'EPFZ.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE

BENDER, H. 1984. Erosion feinkörniger Böden : Ein Problem der Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Spannungsgeschichte und des Spannungspfad bei Wassergehaltsänderungen. Mitteilungen Nr. 123 des Institut für Grundbau und Bodenmechanik. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

HANSBO, S. 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. Royal Swedish Geotechnical Institute. Proceedings No 14. Stockholm.



KARLSSON, R. 1981. Consistency limits. Performance and interpretation of laboratory investigation, part 6. Swedish Geotechnical Society, Stockholm.

LANG, H.J., HUDER, J. 1985. Bodenmechanik und Grundbau. pp 8, Springer Verlag, Berlin.

REMY, J.C. 1971. Influence de la constitution physique des sols sur leur comportement mécanique; signification des limites d'Atterberg en matière de travail du sol. Ann. agron. 22 (3), 267-290.

SEED, H.B., WOODWARD, R.J., LUNDGREN, R. 1964. Clay mineralogical aspects of the Atterberg limits. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE. Vol. 90 No SM4, July, 107-131.

SNV 670 005. Association suisse de normalisation. Classification des sols. Méthode de chantier selon USCS. Editeur : Union des professionnels suisses de la route (VSS). Zürich.

SNV 670 008. Classification des sols. Méthode de laboratoire selon USCS.

SNV 670 345. Limites de consistance.



QUANTITATIVE BODENEROSIONSFORSCHUNG AUF SCHWEIZERISCHEN AGRARFLÄCHEN

---

V. PRASUHN & D. SCHAUB

Forschungsgruppe Bodenerosion am Ordinariat für Physiogeographie und Geoökologie, Geographisches Institut der Universität Basel, Klingelbergstr. 16

1. EINLEITUNG

Am Geographischen Institut der Universität Basel wurde 1975 unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr. H. LESER die Forschungsgruppe Bodenerosion gegründet, die in dem seit 1975 vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF) geförderten Projekt "Quantitative Bodenerosionsforschung auf schweizerischen Agrarflächen" eine ausgereifte und umfangreiche Methodik zur Erfassung der Bodenerosion entwickelt und in geökologisch verschieden ausgestatteten schweizerischen Agrarlandschaften eingesetzt hat. Die wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Thema sind in einem Schriftenverzeichnis (FORSCHUNGSGRUPPE BODENEROSION 1988) zusammengestellt.

2. RÄUMLICHE PROJEKTKONZEPTION

Gearbeitet wird in Testgebieten, meist Kleineinzugsgebieten, unterschiedlicher geomorphologischer und geökologischer Landschaftstypen (Abb. 2). Infolge unterschiedlicher Substrate, Böden, Niederschlagssummen, Reliefformen und Nutzungsarten zeigen die Gebiete eine verschieden grosse Erosionsdisposition. Ausführliche Gebietsbeschreibungen sind den Dissertationen von R.-G. SCHMIDT (1979), W. SEILER (1983), J. ROHRER (1985) und S. VAVRUCH (1988) zu entnehmen. Die Gebiete Moränales Hügelland (Bodenerosionsbekämpfung in Zusammenarbeit mit der Kant. Landwirtschaftlichen Schule Strickhof) und Feuerbach wurden erst 1987 neu eingerichtet.

3. SACHLICHE PROJEKTKONZEPTION

Die Grundlage der Untersuchungen bildet ein ganzheitlicher, geoökologischer Forschungsansatz, da Bodenerosion als pedo- und geomorphologischer Prozess im Geoökosystem stattfindet und daher wegen des komplexen Charakters als geökologischer Prozess verstanden wird (H. LESER 1986). Der geökologische Forschungsansatz beinhaltet gleichzeitig, dass in der Grössenordnung der topologischen Dimension gearbeitet wird. Der Arbeitsmassstab beträgt 1:1000 bis 1:10 000, je nach Gebietsgrösse und angestrebter Aussage. Dies bedeutet nur geringe Generalisierung, zwingt aber zur Systematisierung der Erosionsformen.

Weiterhin können nur langfristige Untersuchungen, die der witterungsabhängigen Variabilität des Erosionsprozesses gerecht werden, repräsentative Ergebnisse liefern.

Als Konsequenz daraus wurde für die Feldarbeit die "mehrstufige Messmethodik" (R.-G.SCHMIDT 1979, H.LESER 1986) entwickelt, mit der die nachfolgenden Ziele realisiert werden können.

### 3.1 Ermittlung von allgemeinen und regionalen geomorphodynamischen Basisdaten

Flächenhafte Messungen und Kartierungen bilden den Schwerpunkt der Untersuchungen. Eine systematische Erfassung der Erosionsschäden erfolgt über die Komplexe Schadenskartierung, indem Ausmass, Art und räumliche Verteilung der Erosionsschäden quantitativ bzw. qualitativ nach jedem erosiv wirksamen Niederschlagsereignis bestimmt werden. Flächendeckende Boden- und Substrataufnahmen, geomorphologische Kartierungen (Wölbung und Neigung) und Kartierungen der agrotechnischen Randbedingungen (Landnutzung, Bearbeitungszustand und -richtung) stellen die Basis und Bezugsgrundlage für die Komplexe Schadenskartierung dar.

Abgesichert und verfeinert werden diese Ergebnisse durch quasi-flächenhafte Messungen mit sogenannten Feldkästen, die in regulär bearbeitete Felder eingebaut werden.

Punktuelle Messungen dienen der exakten Erfassung des Prozessgeschehens unter definierten Bedingungen an einem Standort. Testflächen sind "Tesserae" mit dem Standortregelkreis als methodischer Grundlage und liefern neben exakten Abtragsdaten die geökologischen Rahmenbedingungen im Klima-, Wasser- und Stoffhaushaltsbereich.

Durch Freilandexperimente, z.B. mit Hilfe künstlicher Beregnung auf Testparzellen, können zusätzlich sehr gezielt einzelne am Bodenerosionsprozess beteiligte Faktoren untersucht werden.

### 3.2 Regionale Differenzierung der Bodenerosionsprozesse und -formen

Die einheitliche Methodik ermöglicht Vergleiche der geökologisch unterschiedlich ausgestatteten Gebiete. Durch diese Vergleiche können die jeweils dominanten Steuerfaktoren des Bodenerosionsprozesses erkannt werden. Daraus lassen sich wiederum gebietsdifferenzierte Bodenerosionsbekämpfungsmassnahmen ableiten.

### 3.3 Ursachenanalysen und Modellrechnungen

Die homogene und systematische Datenerhebung ermöglicht die Datensammlung und Datenverarbeitung in der institutseigenen Bodenerosionsdatenbank ERODAT (D.SCHAUB & W.DETTLING 1987), in der auch die geökologischen und sonstigen Randdaten abgespeichert werden. Ursachenanalysen und Modellrechnungen innerhalb der Gebiete, aber auch zwischen den einzelnen Gebieten lassen sich somit durchführen. Es können Vorhersagemodelle entwickelt bzw. bestehende Modelle wie die Universal Soil Loss Equation (USLE) mit feldbezogenem Datenmaterial überprüft und für schweizerische Verhältnisse modifiziert werden.

## 4. ERGEBNISSE

Der Vergleich der langfristigen Abtragsmengen (Abb. 1) zeigt die regional sehr unterschiedliche Erosionsdynamik. Dabei werden in allen Gebieten bis zu 20% der Ackerflächen über die natürliche Regenerationsfähigkeit des Bodens hinaus geschädigt. Bodenerosion muss somit auch in der Schweiz als Umweltproblem ernstgenommen werden.

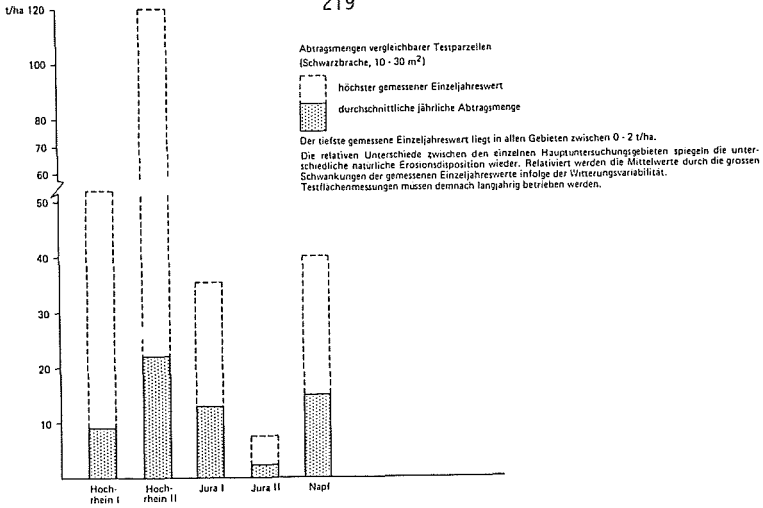


Abb. 1: Abtragungsmengen vergleichbarer Testparzellen der einzelnen Untersuchungsgebiete.

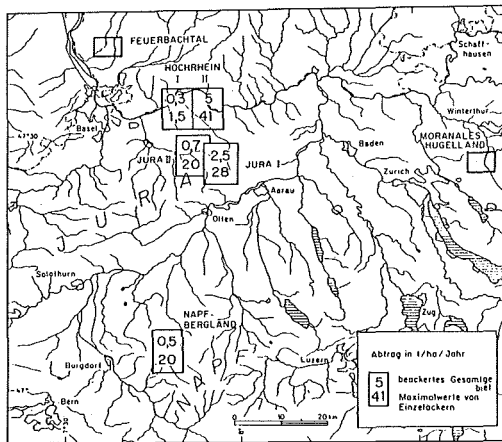


Abb. 2: Regionaler Vergleich der Abtragungsmengen sämtlicher Untersuchungsgebiete.

Ziel der Bodenerosionsforschung kann es demnach nicht bleiben, das Erosionsausmass festzustellen. Vielmehr muss sie sich mit Fragen der Bodenerosionsbekämpfung (Verminderungsmassnahmen, Voraussage; H.LESER 1988) und den ökologischen Folgen der Bodenerosion (z.B. der Gewässerbelastung durch mit dem Boden abgeschwemmte Stoffe; V.PRASUHN 1988) beschäftigen. Aus den Ergebnisse lassen sich Erosionsgefährdungskarten und Landeignungsklassifikationen ableiten.

## 5. RESUME

Le projet étudie l'érosion du sol sur des surfaces cultivées. Les recherches sont effectuées dans des zones-test qui sont le plus souvent des bassins versants, à différentes échelles. On utilise des parcelles-test spécialement équipées et procède en parallèle à des conditions réelles. L'érosion du sol dépend de plusieurs caractéristiques du géoécosystème, telles les conditions pédologiques, climatologiques et hydrologiques. Du fait des fluctuations des conditions expérimentales rencontrées sur le terrain, les études entreprises n'ont de signification qu'à long terme. Les résultats acquis à ce jour peuvent être considérés comme représentatifs pour différentes zones-test (tab. 1 et 2). Les mesures effectuées montrent que dans quelques zones-test sur 20% des champs les totaux annuels de pertes en terre dépassent de loin le taux de régénération du sol. Une partie du projet est consacrée à l'étude de mesures de protection du sol, une autre à l'étude de la charge des eaux avec des agents nutritifs conditionnée par l'érosion du sol. En Suisse, il est impératif de protéger le sol et de le cultiver avec ménagement.

## 6. LITERATUR

- FORSCHUNGSGRUPPE BODENEROSION, 1988: Schriftenverzeichnis: Bodenerosion, 7 S. (als Manuskript vervielfältigt).
- LESER, H., 1986: Bodenerosion - Erforschung eines geoökologischen Prozesses. Hallesches Jahrb. f. Geowissenschaften, 11, S.1-17.
- LESER, H., 1988: Bodenerosionsforschung - Wandel eines Projektes. Regio Basiliensis, 29, (im Druck).
- PRASUHN, V., 1988: Bodenerosion und Bodenerosionsbekämpfung im Basler Tafeljura - ein nährstoffliches Problem? Regio Basiliensis, 29, (im Druck).
- ROHRER, J., 1985: Quantitative Bestimmung der Bodenerosion unter Berücksichtigung des Zusammenhanges Erosion-Nährstoff-Abfluss im oberen Langete-Einzugsgebiet. Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd.6, 242 S.
- SCHAUB, D. & W.DETTLING, 1987: Die Bodenerosionsdatenbank ERODAT und ihre Anwendungsmöglichkeiten. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 53, S.255-260.
- 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 Rhein-schlinge zwischen Rheinfelden 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.
- VAVRUCH, S., 1988: Bodenerosion und Wechselbeziehungen zu Wasser, Relief, Boden und Landwirtschaft in zwei Einzugsgebieten des Basler Tafeljura (Hemmiken, Rothenfluh). Physiogeographica, Basler Beiträge zur Physiogeographie, Bd.10 (im Druck).

**BODENKARTIERUNG IM DIENSTE VON PLANUNG, LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT  
LES CARTES DES SOLS AU SERVICE DE LA PLANIFICATION, DE L'AGRICULTURE ET  
DE LA SYLVICULTURE**

---

(Texte français voir 2ème partie de l'article)

L.-F. Bonnard, M. Müller und U. Zihlmann  
Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau, 8046 Zürich-Reckenholz

### **EINLEITUNG**

Seit 30 Jahren werden an der Forschungsanstalt Reckenholz Bodenkartierungen in verschiedenen Massstäben durchgeführt.

In den 70er Jahren wurden die Landwirtschaftliche Bodeneignungskarte der Schweiz 1:300'000 und die Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 erstellt.

Die halbdetaillierte Bodenkarte der Schweiz 1:25'000 wurde 1977 als langfristiges Projekt in Angriff genommen. Die Blätter Uster, Hochdorf, Lyss, Hörnli, Grindelwald, Wohlen und Murten sind bereits publiziert, die Blätter Zurzach, Zürich und Luzern sind im Druck.

Die ersten detaillierten Karten (Massstab 1:1'000 bis 1:10'000) gehen auf das Jahr 1958 zurück. Bis Ende 1987 wurden in ca. 400 Gemeinden (siehe Verzeichnis am Ende dieses Artikels) rund 130'000 ha kartiert. Dies entspricht 12 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (1'076'000 ha, ohne Alpenweiden; Betriebszählung 1985) unseres Landes. Auf den Wald, wo erst in den 80er Jahren mit grossmassstäbigen Kartierungen begonnen wurde, entfallen rund 3'000 ha in 10 Gemeinden.

### **ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON BODENKARTEN**

Die Anwendungsmöglichkeiten einer Bodenkarte sind vom Massstab abhängig. Dieser bestimmt die Variationsbreite und die Minimalfläche der dargestellten Einheiten. Der Uebersichtlichkeit halber sollten die kleinsten Flächen auf der Karte nicht weniger als 1 cm<sup>2</sup> umfassen. Je nach Massstab entspricht dies in Wirklichkeit Flächen unterschiedlicher Grösse (Tab. 1).

Tab. 1. Kleinste darstellbare Flächen bei verschiedenem Kartenmassstab /  
Surface minimale représentable selon l'échelle de la carte

Kartenmassstab Echelle	Minimalfläche / Surface minimale (1 cm <sup>2</sup> auf der Karte) (1 cm <sup>2</sup> sur la carte)
1:200'000	400 ha (4 km <sup>2</sup> )
1: 25'000	6,25 ha
1: 10'000	1 ha
1: 5'000	25 a
1: 1'000	1 a

Die **Bodenkarten im Massstab 1:200'000 und 1:300'000** geben eine Uebersicht über die Bodenverhältnisse in unserem Lande. Sie dienen der Raumplanung auf überregionaler Ebene.

Die **Bodenkarte der Schweiz 1:25'000** ist eine wertvolle Grundlage für die Orts- und Regionalplanung. Am häufigsten gelangte sie bisher in der Landwirtschaft und bei Planungsfragen zum Einsatz (MUELLER und ZIHLMANN 1987 a,b). 1:25'000 ist ein halbdetaillierter Massstab, welcher zwar die Darstellung wichtiger Einzelheiten erlaubt, für eine grundstückbezogene Bodenbeurteilung aber häufig zu klein ist. Die Karten lassen sich jedoch mit relativ geringem Aufwand an Feldarbeit verfeinern.

**Detaillierte Bodenkarten im Massstab 1:1'000 bis 1:10'000** erlauben eine grundstück- oder schlagbezogene Beurteilung des Bodens. Sie gelangen hauptsächlich bei Güterzusammenlegungen (Bodenbonitierung), bei der Planung von Bodenverbesserungsmassnahmen und bei der land- und forstwirtschaftlichen Betriebsplanung zur Anwendung. Auf der Grundlage der Detailkarten werden meistens **Auswertungskarten** erarbeitet:

- Auf der **Eignungskarte** werden Böden, welche sich für eine ähnliche Nutzung eignen, zusammengefasst. Bei der Beurteilung der land- und forstwirtschaftlichen Eignung eines Standortes müssen neben dem Boden auch die klimatischen und topographischen Verhältnisse miteinbezogen werden.
- Auf der **Belastbarkeitskarte** werden das Filtrationsvermögen des Bodens für flüssige Hof- und Abfalldünger (insbesondere Gülle) sowie die Gefahr des Oberflächenabflusses beurteilt. Dabei wird auch der Tatsache Rechnung getragen, dass leicht lösliche Stoffe wie Nitrat im Boden kaum adsorbiert werden, sondern - sofern sie nicht von den Pflanzen aufgenommen werden - im Bodenwasser gelöst bleiben. - Neben den Bodeneigenschaften werden auch Hangneigung und Niederschlagsverhältnisse (Niederschlagsmenge und -intensität) berücksichtigt.

Besonderes Gewicht kommt den Bodenkarten in neuerer Zeit bei der Nutzungsplanung der Gemeinden zu: Sie sind die beste Grundlage für die Auscheidung von Fruchtfolgeflächen. Bereits werden die Karten auch bei Umweltverträglichkeitsprüfungen eingesetzt, ein Anwendungsbereich, welcher in den nächsten Jahren noch an Bedeutung gewinnen dürfte.



## VUE D'ENSEMBLE

La Station fédérale de recherches agronomiques de Zurich-Reckenholz (FAP) effectue des cartes des sols depuis une trentaine d'années. Elle a publié une Carte des aptitudes culturales des sols de la Suisse au 1:300'000 et une Carte des aptitudes des sols de la Suisse au 1:200'000. Un lever systématique au 1:25'000 a débouché sur la publication des feuilles Uster, Hochdorf, Lyss, Hörnli, Grindelwald, Wohlen et Morat; les feuilles Zurzach, Zurich et Lucerne sont en impression. Des cartes détaillées du 1:1'000 au 1:10'000 ont été réalisées sur environ 400 communes, totalisant 130'000 ha; en Suisse romande pour l'essentiel dans les cantons du Jura et de Fribourg (voir la liste en fin d'article).

## UTILISATION DES CARTES DES SOLS

Les cartes des sols sont avant tout au service de l'agriculture, de la sylviculture, de la planification et de la protection de l'environnement. Leur contenu, en particulier leur pouvoir de définition plus ou moins élevé, d'où découle le degré de généralisation des informations fournies, dépend de l'échelle utilisée (voir tab. 1). Les cartes à petite et moyenne échelle (1:300'000 à 1:25'000) trouvent usage auprès des offices et bureaux chargés de problèmes régionaux (délimitation des surfaces d'assolement, boues d'épuration, protection des eaux), où elles contribuent à l'élaboration de problématiques d'ensemble et à la mise en évidence de points critiques. Les cartes des sols à grande échelle (1:1'000 à 1:10'000), de ce fait très détaillées, sont largement utilisées par les améliorations foncières pour étayer les plans de drainage et pour asseoir l'estimation des parcelles lors de remaniements parcellaires.

## LES CARTES DES SOLS DANS LES AMELIORATIONS FONCIERES

En cas de drainages envisagés, les cartes des sols dessinent les limites naturelles des terrains classés d'après leur degré de mouillure et donnent des éléments permettant de comprendre et de prévoir leur comportement hydrologique avant et après drainage.

Dans les remaniements parcellaires, les cartes des sols ont pour objectif d'exprimer la valeur agricole de chaque terrain naturellement délimité; cette valeur est déterminée par le rôle du sol dans le développement racinaire, la fourniture en eau, l'aération des racines, la rétention des engrais, le travail du sol et tous les travaux mécanisés. Elle est exprimée en points sur une échelle de 100. C'est la cote du sol. Les commissions chargées de l'estimation des parcelles prennent cette dernière comme base de calcul à partir de laquelle elles opèrent des plus- ou des moins-values imposées par les autres caractéristiques des fonds (pente, climat, forme, éloignement, servitudes etc.).

Les cartes des sols sont le point de départ de plusieurs cartes dérivées: carte des aptitudes culturales (avec intégration de la pente et des différences climatiques locales), carte d'épandage des engrais liquides. Des domaines vraisemblablement en expansion vu l'obligation d'aménager le territoire et des études d'impact.

**LISTE DER DETAILLIERTEN FAP-BODENKARTEN (1:1'000 - 1:10'000)**  
**LISTE DES CARTES DES SOLS DETAILLEES (1:1'000 - 1:10'000) DE LA FAP**  
**RECKENHOLZ** (Stand Februar 1988 / état février 1988)

Wo nicht anders vermerkt, handelt es sich um landwirtschaftlich genutzte Flächen / Sans autre indication, il s'agit de surfaces agricoles.

**KANTON AARGAU**

Aristau, Auw, Beinwil (Freiamt), Birr, Bözen, Elfingen (Rüget), Hausen bei Brugg, Hermetschwil-Staffeln, Jonen, Lupfig, Magden, Merenschwand, Mettau, Mühlau, Mülligen, Muri (Lippertswiese), Oberlunkhofen, Oeschgen, Rietheim, Rottenschwil, Rudolfstetten-Friedlisberg (inkl. Wald), Schafisheim (Kiesareal), Scherz, Schinznach Dorf, Schöftland (Staffelbach), Unterlunkhofen, Villnachern, Waltenschwil, Wiliberg, Wohlenschwil

**KANTON APPENZEL AR**

Heiden, Herisau, Lutzenberg, Walzenhausen, Wolfhalden

**KANTON BASEL-LANDSCHAFT**

Läufelfingen, Liestal (Wald), Wintersingen (inkl. Wald)

**KANTON BERN / CANTON DE BERNE**

Aarberg, Aefligen, Arch, Ballmoos, Barga, Belp, Brüttelen, Buchholterberg, Deisswil bei Münchenbuchsee, Epsach, Erlach, Finsterhennen, Gals, Gampelen, Grossaffoltern, Hagneck, Hasle bei Burgdorf, Heimenhausen, Hermrigen, Höfen bei Thun, Iffwil, Ins, Ipsach, Jens, Krauchthal, Landiswil, La Neuveville, Lengnau, Leuzigen, Limpach, Lützelflüh, Lyss (Hardern), Meisnig, Merzlingen, Moosseedorf, Mühleberg, Münchenbuchsee (Buchsimoos), Ostermundigen (Waldau), Pieterlen, Radelfingen, Rapperswil, Röthenbach bei Herzogenbuchsee, Rüderswil, Rumisberg, Scheunen, Seedorf, Siselen, Sorvilier, Souboz, Täuffelen, Toffen, Treiten, Tschugg, Twann (Twannberg), Utzenstorf, Wachseldorn, Walperswil, Wanzwil, Wiggiswil, Wolfisberg, Wynigen, Zollbrück (Ranflüh), Zuzwil, Zweisimmen (Eggenalp)

**KANTON FREIBURG / CANTON DE FRIBOURG**

Billens, Cheiry, Cordast, Domdidier, Dompierre, Düdingen, Fétigny, Guschelmuth, Hennens, Murist, Nuvilly, Prévondavaux, Russy, Tafers

**KANTON GRAUBUENDEN**

Almens, Brusio, Casis, Fideris, Fläsch, Flerden, Fuldera, Fürstenau, Grösch, Jenaz, Lü, Luzein, Masein, Müstair, Paspels, Portein, Poschiamo, Pratval, Präz, Rodels, Rothenbrunnen, Santa Maria im Münstertal, Sarn, Scharans, Schiers, Sent, Sils im Domleschg, Susch, Tartar, Thusis, Tschiers, Tumegl/Tomils, Urmein, Valchava

**KANTON DU JURA**

Alle, Bassecourt, Boécourt, Châtillon, Cornol, Courfaivre, Courgenay, Courtedoux, Delémont, Devèlier, Fontenais, Glovelier, Les Breuleux, Mettembert, Montenol, Saint-Brais, Soyhières, Vicques

**KANTON LUZERN**

Aesch, Altbüren, Altwis, Buchrain, Dagmersellen, Eich, Emmen, Eschenbach, Gelfingen, Inwil, Kulmerau, Langnau bei Reiden, Lieli, Mosen, Neudorf, Neuenkirch, Root, Rothenburg, Schenkön, Sempach, Sulz, Sursee, Triengen, Uffikon, Wauwil

**KANTON OBWALDEN**

Giswil, Sarnen (Glaubenberg)

**KANTON ST. GALLEN**

Andwil, Alt St. Johann, Altstätten, Au, Bad Ragaz, Balgach, Berg, Berneck, Brunnadern, Buchs, Bütschwil (inkl. Wald), Degersheim, Diepoldsau, Eggersriet, Eichberg, Flawil, Flums, Gams, Ganterschwil, Goldach, Gommiswald, Gossau, Grabs, Häggenschwil, Jonschwil, Kirchberg, Marbach, Mels, Mörschwil, Mosnang, Muolen, Niederbüren, Oberbüren, Oberriet, Rebstein, Rheineck, Rorschach, Rorschacherberg, Rüthi, St. Gallen, St. Margrethen, Sargans, Schmerikon, Sennwald, Sevelen, Steinach, Thal, Trübbach, Tübach, Untereggen, Uzwil, Vilters, Walenstadt, Wartau, Werdenberg, Widnau, Wildhaus, Wittenbach, Zuzwil

**KANTON SCHAFFHAUSEN**

Beringen, Guntmadingen, Hallau, Lohn, Löhningen, Merishausen, Neunkirch, Oberhallau, Ramsen, Schaffhausen (Solenberg: Wald), Siblingen, Thayngen

**KANTON SOLOTHURN**

Aedermannsdorf, Balsthal, Bellach, Bettlach, Biberist, Deitingen (Schachen), Grenchen (Witi), Laupersdorf, Lüsslingen, Matzendorf, Nennigkofen, Niederbuchsiten, Oensingen, Riedholz (Wallierhof), Selzach, Solothurn (Staatsbetriebe), Unterramsern, Welschenrohr, Wisen

**KANTON TESSIN**

Arbedo-Castione, Ascona, Aurigeno, Avegno, Bellinzona, Biasca, Bignasco, Cadenazzo, Camorino, Castione, Cavergno, Cevio, Claro, Coglio, Coldrerio, Contone, Cresciano, Cugnasco, Genestrerio, Giubiasco, Giumaglio, Gnosca, Gordio, Gorda, Gorduno, Gudo, Iragna, Lavertezzo, Locarno, Lodano, Lodrino, Losone, Lumino, Magadino, Mendrisio, Moghegno, Molena, Monte Carasso, Novazzano, Osogna, Pollegio, Prato (Leventina), Preonzo, Rancate, Riva San Vitale, Sant'Antonio, Semione, Someo, Stabio, Tegna, Tenero-Contra

**KANTON THURGAU**

Aadorf/Ettenhausen (FAT-Areal), Diessenhofen/Willisdorf (St. Katharinental), Ellighausen (FAP-Areal), Horn (Goldachdelta)

**KANTON URI**

Altdorf, Attinghausen, Bürglen, Erstfeld, Flüelen, Schattdorf, Seedorf, Silenen

**KANTON DE VAUD**

Chéserey, Duillier, Gingins, Prangins

**KANTON WALLIS / KANTON DU VALAIS**

Ausserbin, Bellwald, Biel, Binn, Bister, Blitzingen, Ernen, Fiesch, Fieschertal, Geschinen, Gluringen, Grengiols, Lax, Liddes, Martisberg, Mühlebach, Münster, Niedergesteln, Niederwald, Obergesteln, Oberwald, Reckingen, Ried bei Mörel, Ritzingen, Selkingen, Sierre, Steinhaus, Ulrichen

**KANTON ZUG**

Neuheim

**KANTON ZUERICH**

Aathal, Affoltern am Albis, Bachenbülach, Bassersdorf (Baltenswil), Birmensdorf (Wald ETH), Boppelsen (inkl. Wald), Buchs, Dänikon, Dübendorf (Hermikon), Fehraltorf, Flaach, Gossau, Greifensee, Henggart, Hettlingen, Hofstetten (inkl. Wald), Hombrechtikon, Hüntwangen, Hüttikon, Kappel am Albis, Lindau (Eschikon, Tagelswangen), Maur, Mönchaltorf, Niederhasli, Oberglatt, Oberstammheim, Oetwil an der Limmat, Opfikon, Otelfingen (inkl. Wald), Pfäffikon, Rafz, Schlatt (inkl. Wald), Schwerzenbach, See-gräben, Seuzach, Stäfa (inkl. Wald), Stallikon (Wald ETH), Turbenthal, Uitikon (Wald ETH), Unterstammheim, Uster, Volketswil, Waltalingen, Wasterkingen, Weiach (inkl. Wald), Wettswil (Wald ETH), Wil, Wila (inkl. Wald), Zürich (Reckenholz, Wald ETH)

**LITERATUR**

MUELLER, M. und ZIHLMANN, U., 1987a:

10 Jahre Bodenkartierung 1:25'000. Bulletin Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz 11, 25-30.

MUELLER, M. und ZIHLMANN, U., 1987b:

Bodenkarten 1:25'000 - eine wertvolle Grundlage für Planung, Land- und Forstwirtschaft. Mitteilungen für die Schweiz. Landwirtschaft 35, 11, 295-301.

ERARBEITUNG VON LANDW. GRUNDLAGEN FÜR DIE NUTZUNGSPLANUNG NACH  
 RAUMPLANUNGSGESETZ UND FÜR DIE BEZEICHNUNG VON FRUCHTFOLGEFLÄCHEN  
 IM KANTON AARGAU

---

Viktor Schmid, Ruedi Bolliger  
 Finanzdepartement Aargau, Abteilung Landwirtschaft,  
 Telli-Hochhaus, 5004 Aarau

RESUME

La loi fédérale sur l'aménagement du territoire exige des communes l'élaboration des plans d'affectation, qui lient les propriétaires fonciers. L'agriculture est touchée par ce procédé très essentiellement et profondément. Leurs intérêts et désirs et leurs conflits avec des autres activités doivent être présentés par des argumentations objectives. Dans le canton d'Argovie sont élaborés des bases de planification correspondantes (des cartes à qualification agronomique, des inventaires aux entreprises agricoles), qui servent avant tout à la délimitation des différentes zones d'affectation. Elles représentent en même temps une instrumente pour la séparation objective des surfaces d'assolement. Il s'agit à ce sujet d'une méthode pragmatique qui fut développée il y a plusieurs ans dans des restrictions différentes. On a fait des expériences positives dans plus que 200 applications.

1. AUSGANGSLAGE, RANDBEDINGUNGEN

Das Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juni 1979 (RPG) verlangt von den Kantonen die Erstellung von Richtplänen (Art. 6) und von den Gemeinden die Erarbeitung von Nutzungsplänen (Art. 14). Nutzungspläne ordnen die zulässige Nutzung des Bodens. Sie unterscheiden vorab Bau-, Landwirtschafts- und Schutzzonen (Art. 14 RPG). In diesem Verfahren ist die Landwirtschaft sehr wesentlich und weitgehend betroffen. Im Wettstreit um den Boden bzw. um die Abgrenzung der Nutzungszonen gilt es, die landw. Interessen an der Erhaltung des Kulturlandes und insbesondere des gut geeigneten (Fruchtfolgeflächen) wahrzunehmen. In allen Gemeinden sollten landw. Planungsgrundlagen nach objektiven Kriterien und einer einheitlichen Methode erarbeitet werden. Angesichts der umfangreichen Aufgaben (232 Gemeinden), der vom RPG vorgegebenen Zeitlimite (1987), des weitgehenden Mangels an verwendbaren Grundlagen (z.B. Bodenkarten) und des weitgehenden Fehlens geeigneter landwirtschaftlicher Fachleute in den Planungsbüros galt es, ein System und Vorgehen zu entwickeln, welches mit angemessenem Aufwand (finanzieller und personeller Art) zu gültigen Aussagen führt. Es muss beachtet werden, dass es darum ging, die Gemeindebehörden zu einer Arbeit (Nutzungsplanung) zu motivieren, für welche nicht zum vorneherein Akzeptanz oder gar Enthusiasmus erwartet werden durfte.

## 2. ERGEBNIS, VORGEHEN

Das Ergebnis präsentiert sich in Form einer kommunalen landwirtschaftlichen Eignungskarte (EK) im Massstab 1:5000 und eines Inventares der Landwirtschaftsbetriebe (Betriebsinventar). Die EK ist eine Darstellung der agronomischen (natürlichen) Eignung der offenen Flur ausserhalb und innerhalb des Baugebietes. Sie enthält im Weiteren die Standorte der Landwirtschaftsbetriebe mit einigen wesentlichen Merkmalen. Das Betriebsinventar gibt Auskunft über den Betriebsinhaber, die Eigentumsverhältnisse, die Erwerbsart, die Nachfolgesituation, die gegenwärtige Zonenzugehörigkeit (Art der Bauzone), Eigenlandparzellen (Anzahl, Flächen) im Baugebiet u.a. Für die Eignungsbeurteilung wird nach folgendem Beurteilungsschema vorgegangen:

### Beurteilungsschema

#### Teil I. Natürliche Eignung

In die Beurteilung sind alle landw. genutzten Flächen ausserhalb des Baugebietes und die nichtüberbauten Flächen (ca. 30 Aren und grösser) innerhalb des Baugebietes einzubeziehen. Es werden die Standortfaktoren Boden, Klima, Geländegestaltung (Neigung, Geländeform), Flächengrösse und -form beurteilt.

Boden	Beurteilung von Wasserhaushalt, Zusammensetzung (Ton-, Schluff-, Sandanteile), Gefüge, Skeletthalt und Gründigkeit mittels Erdbohrstock. Einteilung in Bodenpunkteskala gem. eidg. Schätzungsanleitung (BP).
Klima	Einteilung gem. Klimaeignungskarte 1:200'000 (wird in den Bodenpunkten mitberücksichtigt).
Gelände	Neigung in % gemessen. Geländeform (ausgeglichen, unausgeglichen, kupiert).
Exposition	Beurteilung über die Bodenpunkte/Klimaeignungsstufe und/oder die Nutzungseignung.
Flächengrösse/ Form	Vgl. Richtwerte im Schema. Im konkreten Fall Beurteilung nach Ermessen des sachverständigen Bearbeiters.

Für die Zuweisung zur Klasse ist der jeweils **limitierende Standortfaktor** massgebend.

Beurteilungsschema (Fortsetzung)

Klasse	Eignungskriterien	Merkmale	Nutzungsseignung
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>. ausgezeichnete Bodenqualität</li> <li>. günstiges Gelände, ausgeglichen</li> <li>. Flächengrösse</li> <li>. Form</li> </ul>	85-100 BP bis 10 % mind. 2 ha rechteckig	sehr gut geeignet für vielseitige Produktion inkl. Garten-, Obst- und Gemüsebau; praktisch ohne Einschränkung in der Kulturwahl; sehr gute Fruchtfolgeflächen
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>. gute bis sehr gute Bodenqualität</li> <li>. Gelände günstig bis leicht erschwert, ausgeglichen</li> <li>. Flächengrösse</li> <li>. Form</li> </ul>	70-85 BP 10-18 % mind. 0,5 ha rechteckig	gut geeignet für vielseitige Produktion; in der Kulturwahl (Hackfrüchte) begrenzt; gute Fruchtfolgeflächen
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>. mittlere bis gute Bodenqualität</li> <li>. Gelände leicht bis mässig erschwert, ausgeglichen</li> <li>. Flächengrösse</li> <li>. Form</li> </ul>	60-70 BP 18-25 % mind. 0,25 ha rechteckig	bedingt geeignet für Ackerbau; in der Kulturwahl (insbesondere Hackfrüchte) eingeschränkt; bevorzugt Naturfutterbau; bedingt geeignete Fruchtfolgeflächen
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>. mässige bis mittlere Bodenqualität</li> <li>. Gelände vorwiegend mässig erschwert, ausgeglichen bis unausgeglichen</li> </ul>	50-60 BP 25-30 %	gut geeignet für Naturfutterbau
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>. geringe bis mässige Bodenqualität</li> <li>. Gelände mässig bis stark erschwert, ausgeglichen bis unausgeglichen</li> </ul>	40-50 BP 30-35 %	Naturfutterbau mit mässiger bis geringer Eignung
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>. geringe Bodenqualität</li> <li>. Gelände sehr stark erschwert</li> </ul>	unter 40 BP über 35 %	Naturfutterbau extensiv

Teil II. Lage im Raum

Die Flächen werden beurteilt in bezug auf ihren Zusammenhang mit grösseren Gebieten, auf natürliche und künstliche Hindernisse und Immissionsquellen, welche die landw. Bewirtschaftung dauernd und i.d.R. unveränderlich beeinflussen oder einschränken. Die Einschränkungen werden - falls vorhanden - in 3 verschiedenen Stufen angegeben (gering-mässig-stark). Sie sind einerseits von der Art und Stärke der Immissionsquelle und andererseits von der Grösse, Form, Lage und Erreichbarkeit der Bewirtschaftungsfläche abhängig (auf die Wiedergabe des Schemas wird hier aus Platzgründen verzichtet).

### 3. VERWENDUNGSZWECKE

Die EK kann in verschiedener Weise Verwendung finden. Sie dient vorab

- . als Uebersicht über die Gemeinde
- . als Grundlage zur sachgerechten Ausscheidung der Landwirtschaftszone und zur Konfliktbereinigung mit anderen raumwirksamen Nutzungen
- . als Entscheidungshilfe bei standortgebundenen Bauten und Anlagen ausserhalb Baugebiet
- . als Grundlage zur präzisen Bezeichnung von Fruchtfolgeflächen.

### 4. FRUCHTFOLGEFLÄCHEN (FFF)

Es besteht bereits ein provisorischer Nachweis der FFF. Das Ergebnis beruht auf verschiedenen Grundlagen und ist im Massstab 1:25'000 (Landeskarte) dargestellt. Gegenüber des vom Bund vorgegebenen Richtwertes von 40'000 ha besteht ein Manko von rund 4'800 ha. Der definitive Nachweis der FFF geschieht aufgrund der EK's. Dabei werden die Klassen 1 - 3 gemäss Beurteilungsschema als FFF berücksichtigt, wobei die Klasse 3 als eigene Kategorie (bedingt geeignete FFF) dargestellt wird. Die Flächen werden mit Hilfe eines computerunterstützten Systems planimetriert und gesamtthaft (pro Gemeinde) mit einem Abzug von 15 - 25 % bereinigt (Wege, Waldränder, Restflächen, Gebäudeplätze etc.).

### 5. SCHLUSSGEDANKE

Das hier aufgezeigte pragmatische Vorgehen hat sich bisher in über 200 Gemeinden bewährt. Die Ergebnisse sind objektiv und genügend aussagekräftig. Da im Verfahren landw. Ortsgruppen bewusst einbezogen werden (Besprechung des Entwurfes der EK, Aufnahme des Betriebsinventares), können die Leute für die Sache motiviert und zur Mitwirkung herangezogen werden. Die EK und das Betriebsinventar sind auch für die in den Planungsgremien mehrheitlich nichtlandwirtschaftlichen Vertreter und Beteiligten praktische und anschauliche Grundlagen.

### 6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Bundesgesetz über die Raumplanung verlangt von den Gemeinden die Erarbeitung von Nutzungsplänen. Die Landwirtschaft ist in diesem Verfahren sehr wesentlich und weitgehend betroffen. Ihre Interessen und Anliegen müssen mit objektiven Argumenten dargestellt und wahrgenommen werden. Seit Beginn der 80iger Jahre werden im Kanton Aargau entsprechende Planungsgrundlagen (landw. Eignungskarte, Betriebsinventar) erarbeitet, welche vorab zur Auseinandersetzung um die Abgrenzung der verschiedenen Nutzungszonen in den Gemeinden und zugleich auch als Instrument zur sachgerechten Bezeichnung von Fruchtfolgeflächen dienen. Es handelt sich um eine pragmatische Methode, welche angesichts der anfänglich gegebenen Randbedingungen entwickelt wurde. Die bisherigen Erfahrungen aus über 200 Anwendungen dürfen als sehr positiv bezeichnet werden.



---

## **BODEN- UND VEGETATIONSSIMULATION IN DAVOS (GR)**

---

Liz.-Geogr. M. Krause, Dipl.-Biol. H. S. Fischer  
 Geographisches Institut ETH, Abt. Quantitative Geographie, AG Geoinformatik  
 Winterthurer Str. 190  
 8057 Zürich

### **1. PROBLEM**

Am Geographischen Institut der ETH Zürich wird an der Abteilung für Quantitative Geographie mit dem Datensatz weitergearbeitet, der 1982/83 innerhalb des MaB-Projektes Davos erhoben und 1984 ausgewertet wurde.

"Man and Biosphere" (MaB) ist ein internationales, interdisziplinäres Forschungsprogramm der UNESCO. Die Tragfähigkeit der wesentlichen Lebensräume der Erde soll dabei im Hinblick auf die Eingriffe durch den Menschen betrachtet werden. Die Schweiz beteiligte sich am Projekt "Mans impact on mountain ecosystems" mit einem NFP-Programm zum Thema "sozio-ökonomische Entwicklung und ökologische Belastbarkeit im Berggebiet". Untersucht wurden vier Testgebiete: Grindelwald, die Aletschregion, das Pays-d'Enhaut und Davos.

In den beiden auf das Projekt folgenden Arbeiten sollen die Schwerpunkte Vegetation und Boden vertieft behandelt werden. Die Datenbasis von verschiedenen auf den gleichen Perimeter flächenhaft bezogenen Erhebungen erlaubt den Versuch Vegetation und Boden aus dem Geländemodell, das im MaB-Davos erstellt wurde, und abiotischen Faktoren herzuleiten. Damit sollen die Zusammenhänge zwischen Standortfaktoren, Vegetation und Boden besser beschrieben werden

### **2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET**

Das Untersuchungsgebiet umfasst einen rund 100 km<sup>2</sup> grossen Ausschnitt aus der Gemeinde Davos. Der Perimeter beinhaltet das ganze Dischmatal und das Parsennggebiet, den Hang rechts des Landwassers bis zum Albertitobel und das Jakobshorn.

Die Höhe über Meer variiert zwischen ca. 1500 bis 3000 m ü. M. Von der Lage ist der Perimeter dem zentralalpinen Gebiet zuzuordnen.

Hervorzuheben ist die geologische und naturräumliche Vielfalt des Gebietes, die es für eine derartige Untersuchung besonders geeignet macht.

### **3. DATENERHEBUNG UND DATENBANK**

#### **3.1 Datenerhebung**

Im MaB-Projekt Davos waren Arbeitsgruppen mehrerer Forschungsdisziplinen an der Erhebung und Auswertung der Daten beteiligt.

#### **Projektkoordination und Synthese**

Dieses Teilprojekt umfasste die Abstimmung der Erhebungen, das Entwerfen der Nutzungsszenarios für die Auswertung, die Bereitstellung des digitalen Geländemodells, die Eingabe der Erhebungen in die Datenbank, die EDV und das EDV-Fachwissen für die Auswertung. (EAFV Birmensdorf, Institut für Kommunikationstechnik ETH Zürich, IKT)

**Klima**

Einstrahlung, Ausaperung und Schadstoffgehalt der Luft waren das Arbeitsgebiet dieser Gruppe. (UNI Bern, UNI Zürich, UNI Basel, Geographische Institute)

**Geomorphologie**

Eine Kartierung der Morphotope und der geomorphologischen Gefahren (Lawinen, Erdbeben, Wildbäche) im M 1: 25'000. (UNI Basel, UNI Bern, Geographische Institute)

**Boden**

Eine Bodenkartierung M 1:25'000 und eine Aufnahme des Materials des C-Horizontes. (FAP Reckenholz)

**Vegetation**

Vegetationskartierung M 1:25'000 der Pflanzengesellschaften, Messungen zum Ertrag landwirtschaftlich genutzter Flächen und Aufnahmen über den Einfluss von Skipisten auf die Vegetation gehören zu diesem Teilprojekt. (ETH Zürich, Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel)

**Wald**

Eine Aufnahme des Waldzustandes und eine Beurteilung seiner Stabilität. (EAFV Birmensdorf)

**Fauna**

Die Verbreitung einiger ausgewählter Tierarten wurde untersucht und dargestellt. (Bündner Naturmuseum, Chur)

**Nutzungsgeschichte**

Die Nutzung zum aktuellen Zeitpunkt und in früheren Zeitschnitten wurde kartiert und die Besitzverhältnisse aufgenommen. (UNI Zürich, Geographisches Institut)

3.2 Digitalisierung der erhobenen Karten

Die im Gelände erhobenen Karten wurden am IKT-ETH zunächst photographisch reproduziert und dann auf einem Trommel-Scanner abgetastet. Das Ergebnis ist dann ein Grauton-Rasterbild der kartierten Grenzen mit 10 m Auflösung. Durch Setzen eines geeigneten Schwellenwertes wird das Bild binärisiert, sodaß nur noch die Werte 0 oder 1 vorkommen. Danach werden die Linien auf eine Pixelbreite<sup>2</sup> verdünnt und die Flächen mit dem jeweiligen 'usercode' gefüllt. Als letzter Schritt wurde dann noch eine Vergrößerung des Rasters von 10m auf 50m Rasterweite durchgeführt. Die Rasterfiles liegen im Züricher Datenformat (ZDF-Format) vor.

3.3 Die Datenbank Davos enthält folgende Variablen:

a) klimatische Standortfaktoren:

Höhe über Meer (in 10m-Stufen) stellvertretend für die mit der Höhe korrelierten Klimafaktoren (v. a. Temperatur), Exposition (in 1/2 Grad); potentielle Direktstrahlung in der Heuperiode (16. Mai - 15. Juli) und in der "Vegetationsperiode" (16. Mai - 30. September); potentielle Sonnenscheindauer im Januar und im Juli; potentielle Direktstrahlung in der tatsächlichen<sup>1</sup> Vegetationsperiode (in Arbeit); Ausaperung

<sup>1</sup> Ein 'Pixel' ist ein picture element, d. h. eine Rasterzelle

<sup>2</sup> Unter 'tatsächlicher Vegetationsperiode' ist die Zeit von der Ausaperung bis zum Unterschreiten einer mittlerern Tagestemperatur von 5°C zu verstehen.

#### b) edaphische Standortfaktoren

Geologie (14 Gesteinstypen); Boden (je Pixel jeweils 2; 28 Bodentypen mit 47 Untertypen, 4 Stufen Skelettgehalt, 4 Stufen Feinerdekornung, 4 Stufen pflanzenverfügbare Gründigkeit, sowie Anteile der Sondertypen Vernässung, Blöcke/Schutt und Fels); Neigung (in  $1/3$  Grad); Morphotope (28 Kategorien); Einzugsgebiete der Bäche (33 Einzugsgebiete); Gefahren (die Kategorien Sturz, Rutsch oberflächlich/tiefgündig, Wildbach, Lawinen, Erosion jeweils als erwiesen oder potentiell); Skipisten-Planien (16 Kategorien)

#### c) anthropo-zoogene Standortfaktoren

Wild (10 Tierarten, z. T. Jahrszeitlich differenziert), Futterstellen; Landnutzung und Nutzungsgeschichte (10 Nutzungsarten für die Jahre 1900, 1929, 1949, 1965, 1982); Skipisten (5 Kategorien), Belegungsdichte (4 Kategorien)

#### d) Vegetations-Daten

Vegetation (63 Einheiten, 30 Signaturen für spezielle Ausprägungen; je Pixel bis 3); Waldzustand (3 forstliche Standortstypen, 9 Entwicklungsstufen, 3 Schlußgrade, Holzvorrat, Holzzertrag)

### Realität - Modell - Simulation

Ein Modell ist ein einfaches Abbild eines realen Systems, das in bestimmten interessierenden Eigenschaften mit dem realen System übereinstimmt oder ihm zumindest ähnlich ist. Es kann ein mentales Modell sein (unsere Vorstellung von der Realität), oder ein verbales (die in Worte gefaßte Vorstellung von der Realität). Wenn das Modell mathematisch exakt und quantitativ beschrieben ist, kann es in einer Programmiersprache formuliert werden. Die Realisierung des Modells im Computer nennen wir Simulation.

Wenn ein Modell nach umfangreichen Tests als wahrscheinlich richtig betrachtet werden kann, ist es als Instrument für Planungen einsetzbar. Durch Simulation können dann Prognosen über das wahrscheinliche Verhalten des Systems nach irgendwelchen Eingriffen erstellt werden.

### 4. STRAHLUNGSSIMULATION

Sowohl für die Pflanzendecke wie auch für die Böden, insbesondere ihren Wasserhaushalt und die biologische Aktivität, spielt die Temperatur eine bedeutende Rolle. Da für das Untersuchungsgebiet im gesamten keine topoklimatologischen Messungen zur Verfügung standen, soll eine über das ganze Geländemodell berechnete Summation der kurzwelligen Einstrahlung topoklimatologische Differenzierungen indirekt aufzeigen. Eine der zur Berechnung dieser Größe nötigen Inputvariablen ist die von der Sonne einfallende, kurzwellige Direktstrahlung.

Zunächst müssen für die Berechnung Sonnenposition und Sonnenbahn bekannt sein. Sie werden mit bekannten astronomischen Formeln berechnet.

Die Strahlungsintensität, die höhen- und ortsabhängig ist, wurde mittels eines Regressionsverfahrens aus Messungen bestimmt.

Exposition, Neigung, Höhe über dem Meer und der Horizontverlauf für jeden im digitalen Geländemodell gespeicherten Punkt des Testgebietes sind die zur Berechnung notwendigen Informationen über die Erdoberfläche. Mit der Neigung der Fläche variiert die auffallende Strahlungsmenge. Um die auf eine nicht horizontale

Fläche einfallende Strahlung zu bestimmen, muss also der Einfallswinkel mit der Neigung gewichtet werden.

Das Aufsummieren der theoretisch möglichen direkten Sonneneinstrahlung geschieht folgendermassen. Als erstes werden der Zeitpunkt und das Azimut des astronomischen Sonnenaufgangs am gewählten Tag bestimmt. Dann wird der Horizontwinkel in Richtung des Sonnenazimutes via DGM berechnet. Weiter wird geprüft, ob der Elevationswinkel der Sonne grösser ist als der betreffende Horizontwinkel, ob die Sonne also vom jeweiligen Bildelement aus "sichtbar" ist. Dann wird der Elevationswinkel der Sonne zu einem späteren Zeitpunkt bestimmt und die Prozedur wiederholt. Die Integration wird für jeden Punkt des Geländemodells über den ganzen Tagbogen in 20 min.-Schritten ausgeführt. Für jeden Integrations-schritt, in dem die Sonne über dem Gelände-horizont steht, wird die adäquate Direktstrahlung eingesetzt und aufsummiert.

## 5. BODENSIMULATION

Bei der Synthese des MaB-Projektes wurden mit dem erhobenen Datensatz Nutzungsszenarien für das Testgebiet gerechnet. Dazu wurde unter anderem eine Bodenkarte aus den nicht ableitbaren Daten des digitalen Geländemodells mittels Rechenvorschriften modelliert und mit der erhobenen Karte verglichen. Das Modell diente zur flächenhaften Darstellung von Änderungen der Landnutzung.

In diese Bodensimulation flossen die Grössen Ausgangsmaterial, Vernässung, Höhenstufen, aktuelle Landnutzung, Exposition und Neigung ein. Die Rechenvorschriften ergaben sich aus dem Fachwissen zur Verbreitung der Bodentypen und aus den gewonnenen Kenntnissen über die Höhenzonierung der Böden im Untersuchungsgebiet. Die Höhenzonierung ist auf verschiedenen exponierten Hängen unterschiedlich und wurde daher gebietsbezogen als Ersatz für die fehlenden topoklimatologischen Daten einbezogen.

Mit der jetzigen Arbeit soll diese Bodensimulation erweitert werden. Vor allem soll versucht werden die gebietsbezogene Höhenzonierung durch eine kontinuierliche, topoklimatologische Grösse zu ersetzen. Dafür wird die kurzweilige Einstrahlung als integrierender topoklimatologischer Faktor verwendet. Dazu soll noch ein Modell kommen, dass die einfallende Energie mit der Evapotranspiration und der Wasserspeicherkapazität verbindet.

Nach Einführung dieser neuen Ebenen bei den nicht ableitbaren Daten wird überprüft, wieviel sie zur Erklärung des Verbreitungsmusters der Böden beitragen können.

Für die Rechenvorschriften der Bodenzuordnungen wird ein zweiter Ansatz verfolgt. Es soll versucht werden via die unterschiedlichen Standorteigenschaften Aussagen über ökologisch bedeutende Bodeneigenschaften und die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens zu machen. Bis auf die Standortebene basiert die Aufteilung auf "harten Daten". Für die folgende Ebene werden qualitative Überlegungen mit einbezogen.

## 6. VEGETATIONSSIMULATION

Die Vegetation ist die Grundlage allen menschlichen und tierischen Lebens auf unserem Planeten. Sie kann aus sehr verschiedenen Pflanzenarten aufgebaut sein. Diese Artenzusammensetzung prägt nicht nur den ästhetischen Charakter der

Landschaft sondern bestimmt auch die land- und forstwirtschaftliche Nutzbarkeit. Die Kombination der verschiedenen Pflanzenarten, die man an einer bestimmten Stelle im Gelände vorfindet, ist nicht zufällig. Man trifft vielmehr immer charakteristische Kombinationen von Pflanzenarten an. Diese Pflanzenarten-Kombinationen werden **Pflanzengesellschaften** genannt.

Das Vorkommen einer bestimmten Pflanzengesellschaft ist vom **Standort** und von der Nutzung (incl. Nutzungsgeschichte) abhängig. Zwischen den drei Begriffen Vegetation, Standort und Nutzung besteht eine wechselseitige Beziehung. Die Nutzung beeinflusst die Vegetation (z. B. durch Mahd) und den Standort (z. B. durch Düngung). Andererseits ist die mögliche Nutzung von der Vegetation und dem Standort abhängig.

Diese Beziehungen und Abhängigkeiten zu kennen ist Voraussetzung sowohl für einen effektiven Natur- und Landschaftsschutz als auch für eine sinnvolle Land- und Forstwirtschaft. In qualitativer Form ist dieses Wissen teilweise in der Erfahrung alter Naturschützer, Landwirte und Förster bereits vorhanden. Die Fragen, die es heute zu beantworten gilt, sind aber quantitativ, wie z. B.: *Wie groß muß ein bestimmtes Biotop sein, damit die darin lebenden seltenen Tiere und Pflanzen langfristig überleben können? Wie weit darf es vom nächsten gleichartigen entfernt sein? Wie groß wird der landwirtschaftliche Ertrag sein, wenn eine bestimmte Weide zukünftig als Fettwiese bewirtschaftet wird? Wie groß ist der Ertragsverlust durch Skipisten auf einer bestimmten Fettwiese?* Um derartige Fragen beantworten zu können, braucht man quantitative, formalisierte Methoden. Eine Möglichkeit dazu bietet die Computersimulation.

### **Das Vegetationsmodell**

Um die Beziehungen zwischen Vegetation, Standort und Nutzung zu untersuchen, entwickeln wir für das MaB-Testgebiet Davos ein Modell, das es erlaubt die Verteilung der Pflanzengesellschaften in der Landschaft in Abhängigkeit von Standort und Nutzung zu simulieren.

Das Modell zur Simulation der Verteilung der Pflanzengesellschaften besteht aus einer Verknüpfung der Standortfaktoren. Aus der simulierten Vegetation können dann weitere Variablen wie Ertragspotential oder Naturschutzwert abgeleitet werden. Durch Austausch der aktuellen Nutzungskarte gegen ein hypothetisches Szenarium können hypothetische Zustände der Landschaft simuliert werden.

Für die Simulation werden alle kontinuierlichen Variablen in Intervallklassen zerlegt (z. B. 100m-Höhenstufen) und wie kategorische Variablen verarbeitet. Aus der Häufigkeitsverteilung der 63 Vegetationseinheiten auf die Kategorien der Standortfaktoren lassen sich die bedingten Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einer Pflanzengesellschaft bei einer bestimmten Kategorie eines Standortfaktor (z. B. einem Gesteinstyp) berechnen. Durch Kombination dieser Wahrscheinlichkeiten nach der BAYES-Regel können die multivariaten bedingten Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten einer bestimmten Pflanzengesellschaft bei einer bestimmten Kombination von Standortfaktoren berechnet werden. Diese Berechnungen werden für jede Rasterzelle des Datensatzes durchgeführt (ca. 34 000 mal) und jeweils diejenige Pflanzengesellschaft als Simulationsergebnis genommen, die die höchste Wahrscheinlichkeit hat. Die Arbeit in der Entwicklung des Modells besteht vor allem darin, durch Beobachtung der Verhältnisse in der Natur, durch Vergleich der Simulationsergebnisse mit der Realität sowie durch Expertenwissen die optimale Kombi-

nation von Standortfaktoren zu finden. Im momentanen Stand der Arbeiten ist es möglich ca. 80 % der erhobenen Vegetationskarte richtig zu simulieren.

## RESUME

A l'Institut de Géographie de l'ETH à Zürich, en géographie quantitative, deux travaux sont entrain de se faire, basé sur les données qui sortaient du project MAB à Davos. Le MAB (l'homme et la biosphère) est un programme de recherche intégré et interdisciplinaire de l'UNESCO qui traite sur le cadre mondial, dans différentes régions écologiques, la question: comment maintenir l'équilibre entre le milieu naturel et les actions des êtres humains?

En suisse les problèmes des régions montagnardes sont travaillés.

Quatre régions alpines ont été choisies. L'une d'elles ayant un périmètre d'environ 100 km<sup>2</sup> se situe dans les alpes centrales à Davos.

Les deux travaux essayent d'aprofondir les connaissances sur les facteurs qui jouent un role dans la formation des associations végétales et des sols. A cette fin un essai est fait pour créer un modèle qui explique la répartition de la végétation. Un deuxième modèle fera de même pour les sols. Ceci se fait à base des facteurs abiotiques et l'utilisation du terrain relevés et mis dans une banque de données pendant le project MAB.

Pour la simulation avec ces modèles, l'irradiance des ondes courtes est prise comme facteur intégrale topoklimatologique.

Les simulations sont comparées avec les cartes de la végétation et des sols du périmètre.

## 7. LITERATUR

- ESCHER-VETTER, H. (1984) Der Strahlungshaushalt des Vernagtfernes als Basis der Energiehaushaltsberechnung zur Bestimmung der Schmelzwasserproduktion eines Alpengletschers. Wissenschaftl. Mitt. Nr. 39. Schriften Univ. München Meteorologisches Inst.
- FUNK, M. (1983) Berechnung der Globalstrahlung auf der Basis eines digitalen Geländemodells. Arbeitsbericht. Berichte und Skripten Nr. 15. Geogr. Inst. ETH Zürich.
- GÜNTER, TH. F. (1985) Landnutzungsänderung in einem alpinen Tourismusort. Schlussber. Schweiz. MaB-Prog. Nr.13.
- KRAUSE, M. (1986) Die Böden von Davos: Ertragspotential, Belastbarkeit und Gefährdung durch Nutzungsänderung. Schlussber. Schweiz. MaB-Prog. Nr. 18.
- KUNZ, S. (1983) Anwendungsorientierte Kartierung der Besonnung in regionalem Masstab. Geographica Bernensia G19, Geogr. Inst. Univ. Bern.
- LANDOLT, E., B. O. KRÜSI, G. ZUMBÜHL (1986) Vegetationskartierung und Untersuchungen um landwirtschaftlichen Ertrag im MaB6-Gebiet Davos. Veröff. Geobot. Inst. Stiftung Rübel: 88
- MÜLLER, H. (1984) Zum Strahlungshaushalt im Alpenraum. Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich.

## ECOLOGIE DES SOLS RUBEFIES DE LA REGION SUBJURASSIENNE

---

Claire GUENAT, Michel GRATIER  
IGR-Pédologie, EPFL, 1015 Lausanne

### 1. INTRODUCTION

Les sols rubéfiés sont définis par la présence sur le terrain, d'un ou plusieurs horizons pédologiques dotés d'une couleur de gamme 2,5 YR ou 5 YR dans le système de codification Munsell. Cette définition ne présume en rien des mécanismes de mise en place de la couleur; elle n'exclue pas le processus d'héritage.

Les sols rouges, abondants dans le bassin méditerranéen sont exceptionnels en région tempérée. Les sols rubéfiés postglaciaires ont été décrits au sud de l'Allemagne (Schwertmann et al., 1982), dans la vallée du Rhône (Mandier, 1980) et dans le Jura français (Bresson, 1974, 1976).

Dans cette étude, l'inventaire des sols rubéfiés de la région subjurassienne est suivi de la datation et la détermination des conditions écologiques de ces sols.

### 2. LOCALISATION ET CONDITIONS STATIONNELLES

Les sols rubéfiés (fig 1) sont principalement localisés à l'adret jurassien. Ils se développent sur différents matériaux: fluvioglacière rhodanien, moraines de type jurassienne ou mixte (à éléments alpins et jurassiens) et dalle calcaire. Dans ce dernier cas, la dalle n'est qu'un support et les sols dérivent de matériaux morainiques.

Les sols rubéfiés sont colonisés par différentes associations végétales: chênaies buissonnantes, chênaie-charmaie à caractère thermophile et acidophile (*Galio-Carpinetum luzuletosum*), hêtraie thermophile calcicole ou acidophile (sous association typique ou *lathyretosum* du *Carici-Fagetum*). Ils se développent généralement dans des pentes faibles ou nulles, dans de légères dépressions si le drainage n'est pas ralenti.

Les sols rubéfiés sont de plusieurs types: **rendzines brunifiées, sol bruns mésotrophes, sols lessivés**.

A l'échelle macroscopique la couleur rouge affecte soit l'ensemble de l'horizon (cas des horizons (B) de sols bruns et Bt des sols lessivés) ou se limite à quelques zones de l'horizon (cas de l'horizon (B) de rendzine brunifiée).

A l'échelle microscopique, la couleur est homogène dans le cas des horizons (B) de sols bruns, il n'y a pas de revêtements argileux ce qui traduit l'absence de phase d'illuviation. Dans le cas des horizons Bt rubéfiés, la teinte rouge est plus spécifiquement liée aux revêtements argileux.

Ces observations montrent que la rubéfaction est un processus antérieur au lessivage.

### 3. ECOLOGIE DE LA RUBEFACON COMMENCANTE

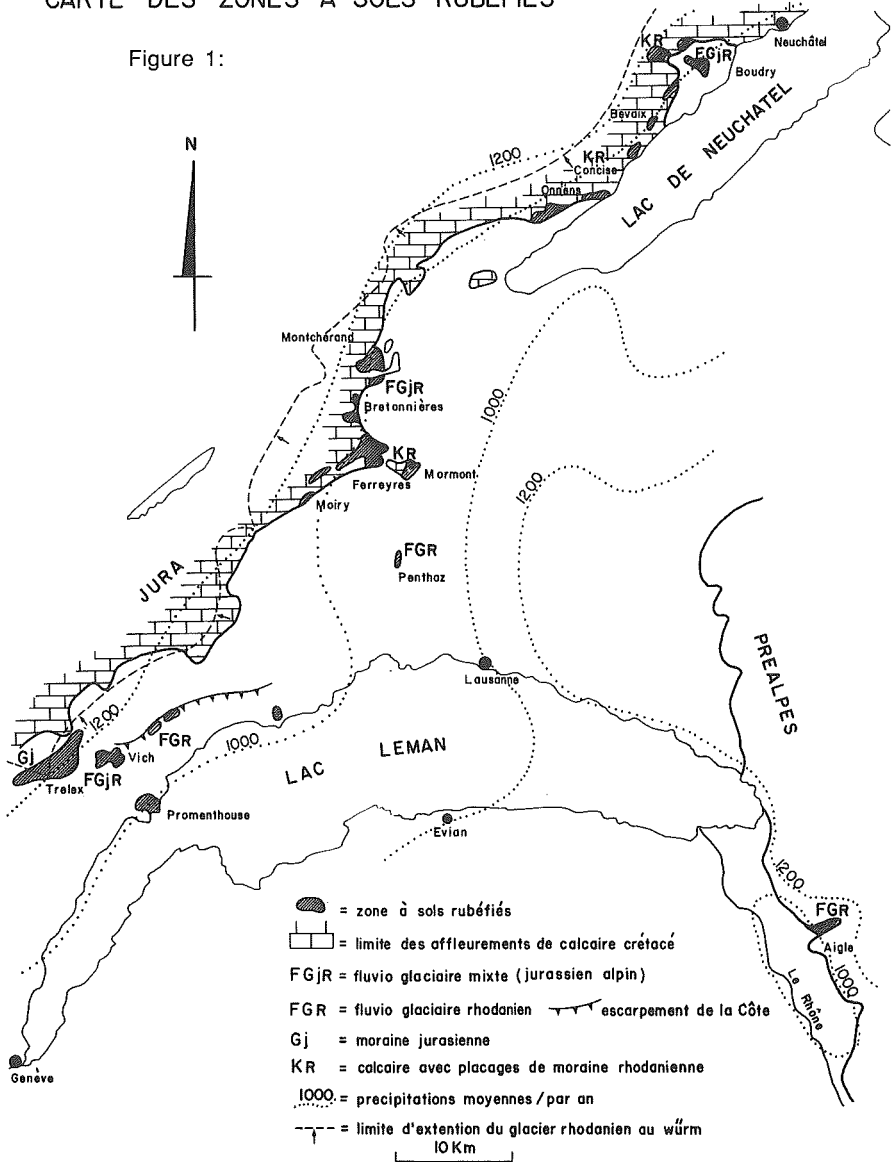
#### 3.1. Datation de la rubéfaction commençante:

Les sols rubéfiés du Pied du Jura se trouvent dans le périmètre recouvert par les glaciers lors de la période würmienne. L'ensemble des sols développés à partir de la moraine ne proviendrait pas de remaniement de sol ancien (Gratier et Pochon, 1976) et serait donc post-würmien.

La datation des roches-mères ou d'horizons rubéfiés, par des indices archéologiques et paléontologiques, permet d'affirmer que la formation des sols rubéfiés a pu démarrer à la période boréale.

## CARTE DES ZONES A SOLS RUBEFIES

Figure 1:





D'après les données paléoclimatiques, le Jura et plus spécialement le sillon subjurassien auraient bénéficié, lors des périodes boréale et atlantique, d'un climat plus chaud que celui qui règne actuellement (Gaillard, 1984), Wegmüller (1966) ; conditions climatiques optimales pour le développement des sols rubéfiés.

### 3.2. Conditions écologiques de la rubéfaction:

Les facteurs écologiques pris en compte sont le climat ancien et actuel, la roche-mère et la topographie.

#### **les facteurs climatiques:**

Le climat des périodes boréale et atlantique a pu être un facteur déterminant dans le déclenchement du processus rubéfiant dans la région subjurassienne.

Actuellement l'existence de phase de dessiccation estivale de courte durée pourraient induire la cristallisation d'hématite, ou la maintenir .

Cependant la coexistence, au sein d'une même station forestière, de sols rubéfiés et non rubéfiés reste inexplicquée. A cette échelle, les conditions climatiques passées et actuelles sont homogènes et d'autres facteurs stationnels, comme la roche-mère et la topographie jouent un rôle important dans l'apparition et le maintien du processus rubéfiant.

#### **• la roche-mère:**

La roche-mère intervient par le biais de divers facteurs: teneur en résidu insoluble, perméabilité texturale et teneur en calcium.

La teneur en résidu insoluble de la roche-mère est un facteur limitant. Lorsque le résidu insoluble est peu abondant il y a absence de sol rubéfié. Dans le cas des moraines jurassiennes ou du calcaire jurassien, pauvres en résidu insoluble, la présence de sols rubéfiés est liée à une contamination par du matériel alpin (éolienne ou saupoudrage morainique). La qualité de ce résidu ne semble pas jouer un rôle capital puisque sa composition (teneur en argile, teneur en fer et forme du fer) est pratiquement constante pour toutes les roches-mères.

Une forte perméabilité, liée à une texture sableuse, a favorisé les processus de décarbonatation et l'apparition de phases de dessiccation: il y a renforcement, par la roche-mère, des caractéristiques du climat local favorables à la rubéfaction. Lorsque la perméabilité de la roche-mère diminue il y a absence ou la disparition des sols rubéfiés. C'est ainsi que le ralentissement du drainage lié à la texture argileuse des moraines de fond induit la présence de sols lessivés à pseudogley voire pseudogley. Le même phénomène, avec une intensité plus faible, explique l'absence ou la disparition de la rubéfaction de certains sols lessivés.

Toutes les moraines étudiées sont partiellement carbonatées. Lors de leur altération, il y a passage par une phase calcique à pH favorable à la cristallisation d'hématite ( Schwertmann, 1985).

La roche-mère a donc dû jouer, lors des périodes Boréale et Atlantique, un rôle limitant dans l'apparition des sols rubéfiés. Il semble que les sols devaient à cette période avoir atteint un certain degré d'évolution pour que la rubéfaction puisse s'exprimer: décarbonatation partielle et présence d'un résidu insoluble suffisamment abondant. Les sols brunifiés, devaient correspondre aux conditions optimales.

#### **• la topographie:**

La topographie a pu intervenir de plusieurs manières pour favoriser ou inhiber le processus de rubéfaction:

- rôle indirect lors de la phase prépedogénétique, où la composition des roches-mères, est conditionnée par la position topographique.

- rôle combiné à celui de la roche-mère par modulation du pédoclimat, des régimes hydriques.
  - rôle direct par le biais de processus d'érosion ou de recarbonatation des sols, processus limitant l'évolution de la rubéfaction.
- **les conditions physico-chimiques du sol:**

Bien que l'on ne puisse estimer les conditions physico-chimiques lors de la mise en place du processus rubéfiant, ces conditions physico-chimiques actuelles, de pH, de teneur en argile, carbonates et carbone organique, permettent le maintien des sols rubéfiés. Ces conditions ne sont pas spécifiques des sols rubéfiés: elles sont identiques pour des sols non rubéfiés ayant atteint le même stade d'évolution.

#### 4 . CONCLUSION

L'étude micromorphologique a montré qu'aucun processus ne se surimpose, dans le cas des sols actuellement rubéfiés, à la rubéfaction; ceci ne signifie pas que la rubéfaction soit encore actuelle. Pour débattre de la question de l'actualité de la rubéfaction, nous ne disposons que d'arguments d'ordre floristique. La région subjurassienne contient encore des espèces thermophiles méditerranéennes qui pourraient traduire un climat favorable à la rubéfaction. Mais, bien que Kissling (1983) décrive des forêts de chênaies pubescentes méditerranéennes sur des sols rubéfiés, nous avons observé d'autres associations végétales moins thermophiles sur les sols rubéfiés. Il n'y a pas concordance systématique entre associations thermophiles de la région et sols rubéfiés. Ces observations montreraient donc que la rubéfaction n'est plus, dans bien des cas, actuelle. Il s'agit plutôt d'une rubéfaction ancienne, maintenue jusqu'à nos jours par la convergence de facteurs climatiques locaux et les facteurs stationnels, roche-mère et topographie.

#### BIBLIOGRAPHIE

BRESSON, L.M., 1974:

Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Séquence évolutive sur fluvio-glaciaire calcaire dans le Jura méridional. Etude de microscopie intégrée.

*Thèse Université Paris VI*

BRESSON, L.M., 1976:

Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Séquence évolutive sur fluvio-glaciaire calcaire dans le Jura méridional. (Etude de microscopie intégrée).

*Bull. AFES 1, 3-22*

GAILLARD, M.J., 1984:

Etude palynologique de l'évolution tardi- et postglaciaire de la végétation du Moyen-Pays romand (Suisse).

THESE - J. Cramer Editeur, Vaduz

GRATIER, M., POCHON, M., 1976:

Les sols rubéfiés du pied du Jura  
*Soc. Pédo. Neuchâtel, 12 mars*

KISSLING, P., 1983:

Les chênaies du Jura central suisse.

*THESE - Inst. Féd. Recherches forest. 59, 437pp.*

MANDIER, P., 1980:

Les problèmes stratigraphiques du quaternaire dans la vallée du Rhône dans: les problèmes de stratigraphie quaternaire en France et dans les pays limitrophes

*Suppl. Bull. AFES, NS*

SCHWERTMANN, U., 1985:

The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals.

*Advances in Soil Science 1, 171-200*

SCHWERTMANN, U., MURAD, E., SCHULZE, D.G., 1982:

Is there holocene reddening (hematite formation) in soils of axeric temperate areas?  
*Geoderma 27, 209-223*

WEGMÜLLER, S., 1966:

Ueber die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des südwestlichen Jura.  
Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz, 48, 143pp



---

 DAS NATURLABOR LÜSCHERZMOOS ALS GROSSLYSIMETER
 

---

W. Stauffer, A. Siegenthaler (FAC), J.P. Clément, A. Dubler (WEA)  
 Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC)  
 Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA)

### 1. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

---

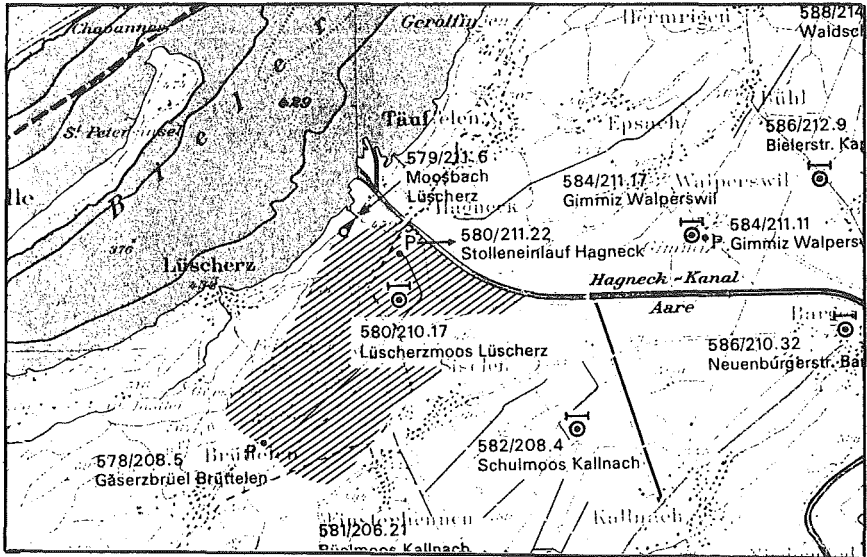
Das Lüscherzmoos im bernischen Seeland wird im Nordwesten durch den Höhenzug Schaltenrain-Feiberg, im Südosten durch das Hügelgebiet von Treiten-Finsterehennen-Siselen begrenzt. Die Grenzen im Südwesten und im Nordosten sind künstlichen Ursprungs: Erstere ist durch die Abtrennung der beiden Drainagesysteme mit Vorflut in den Moosbach, resp. in den Stegmattenkanal bedingt, letztere durch den von Hochwasserdämmen flankierten Hagneckkanal.

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt  $6.94\text{km}^2$ , wovon  $3.69\text{km}^2$  auf das Hügelgebiet und  $3.25\text{km}^2$  auf die Talebene entfallen. Die Talflanken sind zu ca. 80% mit Wald bedeckt. Die offenen Flächen, insbesondere die Talebene, werden intensiv landwirtschaftlich genutzt (Acker-, Futter- und Gemüsebau). Die mittlere Höhe des Gebietes beträgt 455 m ü. M. (höchster Punkt: 562 m ü. M.; tiefster Punkt: 437 m ü. M.).

Als ehemaliges Sumpfgebiet ist das Lüscherzmoos durch ein umfassendes Drainagesystem urbar gemacht worden. Das Drainagewasser und die verschiedenen kleinen Vorfluter aus den seitlichen Talhängen werden in einem zentralen Kanal, dem Mooskanal, gesammelt, der schliesslich durch einen im Fels liegenden Stollen den gesamten Abfluss dem Bielersee zuleitet. Die Abflussmengen werden am Ausgang des Stollens durch einen Schreibpegel erfasst.

Das Lüscherzmoos ist somit hydrologisch abgeschlossen und kann als "Grosslysimeter" betrachtet werden.

Die Bewegungen des Grundwasserspiegels werden durch einen Limnigraphen in der Talebene registriert. Die Niederschlagsmengen werden in den Messstationen von Gaeserzbrüel/Brüttelen und beim Stolleneinlauf des Mooskanals gemessen.



////// Untersuchungsgebiet Lüscherzmoos

## 2. Geologie und Hydrogeologie

Das Lüscherzmoos gehört genetisch zum Erosionssystem des Rhonegletschers. Der durch den Gletscher vermutlich in der Riss-Eiszeit ausgehobene Trog ist durch feinkörnige Sedimente (Seetone) interglazialen Alters wieder aufgefüllt worden. Die postglazialen Ablagerungen bestehen aus einer mächtigen Abfolge von Verlandungssedimenten (Seekreide und Torf) sowie Uberschwemmungslehmen. Wegen seiner Abschirmung durch die Hügelzone von Siselen wurde das Lüscherzmoos vom groben Geschiebe (Schotter) der nacheiszeitlichen Aare nicht erreicht. Die Talflanken sind von Grundmoräne aus der Würm-Eiszeit überdeckt.

Das Lüscherzmoos ist hydrologisch in sich abgeschlossen. Die topographischen und hydrogeologischen Grenzen des Einzugsgebietes stimmen überein. Infiltrationen aus dem Hagneckkanal und unterirdische Zuflüsse aus den Hügelgebieten, die den Wasserhaushalt im Testgebiet erheblich stören könnten, sind mit Sicherheit auszuschliessen.

Der Grundwasserleiter in der Talebene ist durch vorwiegend faserigen Torf mit Beimengungen von Ton und Sand aufgebaut. Die Durchlässigkeiten sind generell sehr gering ( $K < 10^{-5} \text{ m/s}$ ). Der freie Grundwasserspiegel liegt nur wenig unter der Terrainoberfläche (0.5 - 1.5m). Der Schwankungsbereich befindet sich ausschliesslich im Torf. Als Grundwasserstauer wirken die darunterliegenden Tone und Seekreide.

### 3. Ziel der Untersuchungen

- Qualitative und quantitative Erfassung der Nährstoffauswaschung aus einem landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiet.
- Einfluss unterschiedlicher Düngung und Bepflanzung auf die Belastung von Grundwasser und Oberflächengewässern.
- Ermittlung der durchschnittlichen Gebietsverdunstung und Grundwasserneubildung in einem für das schweizerische Mittelland repräsentativen Gebiet.
- Vergleich der Feldlysimeterdaten mit den Resultaten aus dem gesamten Einzugsgebiet ("Grosslysimeter Lüscherzmoos").

### 4. Einbau von Feldlysimetern

Im Untersuchungsgebiet wurden 6 Feldlysimeter installiert, wovon heute noch 5 in Betrieb sind. Die Lysimeter reichten ursprünglich bis 50 cm unter die Erdoberfläche und gestatteten ein ungestörtes Pflügen und Bearbeiten des Bodens. Bei den Lysimetern auf organischem Boden beeinflusste der hohe Grundwasserspiegel oft die Abflussmenge, sodass die Lysimeter mittels PVC-Ring bis über die Erdoberfläche erhöht wurden. Die Schwankungen des Grundwasserspiegels können somit nicht simuliert werden.

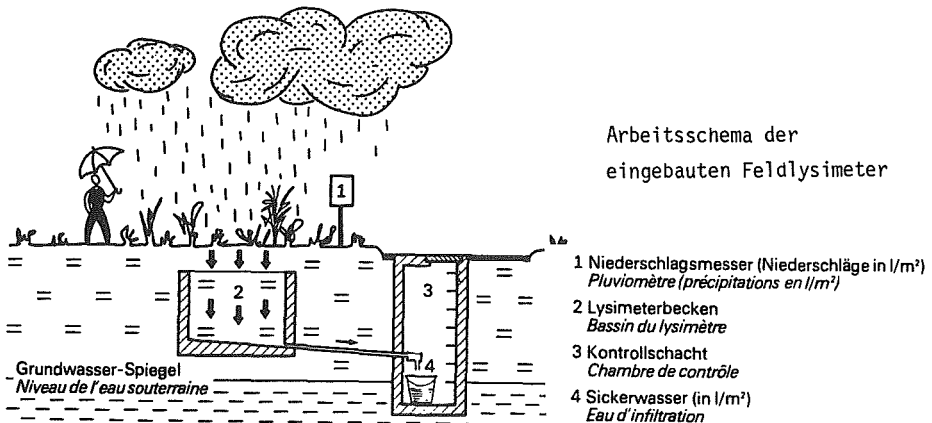


Tabelle 1: Bodenarten und Kulturen auf den eingebauten Feldlysimetern

	Bodenart	1985	1986	1987
Lysimeter 1	mineralisch	W'Gerste	W'Gerste	W'Weizen
Lysimeter 2	organisch	Mais	Kartoffel	W'Weizen/Grasig
Lysimeter 4	organisch	Rhabarber	Rhabarber	Rhabarber/Lauch
Lysimeter 5	mineralisch	W'Gerste	Zuckerrüben	W'Weizen/W'Gerste
Lysimeter 6	organisch	Gras	Gras	Gras

## 5. Resultate und Schlussfolgerungen

-----

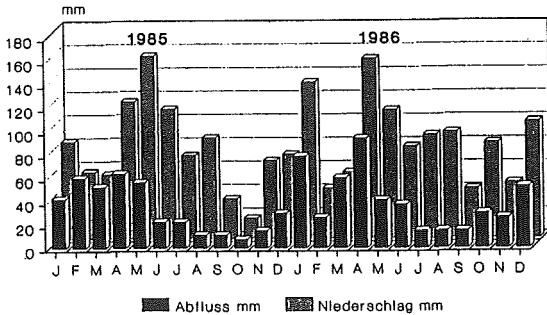
- Die Nährstoffkonzentrationen im Kanal sind stark verdünnt durch Oberflächen- und Grundwasser.
- Erhebungen in Kleinlysimetern stimmen tendenzmässig auch im grossen Gebiet.
- Ueber das gesamte Gebiet berechnet, liegen die Nitratstickstoffverluste in der Grössenordnung von 30 - 50 kg je Hektare.
- Nitratstickstoffkonzentrationen aus organischen Böden liegen eindeutig höher als aus mineralischen.

### Dank

Die Autoren danken den Herren Prof. J. von Ah (FAC) und Dres. O.J. Furrer (FAC) und G. de la Valle (WEA) sowie den Mitarbeitern der beiden Institute für die tatkräftige Unterstützung.



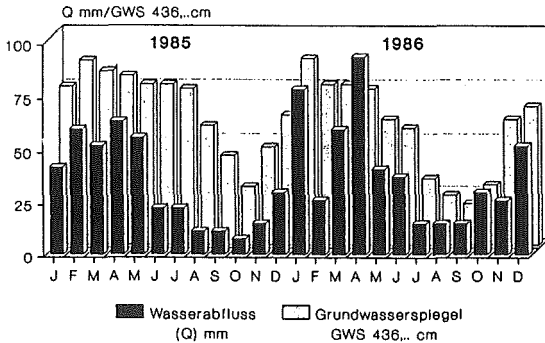
## Gesamtabfluss und Niederschlag Mooskanal



Bei unterschiedlichen Jahresniederschlägen (1985: 820 mm, 1986: 993 mm) war die Abflussmenge mit 48 resp. 49 % nahezu konstant.

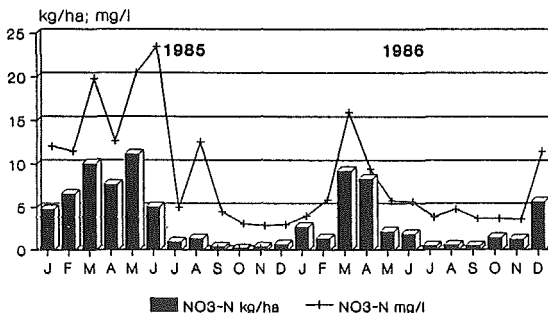
Bei langjährigen Messungen ist es möglich, Grundwasserneubildung und Evapotranspiration zu schätzen.

## Grundwasser und Wasserabfluss Monatsmittel Lüscherzmoos



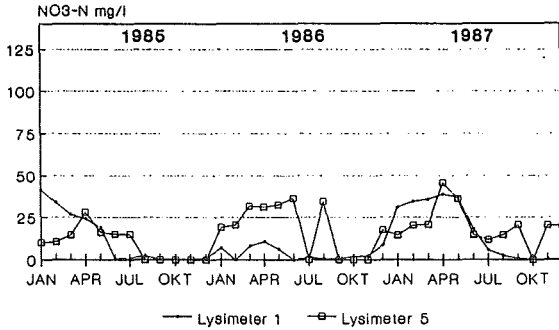
Grundwasserspiegel und Wasserabfluss zeigen mit einer zeitlichen Verzögerung ähnliche Tendenzen.

## Nitrat-Stickstoff-Fracht und - Konzentration; Mooskanal



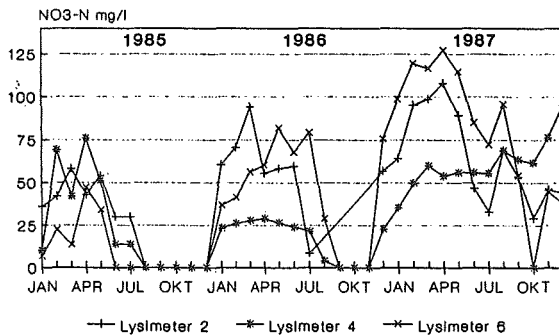
Die Gesamt-Nitrat-Stickstoff-Fracht wurde für das ganze Gebiet (694 ha, inkl. Wald) als monatlicher Durchschnittswert pro ha berechnet. Hier zeigt sich, dass die Fracht weitgehend durch die Wassermenge bestimmt wird. Die gesamte Fracht pro Jahr betrug 1985 = 50 kg und 1986 = 37 kg NO<sub>3</sub>-N je Hektare.

## Nitrat-Stickstoff im Sickerwasser (mg/Liter) unter mineralischen Böden



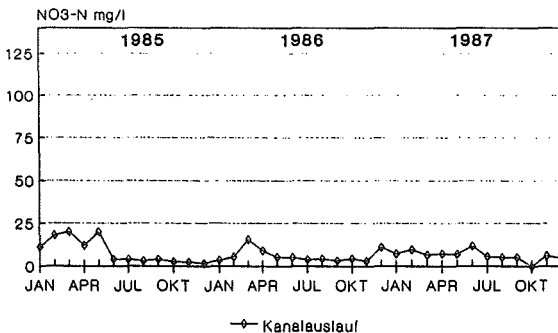
Die NO<sub>3</sub>-N Konzentration im Sickerwasser der punktuellen Messungen unter mineralischen Böden zeigen deutlich eine hohe Konzentration im Winter, eine geringe während der Vegetationszeit.

## Nitrat-Stickstoff im Sickerwasser (mg/Liter) unter organischen Böden



Unter organischen Böden wurden, bei gleichen Winter-Sommer-Tendenzen, wesentlich höhere NO<sub>3</sub>-N Konzentrationen gemessen.

## Nitrat-Stickstoff im Sickerwasser (mg/Liter) Mooskanal



Infolge Verdünnung mit Oberflächen- und Grundwasser, sind die Nitratstickstoffkonzentrationen des Mooskanals im Gesamten gesehen am niedrigsten (25 mg NO<sub>3</sub>-N/Liter) und weisen die kleinsten Schwankungen auf.

ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN SCHNEEDECKE, GEFRORENEM BODEN UND GÜLLENABSCHWEMMUNG

MARKUS BRAUN  
 FORSCHUNGSANSTALT FÜR AGRIKULTURCHEMIE UND UMWELTHYGIENE  
 CH-3097 LIEBEFELD/BERN (SCHWEIZ)

## Projektbegleitung:

Prof. Dr. H. Flüher, Bodenphysik, ETH-Zürich  
 J. Dettwiler, Bundesamt für Umweltschutz, Bern

Die Problematik

Im Winter verteilen viele Bauern Gülle auf Schnee und gefrorenen Boden. Die Gefahr ist gross, dass Nährstoffe zusammen mit dem Schneeschmelzwasser oberflächlich abgeschwemmt werden und die Gewässer belasten. Für das Zustandekommen von Oberflächenabfluss spielen der Zustand der Schneedecke und die Art und Weise, wie der Boden gefriert, eine entscheidende Rolle.

1. Die SchneedeckeEinfluss der Güllengabe

Bringt man Gülle über Schnee aus, greift man in den Wärme- und Wasserhaushalt der Schneedecke ein. Einerseits wird mit der Gülle eine beschränkte Wasser- und Energiemenge zugeführt ( $5 \text{ l/m}^2$  Gülle von ca.  $7^\circ\text{C}$ ). Andererseits wird durch die dunkle Farbe der Schneeoberfläche die Reflektion der einfallenden Sonnenstrahlung verringert. Diese Umstände führen zum Schmelzen des begüllten Schnees.

Zustand der Schneedecke

Die Wassermenge der Güllengabe und das an der Schneeoberfläche entstehende Schmelzwasser verursachen eine Nassfront, die durch die Schneedecke sichert. Dank der Farbe der Gülle ist das Fortschreiten dieser Nassfront sichtbar. Ihre Geschwindigkeit hängt vom Zustand der Schneedecke ab.

Bei einem **trockenen, unterkühlten Schnee** kann es je nach Schmelzrate und Schneehöhe längere Zeit dauern, bis die Gülle durch die Schneedecke gesickert ist. Ein Teil der Nährstoffe wird während dieser Zeit in der Schneedecke zurückgehalten. Hier liegt ein grosses Gefahrenpotential! Ändert sich in dieser Zeit der Witterungsverlauf (Regen) können die Nährstoffe, die noch in der Schneedecke gespeichert sind, mit dem Schmelz- und Regenwasser durch Oberflächenabfluss verloren gehen.

Bei einem **feuchten, isothermen Schnee** ( $0^\circ\text{C}$ ) sickert die Gülle sehr rasch durch die Schneedecke. Die Zeit, bis der Wasserfluss auf der Unterseite der Schneedecke feststellbar ist, ist viel kürzer als bei einem trockenen, kalten Schnee. Die Güllengabe und die dadurch beschleunigte Schmelze der schon reifen Schneedecke bedeuten (z.B. über einem noch gefrorenen Boden) eine grosse Gefahr einer unmittelbaren Güllenabschwemmung.

## 2. Der gefrorene Boden

### Wassergehalt des Bodens

In einem gefrorenen Boden liegt das Wasser nicht nur als Eis, sondern auch als ungefrorenes Wasser vor. Im ungesättigten, gefrorenen Boden können die ungefrorenen Wasserfilme um die Bodenpartikel in ihrer Dicke wachsen, da sie nicht behindert werden durch Eis. Im gesättigten, eisreichen Boden können sie dies nicht. Verglichen mit dem ungefrorenen Boden ist bei einem trockenen, gefrorenen Boden eine geringe, hingegen bei einem nassen, gefrorenen Boden eine markante Abnahme der Infiltrationsrate feststellbar.

### Bodentemperatur

Das Wasseraufnahmevermögen hängt in zweierlei Hinsicht mit der Bodentemperatur zusammen. Einerseits wird die Wasserleitfähigkeit reduziert, wenn unter  $0^{\circ}\text{C}$  die Bodentemperatur weiter abnimmt. Andererseits beeinflusst die Temperatur den Verlauf der Infiltration. Beginnt die Infiltration in einen unterkühlten Boden, gefriert ein Teil des Wassers beim Einsickern und hemmt die Wasserbewegung.

### Infiltrationshemmende Eisschicht

Die Infiltration wird kontrolliert durch den Eisgehalt in den obersten Zentimetern des Bodens oder durch eine **Eisschicht auf der Bodenoberfläche**. An dieser Stelle muss betont werden, dass gefrorener Boden auch unter einer Schneedecke vorkommt. Die Schneedecke hat einen entscheidenden Effekt: durch die kühlende Wirkung der Schneedecke auf den Regen oder die Güllengabe und folglich der Abgabe von Schmelzwasser von  $0^{\circ}\text{C}$  an den Boden, tendiert die Schneedecke den Bodenfrost in seiner Originalform zu bewahren und sichtbar intakt zu halten, bis der Schnee völlig weggeschmolzen ist. Eine auch nur dünne Eisschicht kann in ihrer Infiltrationshemmung während einer Schneeschmelze sehr effektiv sein. Dies zieht erheblichen Oberflächenabfluss nach sich.

## 3. Der Feldversuch

Auf drei Parzellen (Getreide, Mais, Wiese) wird auf total neun Messstreifen nach dem Güllenaustrag das oberflächlich abfließende Wasser aufgefangen, gemessen und auf den Nährstoffgehalt untersucht.

Durch Messung wichtiger klimatologischer, schnee- und bodenphysikalischer Größen wird versucht, die Bedingungen zu verstehen, die zum Zeitpunkt des Güllenaustrages und des Oberflächenabflussereignisses vorliegen und zu Güllenabschwemmungen führen können.

## Schlussfolgerungen

Neben dem Witterungsverlauf bestimmt vorallem der Zustand der Schneedecke den Zeitpunkt und die zeitliche Verteilung der Freigabe des Güllen-Schneesmelzwassers. Die Schneedecke wirkt dosierend.

Der Zustand des gefrorenen Bodens und eine mögliche Eisschicht unter dem Schnee an der Bodenoberfläche bestimmen den zeitlichen Verlauf der Infiltration des anfallenden Wassers und damit des Oberflächenabflusses und der Höhe der Nährstoffverluste.

Referenzen:

- T.P. Burt / P.J. Williams: Hydraulic conductivity in frozen soils, Earth Surface Proc., 1, 349-360, 1976
- S.C. Colbeck: An analysis of water flow in dry snow, Water Resources Res., 12/3, 523-527, 1976
- S.C. Colbeck / E.A. Anderson: The permeability of a melting snow cover, Water Resources Res., 18/4, 904-908, 1982
- T. Dunne / A.G. Price / S.C. Colbeck: The generation of runoff from subarctic snowpacks, Water Resources Res., 12/4, 677-685, 1976
- R.L. Harlan: Analysis of coupled heat-fluid transport in partially frozen soil, Water Resources Res., 9/5, 1314-1323, 1973
- H.F. Haupt: Infiltration, overland flow and soil movement on frozen and snow-covered plots, Water Resources Res., 3/1, 145-161, 1967
- D.L. Kane / J. Stein: Water movement into seasonally frozen soils, Water Resources Res., 19/6, 1547-1557, 1983
- D.L. Kane / J. Stein: Physics of snowmelt infiltration into seasonally frozen soils, in 'Advances in infiltration', ASAE Publication 11-83
- A.G. Price / T. Dunne: Energy balance computations of snowmelt in a subarctic area, Water Resources Res., 12/4, 686-694, 1976



L'AZOTE MOBILISABLE DU SOL  
Recherche d'un indice de fertilité azotée

J.A. NEYROUD, V. PONT, J.Fr. PARISOD, M. BENATHAN  
Station féd. Rech. Agron. Changins, CH-1260 NYON

INTRODUCTION

L'azote mobilisable du sol représente la fraction de l'azote total susceptible d'intervenir dans les processus de nutrition des plantes et du métabolisme microbien au cours de la saison à venir. Ce concept reste très vague, car aucun agent chimique n'est vraisemblablement susceptible d'extraire cette fraction spécifique. La littérature renferme de nombreux articles à ce sujet (STANFORD, 1982).

Une des raisons expliquant la difficulté de la tâche est que la disponibilité momentanée de l'azote dans le sol est régie par des mécanismes complexes mettant en oeuvre des processus chimiques, physiques et biologiques; pour ces derniers, mentionnons seulement le fait que le sol renferme à la fois des organismes vivants producteurs d'azote minéral (nitrification) et des organismes consommant cet azote (réorganisation).

L'extraction de l'azote du sol à l'eau bouillante paraît facile à exécuter; nous avons choisi cette méthode, tout en poursuivant les comparaisons avec d'autres agents. Durant 5 années, des comparaisons de rendements d'extractions ont été exécutées, avec le résultat suivant :

Tableau 1 : Rendements moyens en azote (mg N/100 g terre sèche) de divers extraits, et rendements relatifs moyens sur 5 ans.

Méthode	1982	1983	1984	1985	1986	Moyenne relative
	n=22	n=31	n=21	n=17	n=13	
N <sub>min</sub> sol frais	7,9	13,9	18,9	16,8	14,4	0,67
N <sub>min</sub> -EUF	30,1	18,0	20,1	21,2	18,7	0,98
N <sub>min</sub> -SEB	24,4	16,4	26,1	23,0	18,2	1,00
N <sub>min</sub> -SEB (+sel)	32,6	21,3	29,0	29,1	23,7	1,23
N <sub>tot</sub> SEB	82,6	88,1	77,5	83,5	66,9	2,94
N <sub>total</sub> Kjeldahl	1862	2087	2652	2224	2013	81

L'extraction à l'eau bouillante (" $N_{\min}$ -SEB") donne des rendements plus élevés que ceux de l'extraction à l'eau froide, et semblables à ceux obtenus par électro-ultra-filtration (" $N_{\min}$ -EUF"). Cette augmentation concerne probablement de l'ammonium fixé et l'azote de composés peu stables et facilement désorbables par la chaleur ou les forces électro-chimiques.

L'extraction à l'eau bouillante en présence de KCl donne des rendements un peu plus élevés et - semble-t-il - plus stables. L'augmentation moyenne est de 23 %; dans ce cas, les ions de la solution d'extraction paraissent se fixer sur des charges du support minéral ou organique, permettant ainsi la désorption d'une fraction supplémentaire de la matière organique.

L'extraction à l'eau bouillante suivie d'une minéralisation de l'extraît selon Kjeldahl donne des résultats nettement plus élevés. Ceci montre que le sol contient des composés organiques facilement solubles et contenant de l'azote, dont la disponibilité pour les plantes reste cependant à démontrer. L'azote ne représente toujours qu'une faible fraction de l'azote total.

Nous avons tenté une prévision du besoin de la culture en azote dans plusieurs essais sur betteraves sucrières. L'hypothèse de travail est qu'un sol riche en azote mobilisable est moins dépendant de l'apport d'engrais; dans ce cas, l'augmentation de la dose d'engrais se traduira par une augmentation faible du rendement, par rapport à un sol plus pauvre en azote mobilisable. Les résultats reportés au tableau 2 montrent que la prévision a été exacte dans 8 cas sur 11 :

Tableau 2 : Essai de prévision du besoin en azote de la betterave sucr.

Lieu	Prévision de l'effet de l'engrais .N	Rendement à ON	120 N	Interp.statis. dose croissante	Commentaire sur la prévision
Guarnens	moyen-fort	66	83	a a a a	Echec
Changins	fort	37	56	a b b b b	Echec (cf.rdt)
Chavornay	faible	55	69	a b bc c	Succès
St-Triphon	faible-nul	90	99	a a a a	Succès
Aarberg	moyen	70	83	a b c c c bc	Succès
Alle	fort	40	43	b a bc bc c d	Succès (cf.rdt)
Bargen	moyen-fort	51	63	a a b b b c	Succès
Baulmes	moyen	54	71	a b b c c c	Succès
Reinach	nul	51	60	a b bc bc c bc	Echec (cf.rdt)
Vullierens	moyen	55	73	a b b c c c	Succès
Worben	faible-nul	66	67	a b b b b	Succès



## NATURE DE L'EXTRAIT

Des analyses plus poussées ont été exécutées sur des extraits à l'eau bouillante tirés d'un essai de fertilisation de longue durée, dans lequel on compare divers apports organiques, en l'absence de fumure azotée minérale.

Le carbone et l'azote ont été déterminés dans les extraits, ainsi que la composition élémentaire (CHNOS) de certains d'entre eux. On observe une excellente corrélation linéaire entre la quantité d'azote extrait et le rendement du colza 1985 en l'absence d'engrais azoté. Le coefficient de corrélation linéaire est particulièrement élevé,  $r = 0,96$  (Tab. 3).

Tableau 3 : Relation entre l'azote extractible et le rendement du colza

Amendement	Azote SEB (mg/100g)	Rendement du colza (t/ha)
Témoin (12 ans)	6.2	2.3
Engrais Vert/2 ans	6.5	2.4
Paille systém.	6.7	2.4
Fumier 35 t/ha.3 ans	7.7	2.4
Fumier 70 t/ha.3 ans	8.5	2.6
Lisier 60 m <sup>3</sup> /an	7.6	2.7

Chaque extrait peut être caractérisé par sa teneur en carbone et en azote, et par son rapport C/N. Grâce à ces paramètres simples, il est déjà possible de classer nos extraits en deux groupes (Figure 1), dont l'un comprend les variantes fumier et lisier, et l'autre le témoin et les variantes engrais vert et paille.

Nous avons tenté d'identifier la nature des composés organiques présents dans les extraits, à l'aide de techniques de filtration sur gel Sephadex. Des glucides, des peptides et des phénols semblent présents dans plusieurs fractions de tailles moléculaires différentes.

L'importance relative des fractions à faible et à haut poids moléculaire est modifiée en relation avec les apports d'amendements.

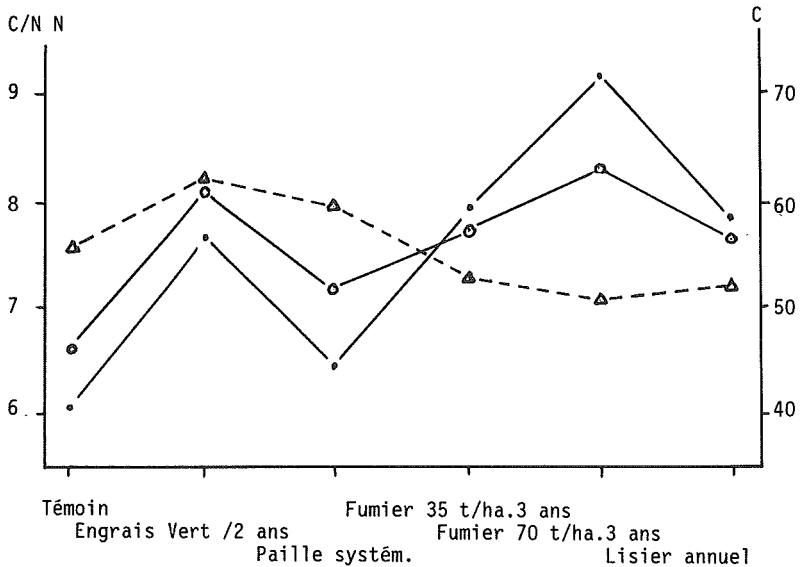


Figure 1 : Rendement et qualité de l'extrait à l'eau bouillante sur diverses variantes de fumures organiques.

#### CONCLUSION

L'extrait à l'eau bouillante contient des composés organiques dont la nature et la quantité nous paraissent liées à la fertilité naturelle du sol. Le rapport C/N de l'extrait donne une information supplémentaire sur la dilution de N dans le squelette carboné.

En agriculture moderne, la contribution de l'azote mobilisable du sol est souvent masquée par l'effet de la fertilisation azotée minérale. C'est pourquoi les différences que nous avons trouvées n'étaient présentes que dans les variantes sans azote minéral.

#### BIBLIOGRAPHIE

STANDFORD G, 1982. Assessment of nitrogen availability. In "Nitrogen in agricultural soils". F.J. Stevenson editor. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

## EINFLUSS DER WASSERVERSORGUNG AUF DIE ERTRAGSLEISTUNG VON KULTURPFLANZEN IM JUGENDSTADIUM

---

U. Schmidhalter und J.J. Oertli  
 Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH, CH-8092 ZUERICH

### 1. ZIEL

Ziel dieses Projektes ist die Ermittlung der Beziehung zwischen der Verfügbarkeit des Wassers im Boden und dem Pflanzenwachstum. Die Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen ergibt sich als resultierende boden- wie pflanzenpezifischer Faktoren.

### 2. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In den vergangenen Jahren sind zahlreiche Modelle entwickelt worden, mit denen versucht wurde, die Wasseraufnahme der Pflanzen quantitativ zu beschreiben. Hauptsächliche Mängel dieser Modelle sind die fehlenden Kenntnisse der Abhängigkeit der Transpirationsrate vom Bodenwasserpotential sowie der räumlichen und zeitlichen Aktivität der Wurzeln.

Die zentralen Fragen, die es zu beantworten gilt, sind:

1. Bei welchem Bodenwasserpotential wird die Ertragsleistung der Pflanzen reduziert und wie sieht die Beziehung zwischen diesen zwei Parametern aus?

2. Wie wird die Beziehung Bodenwasserpotential/Ertragsleistung durch die Pflanzenart, den Bodentyp und die atmosphärischen Faktoren beeinflusst?

Traditionelle Konzepte der Festlegung des Wasserbedarfs beruhen auf Kriterien wie Feldkapazität, permanentem Welkepunkt und pflanzenverfügbarem Wasser. Diese Kriterien wurden nie eindeutig bestimmt. Der permanente Welkepunkt beispielsweise ist je nach Praedisposition der Pflanze, Pflanzenart, Bodenart und atmosphärischen Bedingungen verschieden.

Bisherige Modellvorstellungen basieren auf einer monofunktionalen Abhängigkeit der Ertragsleistung der Pflanzen vom Bodenwasserpotential. Eine universelle Wasserstressfunktion, die diesen Zusammenhang beschreibt, gibt es nicht. Diese variiert je nach Pflanzentyp ( Art, Alter etc.), Bodentyp und atmosphärischen Bedingungen. Während die Physik der Wasserbewegung im Boden bereits recht gut verstanden wird, kann dies für die Aufnahme und Bewegung des Wassers in den Pflanzen nicht gesagt werden, noch weniger gilt dies, wo physiologische Prozesse involviert sind.

Mit dieser Arbeit soll auf Faktoren hingewiesen werden, die die Beziehung zwischen dem Bodenwasserpotential und der Ertragsleistung der Pflanzen beeinflussen und die vermehrt bei künftigen Modellen berücksichtigt werden müssen.

### 3. BODEN-PFLANZEN-ATMOSPHAEREN-KONTINUUM

#### 3.1 Boden-Wurzelkontaktzone

Messungen des Wasserstatus im Boden basieren auf dem grossräumigen Durchschnitt des Bodenwasserpotentials. Die Situation im Nahbereich der Wurzeln, welche massgebend ist für die Wasseraufnahme der Pflanzen, kann sich wesentlich von diesem Durchschnittswert unterscheiden. In sandigen Böden kann bereits bei relativ tiefen Saugspannungswerten ein deutlicher Potentialabfall zu den Wurzeln hin stattfinden (Hainsworth et. al., 1986).

#### 3.2 Bodenwasserkapazität

Böden mit einer geringen Bodenwasserkapazität und entsprechend reduzierter hydraulischer Leitfähigkeit begünstigen die Entstehung steiler Potentialgradienten. Sowohl der Bodenwasserkapazität wie der pflanzlichen Gewebewasserkapazität kommt eine wichtige Pufferfunktion bei Wasserstress zu. In sandigen Böden tritt Wasserstress relativ rasch auf, während in tonigen resp. schluffreichen Böden ein allmählicher Abfall des Wasserpotentials erfolgt, weshalb die Pflanzen während einer längeren Zeit Gelegenheit haben sich anzupassen. Stressintensität und Stressrate sind auf verschieden texturierten Böden wesentlich verschieden.

#### 3.3 Wurzelverteilung resp. -aktivität

Neben der Bodenwasserkapazität ist das erschlossene Bodenvolumen von entscheidender Bedeutung bei der Ausprägung eines Wasserstresses. Massgebend für die Wasseraufnahme ist dabei nicht so sehr die Wurzelverteilung, sondern die räumlich-zeitliche Wurzelaktivität.

Durch eine detaillierte zeitliche und räumliche Bestimmung des Bodenwassergehaltes lassen sich Rückschlüsse auf die Wasseraufnahme der Pflanzen machen.

Bei stationären Bedingungen lassen sich mit dieser Methode keine Aussagen machen. Eine von uns entwickelte Methode hat sich dafür als geeignet erwiesen. Wegen der hohen Diskriminierung von Chloridsalzen bei der Aufnahme in die Pflanzen erfolgt in der Bodenlösung eine Zunahme der Chloridkonzentration, welche proportional zur Wasseraufnahme ist. Aufgrund der Messung der Chloridkonzentration kann die Wurzelaktivität bestimmt werden (Schmidhalter, 1986).

Bei hohen matriscen Wasserpotentialen wird die Wasseraufnahme primär durch die Sauerstoffversorgung limitiert. In diesem Fall muss entweder die Sauerstoffversorgung oder ein bodentypischer kritischer Wasserversorgungsbereich bestimmt werden, bei dem die

Pflanzen mit einer Ertragsabnahme reagieren. Bei einem Schluffboden liegt dieser bei 150–250 cm WS. Der Luftporenvolumenanteil beträgt bei dieser Saugspannung 7 %. Bei dessen Unterschreiten wird das Spross- und Wurzelwachstum drastisch eingeschränkt (Schmidhalter, 1986).

### 3.4 Nährstoffniveau

Die Beziehung zwischen dem Bodenwasserpotential und der Ertragsleistung der Pflanzen kann durch die Nährstoffversorgung des Bodens wesentlich beeinflusst werden. Während das Sprosswachstum bei guter und schlechter Nährstoffversorgung während des Jugendstadiums nur unwesentliche Unterschiede aufwies, ergaben sich beim Wurzelwachstum deutliche Unterschiede. Ein milder Wasserstress induziert bei einer guten Nährstoffversorgung eine deutliche Förderung des Wurzelwachstums (Abb. 1).

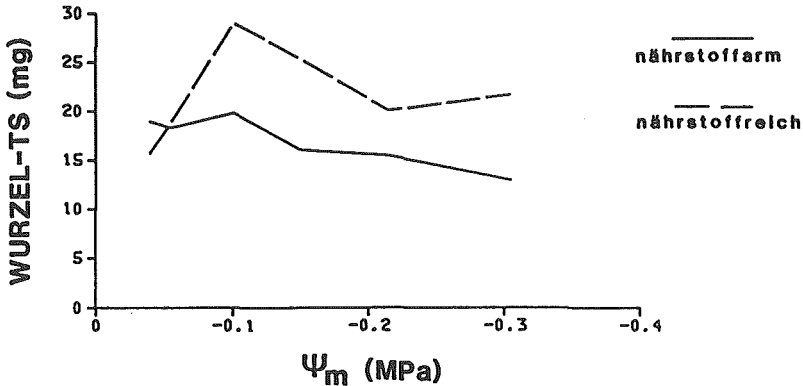


Abb. 1. Einfluss von Wasserstress und Nährstoffversorgung auf das Wurzelwachstum

### 3.5 Morphologische und physiologische Anpassungsmechanismen

Pflanzen reagieren auf Wasserstress mit physiologischen und morphologischen Veränderungen. Obschon die Pflanzen primär zweifellos im physiologischen Bereich reagieren, führen physiologische Veränderungen über längere Zeit zu morphologischen Anpassungen, die für die Pflanzen von sehr grosser Bedeutung sind. Unter den Anpassungsmechanismen, die auf Wasserkonservation ausgerichtet sind, ist die Reduktion der Blattfläche und die Investition in nichttranspirierende Pflanzenteile zu nennen. Dies zeigt sich beispielsweise in einer Zunahme des Wurzel/Spross-Verhältnisses. Häufig wird dabei eine Förderung des Wurzelwachstums beobachtet.

Aufgrund der verkleinerten photosynthetischen Oberfläche kann die Nettoassimilationsrate reduziert sein. Neben den kurz- und

mittelfristigen Vorteilen sind somit auch die längerfristigen Folgen zu beachten.

Der physiologische Mechanismus, der der Förderung des Wurzelwachstums zugrundeliegt, ist die osmotische Anpassung des Wurzelgewebes. Während das Sprossgewebe nicht mehr genügend in der Lage ist, sich osmotisch anzupassen, gestattet die osmotische Anpassung den Wurzeln den Turgor aufrechtzuerhalten (Schmidhalter, U. et al., 1987).

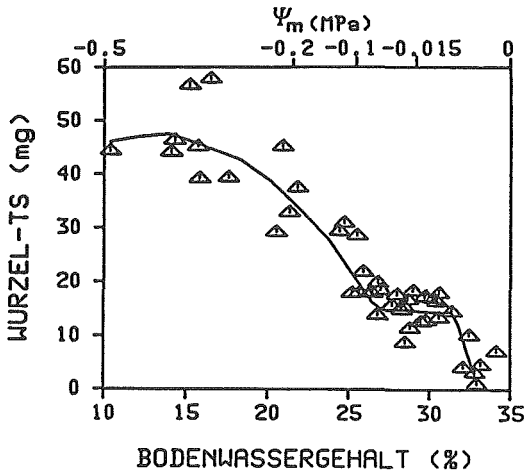


Abb. 2. Förderung des Wurzelwachstums bei Wasserstress

Neben den vorerwähnten Anpassungsmechanismen stellt die Erhöhung des Diffusionswiderstandes durch Stomatenschluss einen eigentlich wassersparenden Mechanismus dar, der jedoch im allgemeinen eher bei stärkerem Wasserstress zum Tragen kommt.

### 3.6 Evaporativität

Ein hohes Sättigungswasserdefizit hat kurz- wie auch langfristig starke Auswirkungen auf das Leistungsvermögen der Pflanzen. Bei einem höheren Sättigungswasserdefizit ergab sich eine vergleichbare Abnahme des Sprosswachstums wie bei einem tiefen Sättigungswasserdefizit, das Ertragsniveau lag jedoch etwas tiefer.

Ein deutlicher Unterschied zeigte sich jedoch beim Wurzelwachstum. Bei einem niedrigen Sättigungswasserdefizit bemerkt man eine tendenzielle Förderung des Wurzelwachstums mit abnehmendem Wasserpotential (Abb. 3). Ein hohes Sättigungswasserdefizit hatte eine hohe Stressrate bzw. Stressintensität zur Folge. Diese bewirkte anfänglich eine verstärkte Förderung des Wurzelwachstums, welche jedoch bei abnehmendem Wasserpotential nicht mehr aufrechterhalten werden konnte, da sich das Wurzelgewebe nicht mehr genügend rasch osmotisch anpassen konnte.

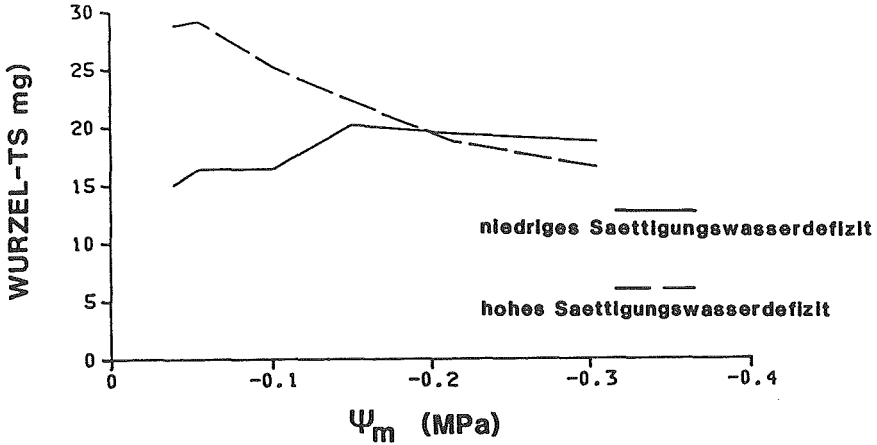


Abb. 3. Einfluss des Sättigungswasserdefizites auf das Wurzelwachstum

### 3.7 Lichtintensität

Neben dem Sättigungswasserdefizit spielt die Lichtintensität eine wichtige Rolle bei der Ausprägung der Auswirkungen eines Wasserstresses. Neben dem allgemein bekannten Effekt einer generellen Förderung des gesamten Pflanzenwachstums, stellt man bei hoher Lichtintensität ein stark gesteigertes Wurzelwachstum fest. Das Sprosswachstum zeigt unter wasserlimitierenden Bedingungen bei hoher Lichtintensität eine viel stärkere Abnahme als bei niedriger Lichtintensität (Abb. 4).

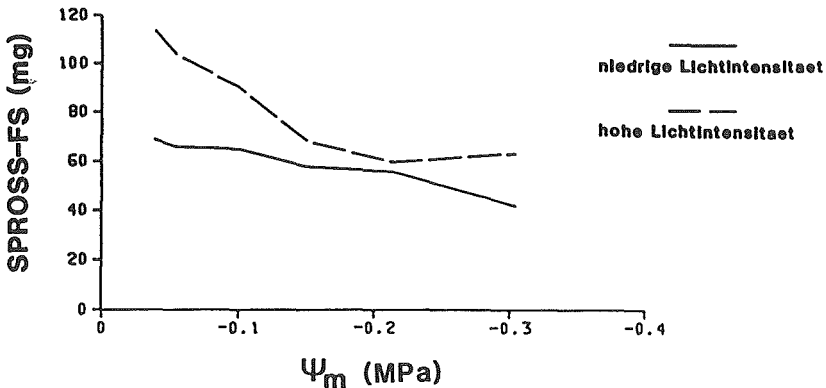


Abb. 4. Einfluss von Lichtintensität und Wasserstress auf das Sprosswachstum

#### 4. LITERATUR

- EVEQUOZ, M. 1987. Etude comparative de l'effet d'un stress hydrique et d'un stress salin sur la croissance des tiges et des racines. Travail de diplôme ETHZ
- HAINSWORTH, J.M., and L.A.G. AYLMOORE, 1986. Water extraction by plant roots. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:841-848
- SCHMIDHALTER, U. and J.J. OERTLI. 1987. Beiträge zur Wasseraufnahme der Wurzeln. Mittg. Dtsch. Bdkdl. Ges. 53:467-472
- SCHMIDHALTER, U. 1986. Bodenversalzung im Unterwallis: Ursachen, Mechanismen und Meliorationsmassnahmen. Diss. Nr. 8052, ETH Zürich, pp. 271

#### 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

In bisherigen Wasserentzugsmodellen werden pflanzenphysiologische Reaktionsmechanismen auf Wasserstress kaum oder nicht genügend berücksichtigt. Die Wasseraufnahme ist ein dynamischer Vorgang, auf den die Pflanzen mit unterschiedlichen physiologischen und morphologischen Veränderungen reagieren können, deren Ergebnis wiederum den Prozess der Wasseraufnahme beeinflusst und damit die Ertragsleistung. Bereits bei relativ hohen matrischen Wasserpotentialen zeigen die Pflanzen deutliche Ertragseinbussen. Die Beziehung zwischen dem Bodenwasserpotential und der Ertragsleistung der Pflanzen wird u.a. durch die Bodenwasserkapazität, das Nährstoffniveau des Bodens sowie die atmosphärischen Bedingungen beeinflusst. Diese Faktoren müssen verstärkt berücksichtigt werden.

#### 6. RESUME

Les modèles d'absorption hydrique développés jusqu'à maintenant, ne considéraient que peu ou pas du tout les mécanismes de réaction physiologique des plantes à un stress hydrique. L'absorption d'eau est un processus dynamique auquel les plantes peuvent réagir par des changements physiologiques et morphologiques qui eux-mêmes influenceront à nouveau l'absorption d'eau et donc le rendement. Déjà à des potentiels matriciels relativement élevés, les plantes montrent de nettes réductions de rendement. La relation entre le potentiel hydrique du sol et le rendement des plantes est influencé entre autre par la capacité hydrique du sol, son niveau de fertilité et par les conditions atmosphériques. Ces facteurs doivent être mieux considérés.



## BODENVERSALZUNG IM UNTERWALLIS: URSACHEN, MECHANISMEN UND MELIORATIONSMASSNAHMEN

U. Schmidhalter und J.J. Oertli  
 Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH, CH-8092 ZUERICH

### 1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Eine hohe Sonneneinstrahlung und günstige Temperaturverhältnisse ermöglichen in bewässerten Trockengebieten eine intensive Produktion. Mehr als die Hälfte der bewässerten Böden der Welt sind jedoch von der Versalzung bedroht. Als Folge erhöhter Salzgehalte in den Alluvialböden der Rhoneebene entstehen bei Gemüsekulturen häufig Ertragsausfälle und -reduktionen.

### 2. ZIELE DER ARBEIT

- Systematische Untersuchung der Versalzungsprobleme im Unterwallis
- Abklärung der Ursachen und Mechanismen der Versalzung
- Ausarbeitung von Verbesserungsvorschlägen zur Lösung der Probleme

### 3. URSACHEN DER VERSALZUNG

Während der Vegetationsperiode existiert im untersuchten Gebiet ein ausgeprägtes Wasserversorgungsdefizit. Dieses Defizit wird zum Teil durch Grundwasser, das kapillar aufsteigt, und zum Teil durch Bewässerungswasser gedeckt. Im Grund- und Bewässerungswasser gelöste Salze reichern sich im Boden an und führen zu Ertragsausfällen. Die Salze entstehen aus der Verwitterung des Muttergesteins der seitlichen Berge und werden mit den Niederschlägen ins Grundwasser verlagert (Abb. 1.).

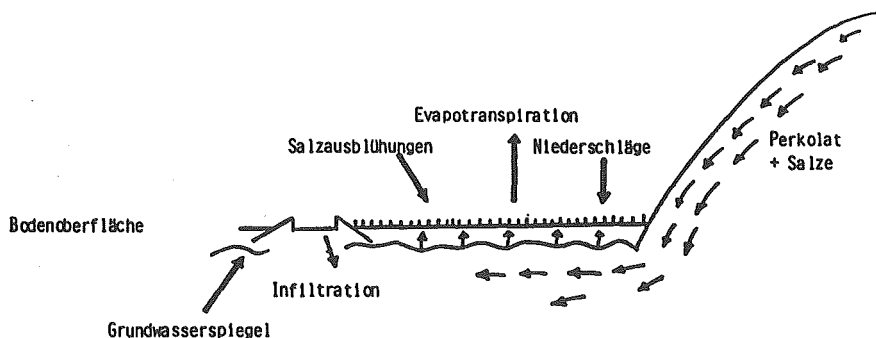


Abb. 1 Schematische Darstellung des Versalzungsprozesses

Das Ausmass der Schäden hängt wesentlich von drei Faktoren ab:

### 3.1 Wasserqualität

In der Rhoneebene zeigt sich eine ausgeprägte horizontale und vertikale Zonierung der Salzkonzentration im Grundwasser. Die Salzkonzentration im Grundwasser nimmt im allgemeinen von den Talflanken rhonewärts ab. Im oberflächennahen Grundwasser finden sich höhere Salzkonzentrationen (500-3000 mg/l) als in den tieferliegenden, grundwasserführenden Schichten. Wasser, das mehr als 500-700 mg/l Salz enthält, ist nur bedingt für die Wasserversorgung der Pflanzen geeignet.

### 3.2 Physikalische Bodeneigenschaften

Die Textur des Bodens beeinflusst die Schäden in wesentlichem Masse. Gefährdet sind Kulturen insbesondere auf schluffreichen Böden. Diese weisen einerseits ein gutes kapilläres Aufstiegsvermögen auf, andererseits aber einen geringen Anteil Grobporen, weshalb die Salze nur ungenügend ausgewaschen werden und der Lufthaushalt beeinträchtigt wird.

### 3.3 Grundwassertiefe

Das Grundwasser leistet einen wesentlichen Beitrag zur Wasserversorgung der Pflanzen, gleichzeitig werden jedoch erhebliche Mengen Salze in den Wurzelraum transportiert. Je näher sich der Grundwasserspiegel bei der Oberfläche befindet, desto mehr Wasser steigt auf, desto stärker ist die Versalzung (Abb. 2).

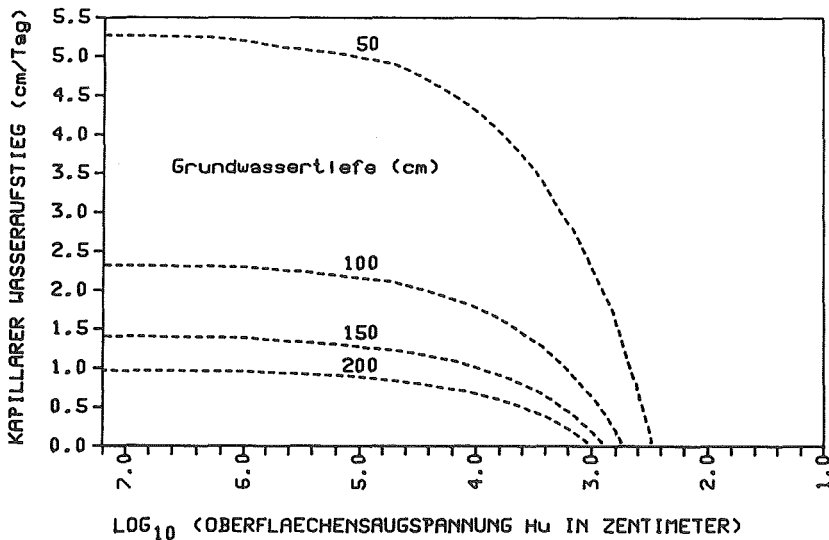


Abb. 2. Kapillarer Wasseraufstieg in einem schluffreichen Boden in Abhängigkeit von der Grundwassertiefe und der Oberflächen-saugspannung

Der Grundwasseraufstieg kann mit mathematischen Methoden berechnet werden. Damit lässt sich der Beitrag des Grundwassers zur Wasserversorgung der Pflanzen abschätzen resp. der Einfluss einer Grundwasserabsenkung voraussagen (Abb. 2).

Eng gekoppelt mit dem Wassertransport ist der Salztransport. Mit Simulationsmodellen wird die Verlagerung von Salzen im Boden beschrieben (Abb. 3). Basierend auf diesen Ergebnissen lässt sich der Versalzungsvorgang voraussagen und Verbesserungsmaßnahmen können gezielter eingesetzt werden.

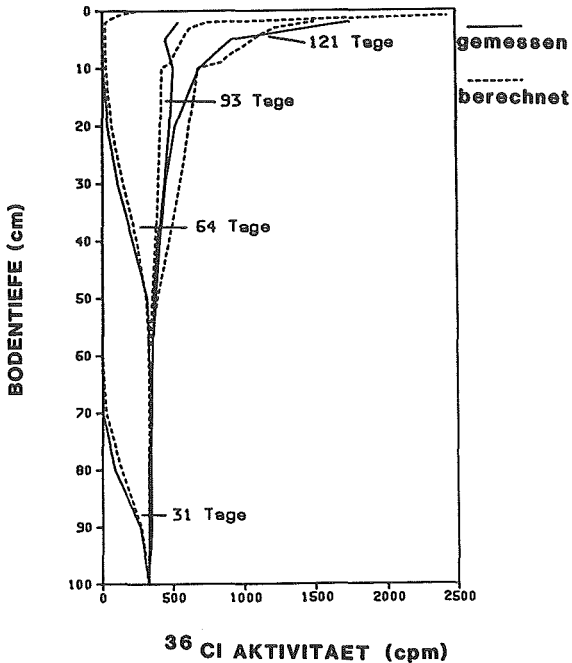


Abb. 3. Gemessene und berechnete Chloridverteilung zu verschiedenen Zeiten in einem bepflanzten Boden mit einer Grundwassertiefe von 100 cm. Der Tracer wurde dem Grundwasser kontinuierlich zugegeben

#### 4. AUSWIRKUNGEN AUF DAS PFLANZENWACHSTUM

Am stärksten betroffen von der Versalzung sind die Pflanzen während der Keimungsphase. Aeltere Pflanzens sind aufgrund ihres besser entwickelten Wurzelwerkes, mit dem sie ein grösseres Bodenvolumen erschliessen können, weniger gefährdet. Für die Untersuchungen wurden Karotten, die als salzempfindlich gelten, verwendet.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Keimungsprozess:

#### 4.1 Salzgehalt

Erhöhte Salzkonzentrationen im Boden führen zu einer Verzögerung und Reduktion der Keimung.

#### 4.2 Wassergehalt des Bodens

Eine zu hohe Bodenfeuchtigkeit beeinträchtigt die Keimung sehr stark (Abb. 4). Samen benötigen bereits in einem frühen Stadium eine ausreichende Sauerstoffversorgung.

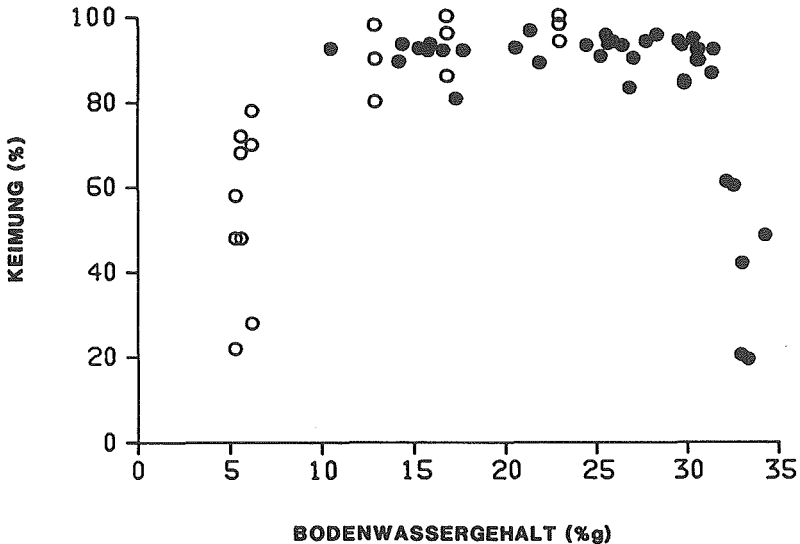


Abb. 4. Einfluss des Bodenwassergehaltes auf die Keimung von Karotten in einem schluffreichen Boden

#### 4.3 Temperatur

Erhöhte Salzkonzentrationen führen bei niedrigen Temperaturen (8-12 °C) zu einer starken Beeinträchtigung des Keimungsvorganges.

Fazit: Die häufig während der Keimungsphase beobachteten Schäden sind vor allem auf erhöhte Salzgehalte im Boden und eine ungenügende Sauerstoffversorgung zurückzuführen. Tiefe Temperaturen verstärken die negativen Auswirkungen.

## 5. VERBESSERUNGSMASSNAHMEN

### 5.1 Grundwasserabsenkung

Durch eine Absenkung des Grundwasserspiegels wird eine wesentliche Verbesserung der Situation erreicht. Der Eintrag von salzhaltigem Grundwasser in den Wurzelraum wird reduziert, die Durchlüftung verbessert, die Auswaschung der Salze erleichtert und die Erwärmung des Bodens gefördert.

### 5.2 Bewässerung

Durch regelmässige Bewässerungen wird die Salzkonzentration im Boden tiefgehalten. Die optimale Gabenhöhe beträgt auf feintexturierteren Böden 20 (-40) mm. Höhere Gaben führen zu Verschlämmungen.

### 5.3 Salzsauswaschung und Drainierung

- Stark versalzene Standorte: Eine umfassende Auswaschung der Salze ist erforderlich. Um die Salze in 1 Meter Tiefe zu verlagern, werden 500 mm Wasser benötigt. Die Auswaschung erfolgt vor der Saat.
- Mässig versalzene Standorte: Am besten geeignet ist eine Auswaschung vor der Saat (40-100 mm), wodurch die Voraussetzungen für ein ungefährdetes Auflaufen der Pflanzen geschaffen werden.
- Eine Auswaschung der Salze, ohne sie wegzuführen, ist sinnlos.

### 5.4 Weitere Verbesserungsmaßnahmen

- Tiefpflügen
- Erhöhung des Anteils organischer Substanz
- Wahl toleranterer Pflanzen

## 6. LITERATUR

SCHMIDHALTER, U., 1986. Bodenversalzung im Unterwallis. Ursachen, Mechanismen und Meliorationsmassnahmen. Diss. Nr. 8052, ETH Zürich, pp. 271

## 7. ZUSAMMENFASSUNG

Als Folge erhöhter Salzgehalte in den Alluvialböden der Rhoneebene werden bei Gemüsekulturen häufig Ertragsausfälle und -reduktionen beobachtet. Ziel dieser Arbeit war die systematische Untersuchung der Versalzungsprobleme im Unterwallis. Ursachen und Mechanismen der Versalzung wurden abgeklärt sowie Verbesserungsvorschläge zur Lösung der Probleme ausgearbeitet.

## 8. RESUME

Suite à une teneur élevée en sels des sols alluviaux de la plaine du Rhône, on a souvent observé des réductions de rendement pouvant aller jusqu'à l'anéantissement total de la culture. Le but de ce travail est l'étude systématique des problèmes de salinisation dans le bas-Valais. Les causes de les mécanismes de cette salinisation ainsi que des propositions d'amélioration y sont étudiées.

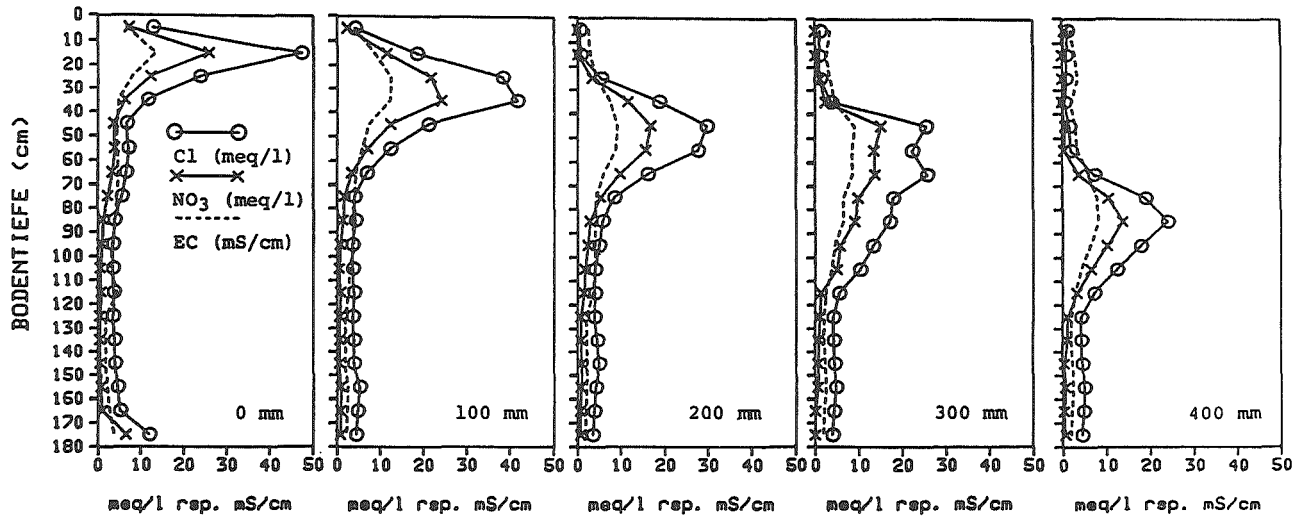


Abb. 5. Auswaschungsversuch. Einfluss der eingesetzten Bewässerungsmengen auf die Salz-, Chlorid- und Nitratverlagerung

## **Stabilisation von Böden mit organischen Bindemitteln**

Léa Locher-Azevedo, Matthias Neuenschwander

Franco Balduzzi (Koordinator),

Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH Zürich

### **Einleitung**

In tropisch-ariden Gebieten muss das Regenwasser genutzt und der Boden geschützt werden. Jedes Abfließen verursacht Erosion und Verlust von Wasser. Das Fehlen der Vegetation hat Kolmatierung, raschen Abfluss, Erosion und verschlechterte Wachstumsbedingungen zur Folge.

Risse (Strukturbildung) der Bodenoberfläche verbessern die Infiltration. Es wird geprüft, ob organische Bindemittel die Kohäsion und die Durchlässigkeit der Bodenoberfläche vergrössern.

### **Erosion als Festigkeitsproblem**

Feinkörnige Böden werden erodiert, sobald die treibenden Kräfte, die auf die Bodenteilchen wirken, grösser sind als die Rückhaltenden. Erosion ist also ein Scherfestigkeitsproblem [2].

Die Scherfestigkeit eines Bodens setzt sich zusammen aus der Kohäsion und aus einem spannungsabhängigen Reibungsanteil [6]. An der Bodenoberfläche wirkt keine Normalspannung. Es ist nur die Kohäsion wirksam; Strukturbildung und damit Erosionsstabilität hängen von ihrer Grösse ab. Eine Vergrösserung der Kohäsion bedeutet eine Zunahme der Scherfestigkeit und damit eine Verbesserung der Erosionsstabilität.

### **Bindemittel und Böden**

**Gummi Arabicum** und **Pektin** sind lokal erhältliche Bindemittel pflanzlichen Ursprungs. Sie wurden wegen ihrer Wasserlöslichkeit (Verteilung), ihrer Abbaubarkeit (Verträglichkeit) und ihrer Verfügbarkeit in tropischen Regionen ausgewählt.

Im Labor wurden ein siltiger Sand (SM) ohne Plastizität aus der Schweiz und ein toniger Silt mittlerer Plastizität (CL) aus Brasilien untersucht.

Die Feldversuche in Niger, Westafrika, wurden auf siltigem Sand (SM) mit wenig bzw. ohne Ton durchgeführt.

## Laborversuche

Im Labor wurde geprüft, welche Bindemittelkonzentrationen eine Zunahme der Festigkeit bewirken, und ob diese Festigkeitsänderung bei wechselndem Wassergehalt stabil bleibt.

### Probenherstellung

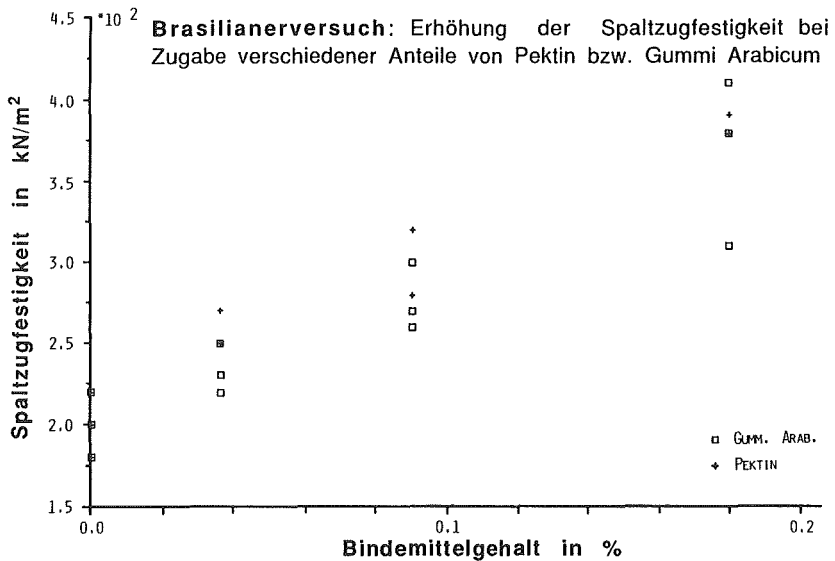
Der Anteil der Bodenprobe kleiner als 0.5 mm wird trocken mit dem Bindemittel vermischt, bei einem Wassergehalt  $w \approx w_L$  (Fließgrenze; entspricht dem Übergang vom plastischen zum zähflüssigen Zustand) in einen Stahlring ( $F=16\text{cm}^2$ ,  $h=2\text{cm}$ ) eingespachtelt und anschließend luftgetrocknet.

Die Art der Bindemittelzugabe (trocken oder in Lösung) beeinflusst die Ergebnisse nicht.

### Versuche:

#### Brasilianerversuch [1] zur Bestimmung der Trockenfestigkeit

Die luftgetrocknete, zylindrische Probe wird zwischen zwei Linienlagern bei konstanter Deformationsgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet.



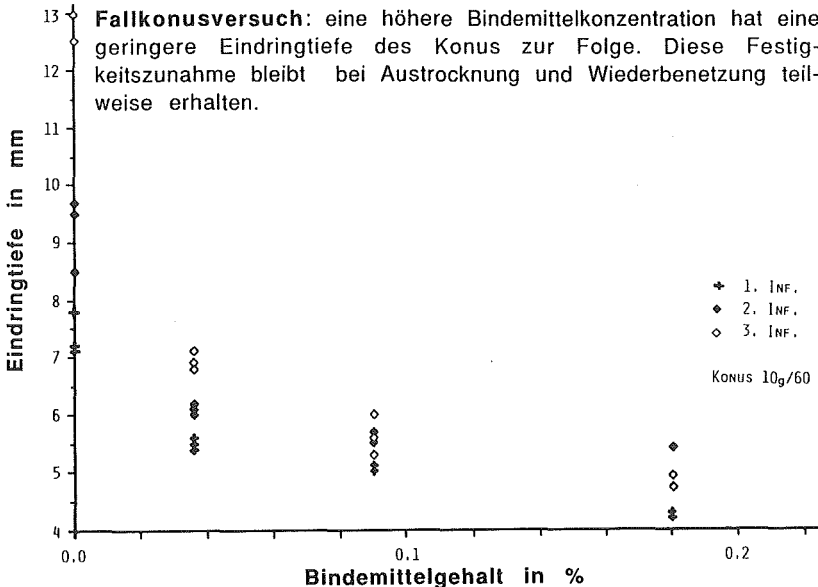
**Bild 1:** Brasilianerversuch, Ergebnisse für siltigen Sand



Aus der Bruchlast wird die Spaltzugfestigkeit errechnet. Bereits kleine Bindemittelmengen bewirken eine deutliche Zunahme der Spaltzugfestigkeit (siehe Bild 1).

### Falkonusversuch [3,4] zur Bestimmung der Festigkeit bei Feldkapazität

Die lufttrockene Probe wird auf einer Filterplatte von unten her kapillar infiltriert, bis sie ihr Wasseraufnahmevermögen erreicht hat (Feldkapazität). Ein Konus (Gewicht: 10g, Öffnungswinkel: 60°) wird senkrecht mit der Spitze an die Probenoberfläche geführt. Darauf wird die Haltevorrichtung des Konus gelöst, und der Konus dringt in die Probe ein. Die Eindringtiefe eines bestimmten Konus hängt nur von der Probenfestigkeit ab.



**Bild 2:** Falkonusversuch, Ergebnisse für siltigen Sand und Gummi Arabicum

Die Zugabe der Bindemittel hat eine Erhöhung der Festigkeit zur Folge. Die Wiederholung des Versuches nach Austrocknung und Wiederbenetzung zeigt, dass durch das Bindemittel auch die Stabilität dieser Festigkeit bei wechselndem Wassergehalt verbessert wird (siehe Bild 2).

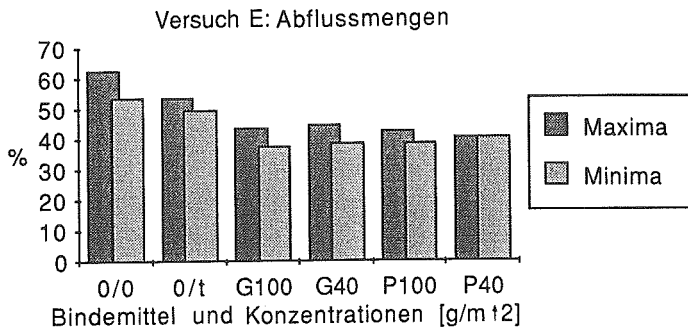
## Feldversuche

Die Feldversuche wurden im Rahmen eines IGB-Projektes in Tahoua, Niger, durchgeführt.

- Ziele:
- Abschätzung der Infiltration
  - Nachweis einer Strukturbildung
  - Nachweis der Verträglichkeit mit Pflanzen

### Abschätzung der Infiltration

Parzellen von 1m<sup>2</sup> Fläche wurden mit der Harke aufgeraut, mit verschiedenen Mengen der beiden Bindemittel bestreut und mit 10 l Wasser sorgfältig begossen, so dass kein Wasser wegfloss. Nach 24 Stunden wurden die Parzellen rasch begossen (10 l in 30"), und die wegfließende Wassermenge wurde bestimmt.

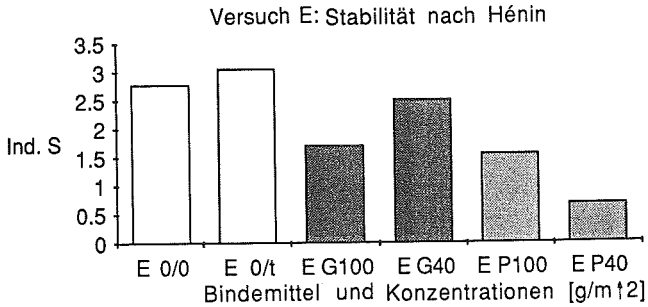


**Bild 3:** Feldversuch, Abflussmessungen

Der Vergleich zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen zeigt eine Reduktion der Abflüsse, also eine Verbesserung der Durchlässigkeit durch das Bindemittel (siehe Bild 3).

### Nachweis der Strukturbildung

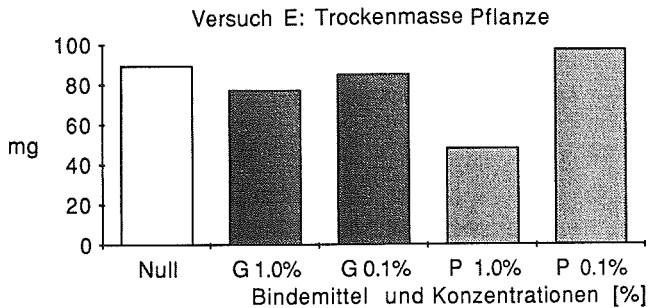
An der Oberfläche der Parzellen wurden Bodenproben entnommen, und an diesen die Strukturstabilität nach *Hénin* bestimmt [5]. Die Abnahme des Index S bedeutet eine Zunahme der Menge der Krümel >2mm, die auch bei Benetzung erhalten bleiben (siehe Bild 4).



**Bild 4:** Feldversuch, Strukturstabilität nach Hénin

### Nachweis der Verträglichkeit mit Pflanzen

In durchsichtigen, geschlossenen Töpfen wurde vorgekeimtes Hirse-Saatgut auf Böden mit unterschiedlichem Bindemittelgehalt während 7 Tagen im Klimaraum belassen. Darauf wurden die Pflanzen geerntet und gewogen.



**Bild 5:** Feldversuch, Verträglichkeit mit Pflanzen

Die Zugabe kleiner Bindemittelmengen hatte keinen wesentlichen Einfluss auf das Trockengewicht der Jungpflanzen (siehe Bild 5).

## Folgerungen

Es ist möglich, durch Zugabe organischer, leicht abbaubarer Bindemittel auf pflanzlicher Basis die Kohäsion von Böden zu vergrössern und eine Struktur zu bilden. Dadurch wird der Boden erosionsstabiler, und seine Oberfläche wird durchlässiger. Die Wirkungszeit des Bindemittels ist in tropisch-ariden Gebieten für die Wiederherstellung einer Pflanzendecke, welche anschliessend als Erosionsschutz dient, möglicherweise ausreichend.

## Résumé

*La résistance à l'érosion des sols fins ainsi que la perméabilité de leur surface dépendent de leur cohésion. En leur ajoutant des liants organiques à base végétale, cette cohésion peut être améliorée.*

## Beteiligte Institutionen

Allgemeiner Teil und Pflanzversuche

Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

(Prof.Dr. J.J.Oertli, Dr. U.Schmidhalter, M.Evéquoz)

Strukturstabilität

Station Fédérale de Recherche Agronomique, Nyon

(Dr. J.-A.Neyroud, B.Müller)

Versuchsfelder

Projet "Comportement des Sols du Niger", Niamey, Rep. du Niger

(Dr. H.Bender, W.Bernardi, M.Neuenschwander)

## Literatur

[1] Arnold, W.: Tropische Residualböden: Charakterisierung aufgrund von Porosimetriekriterien und Klassifizierung mittels Schumpfgränze und Trockenfestigkeit, Zürich: Diss.ETH Nr. 7727, 1985

[2] Bender, H.: Erosion feinkörniger Böden: Ein Problem der Scherfestigkeit in Abhängigkeit der Spannungsgeschichte und des Spannungspfades bei Wassergehaltsänderungen, Zürich: Diss.ETH Nr. 7637, 1984

[3] Bernucci, L.: Le Gonflement et le Retrait des Sols Tropicaux Compactés: L'Identification des Sols Tropicaux à l'Aide du Retrait et du Gonflement, Zürich: Interner Bericht J 341/4F, IGB-ETH Zürich 1986

[4] Hansbo, S.: A New Approach to the Determination of the Shear Strength of Clay by the Fall Cone Test, Stockholm: RSCI Proceedings No. 14, 1957

[5] Hénin, S.: Cours de Physique du Sol, Paris: ORSTOM 1976

[6] Lang, H.-J.; Huder, J.: Bodenmechanik und Grundbau, 3., überarb. und erw. Auflage, Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer 1985

## JAHRESBERICHT / RAPPORT D'ACTIVITE 1987

### 1. Tagungen und Exkursionen

#### 1.1 Jahrestagung und Generalversammlung

Die Jahrestagung und GV fanden am 6. März in Sissach an der landwirtschaftlichen Schule Ebenrain statt und wurden von 71 Mitgliedern besucht. Thematisch stand die Tagung unter dem Titel "Der Boden als Teil des Oekosystems".

Die wichtigsten Traktanden der GV waren die Mandatserneuerungen der Arbeitsgruppen sowie die Wahlen des Vorstandes, des Redaktors und der Revisoren für die kommenden zwei Jahre.

Die folgenden vier Arbeitsgruppen bleiben während den nächsten drei Jahren aktiv: Klassifikation und Nomenklatur (M. Müller), Körnung und Gefüge (E. Kramer), Lysimeter (W. Stauffer) und Bodenschutz (H. Bieri). Vergleiche die Berichte der Arbeitsgruppen. Um Informationsaufgaben wahrnehmen zu können, wird der Vorstand beauftragt, Lösungsvorschläge zu erarbeiten (vgl. unter Punkt 5).

#### 1.2 Jahresexkursion

Am Vorabend der Exkursion (3.9.) wurde zu einem ausserordentlichen Pedostamm in Zürich eingeladen.

Die Jahresexkursion wurde am 4./5.9. in der Umgebung von Zürich durchgeführt. Themenschwerpunkte bildeten die Vorstellung bodenkundlicher Aspekte auf dem Standort Lägern des Nationalen Forschungsprogramms NFP 14+ (Waldschäden und Luftverschmutzung in der Schweiz) und im "Immissionsökologischen Programm an Dauerbeobachtungsflächen im Wald des Kantons Zürich" (Standort Rafz). Zur Darstellung gelangten auch zwei landwirtschaftliche Projekte. Führungen in Regensberg und Rafz brachten den Teilnehmern die beiden Gemeinden etwas näher und lockerten das Gesamtprogramm auf.

#### 1.3 Fachsymposium

Am 9.10. führte die BGS im Rahmen der SNG-Jahrestagung in Luzern ein Fachsymposium unter dem Titel "Immissionsbelastung von Waldböden: Veränderungen und Auswirkungen" durch.

Die Veranstaltung wurde sehr gut besucht, u.a. auch von Forstpraktikern und zeigte auf, dass das aktuelle Thema auf ein grosses Interesse stösst. Die gehaltenen Referate sollen in der BGS-Dokumentenserie als Nr. 4 publiziert werden.

### 2. Internationale Beziehungen

Die Kontakte mit den benachbarten Gesellschaften in Deutschland und Oesterreich wurden gepflegt. Eine Schweizer-Delegation besuchte die DBG-Jahrestagung in Stuttgart-Hohenheim und mit Prof. Dr. H. Flüßler ist eines unserer Mitglieder Kommissionsvorsitzender "Bodenphysik" bei der DBG.

Mit der OeBG laufen die Vorbereitungsarbeiten für eine gemeinsame Exkursion 1988 im Grenzraum Oesterreich/Schweiz.

### 3. Publikationen

Die Gesellschaft hat im vergangenen Jahr das BGS-Bulletin Nr. 11 mit den Referaten der Jahrestagung in Ebenrain herausgegeben. In Vorbe-

reitung ist ein Dokument Nr. 4 mit dem Titel "Immissionsbelastung von Waldböden: Veränderungen und Auswirkungen" mit den Referaten des Fachsymposiums anlässlich der SNG-Jahrestagung in Luzern. Ebenfalls in Vorbereitung ist das Dokument Nr. 5, das von der Arbeitsgruppe Lysimeter bearbeitet wird.

#### **4. Ausstellung "Boden - bedrohte Lebensgrundlage"**

Unsere Jubiläumsausstellung wurde vom Verein "Jugend und Wirtschaft" mit der "Goldenen Schiefertafel" ausgezeichnet. Die Ausstellung war auch im vergangenen Jahr stets unterwegs. Die dazu gehörende Broschüre, erschienen im Sauerländer-Verlag, wird nun zum Preis von Fr. 12.- im Buchhandel erhältlich sein.

#### **5. Information**

Damit Anlässe von verschiedensten Institutionen mit bodenkundlichem Inhalt besser publik werden, bietet die BGS ihr quartalsweise erscheinendes Kalenderblatt (Agenda) an. Der Informationsfluss geht über die Dokumentationsstelle.

Ganz im Zeichen der gegenseitigen Orientierung über Forschungsschwerpunkte soll mit Institutsvorstellungen und Postersessionen die Jahrestagung 1988 stehen.

Die bessere Information gegen aussen soll mit einer vom Vorstand vorgelegten Statutenrevision bewerkstelligt werden (Vorlage GV 88). Neue Organe der BGS werden der erweiterte Vorstand, Informationsbeauftragte und Delegierte der BGS in anderen Organisationen sein. Durch diese organisatorische Massnahme sind jedoch die personellen Probleme noch nicht aus dem Weg geschafft.

#### **6. Administrative Tätigkeit**

Es fanden vier Vorstandssitzungen sowie eine gemeinsame Sitzung des Vorstandes mit den Arbeitsgruppenpräsidenten und dem Redaktor statt. Die Mitgliederzahl hat sich um 13 erhöht und lag am 1.1.88 bei 228. Allein zu Beginn des Jahres 88 haben sich 11 neue Mitglieder angemeldet.

Im Namen aller Mitglieder danke ich dem Sekretär, Herrn L.-F. Bonnard, dem Kassier, Herrn A. Kaufmann, dem Redaktor, Herrn M. Müller, sowie den Präsidenten von Arbeitsgruppen und den Rechnungsrevisoren für die geleistete Arbeit.

Ein weiterer Dank gilt allen "aktiven" Mitgliedern, die zum guten Gelingen der verschiedenen Veranstaltungen des vergangenen Jahres beigetragen haben.

#### **7. Ausblick**

Die Jahresexkursion 1988 vom (1.)2./3. September gemeinsam mit der Oesterreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft führt uns in den Raum Bregenz und ins Alpthal (Kt. SZ).

Der Vorstand hofft, dass es in Zukunft gelingt, wieder vermehrt junge BGS-Mitglieder für die aktive Mitarbeit in den Arbeitsgruppen zu gewinnen.

Birmensdorf, im Februar 1988

Peter Lüscher  
Präsident

## BERICHTE DER ARBEITSGRUPPEN

### Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur

Im Berichtsjahr wurden eine Sitzung und eine Exkursion abgehalten.

Alle Teilnehmer der Sitzung vom 3. Juli 1987 waren sich darüber einig, dass eine einheitliche Schweizer Bodenklassifikation wünschenswert ist. Da die meisten Bodenkarten in unserem Lande auf der Klassifikation der FAP Reckenholz basieren, soll geprüft werden, ob auf der Grundlage dieser Klassifikation ein allgemein verbindliches System erarbeitet werden kann. Die meisten Mitglieder der Arbeitsgruppe sind mit dem Klassifikationssystem der FAP wenig vertraut, weshalb in den nächsten Sitzungen eine Einführung durch Vertreter der FAP erfolgen soll.

Eine Exkursion in die Umgebung von Zürich diente dazu, die Reckenholz-Klassifikation in der Praxis anhand von einigen Profilen kennenzulernen.

Reckenholz, 20. Januar 1988

Moritz Müller

### Jahresbericht der Arbeitsgruppe Lysimeter

-----

Die Arbeitsgruppe traf sich im Berichtsjahr zweimal zu einer täglichen Sitzung. Zu ihrem neuen Präsidenten wurde an der ersten Sitzung im Mai Werner Stauffer, FAC gewählt. Beide Sitzungen fanden in Liebefeld statt. Mit den jeweiligen Treffen der Gruppe sind meistens auch Besichtigungen verbunden, die der ganzen Arbeitsgruppe verschiedene Projekte im Zusammenhang mit Lysimetern näherbringt.

Die in Bearbeitung stehende Publikation über "Lysimeterdaten in der CH" wurde intensiv weiterbearbeitet. Der Grossteil der Arbeit verrichteten die eigens hierfür gewählte Redaktionskommission (Sevruk, Nievergelt, Schüepp, Blum). Die Publikation soll 1988 in Form eines weiteren BGS-Dokumentes erscheinen.

Im weiteren wurde an der Dezenbersitzung beschlossen, dass für die Generalversammlung 1988 ein Poster vorbereitet werden soll, mit dem sich die Arbeitsgruppe den anderen Mitgliedern näherbringt.

Werner Stauffer

## Arbeitsgruppe BODENSCHUTZ

Wegen unvorhersehbarer Arbeitsüberlastung des Arbeitsgruppenpräsidenten ist die Gruppenaktivität beschränkt geblieben.

Zu reden gab die Broschüre "Kulturland und Kiesabbau", welche vom FSK (Fachverband für Sand und Kies) ohne Unterstützung der BGS weiterbearbeitet wurde. Wichtige Fachstellen und Instanzen wurden von der AG darüber informiert, dass der FSK sich von einer Zusammenarbeit mit der BGS zurückgezogen hat. Dabei hat die Arbeitsgruppe nochmals die wesentlichsten wissenschaftlichen Normen und wichtige Entscheide beim Ablauf des Kiesbaues und der Rekultivierung an diese Kreise mitgeteilt.

An einer Tagung der VLP vom 10. November zum Thema "Raumplanung und Kiesabbau" hat der Arbeitsgruppenpräsident den Standpunkt der Gruppe Bodenschutz vertreten.

Das Programm für die nächsten 3 Jahre wurde wie folgt im Ausschuss besprochen:

### **QUALITATIVER BODENSCHUTZ UND ERHALTUNG DER BODENFRUCHTBARKEIT**

Bodenfruchtbarkeit (als Oberbegriff) und deren Gefährdung durch:

generelle Auswirkungen durch Schadstoffe, Verdichtung, Veränderung der Bodenbiologie, der Oekosysteme, durch Erosion, etc.

### Qualitativer Bodenschutz und Bodenfruchtbarkeit

Problemkreise:

- Chemischer Bodenschutz.

Chemische Verbindungen die lang- oder kurzfristig sich abbauen. Orientierung und Informierung der AGR, ev. Spezialtagung mit Referaten in Aussicht nehmen Belastung des Bodens mit Schadstoffen, Kontaminierungsgrenzen, Schwermetalle, Orientierung über die bestehenden Gesetzesbestimmungen, auch organische Fremdstoffe.

- Mechanischer Bodenschutz.

Erhalten der Bodenstruktur, Vermeidung der Bodenverdichtung und damit Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.



- Schutz vor Erosion.

Verhinderung von Bodenabtrag durch Wasser und Wind und damit Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Ebenfalls Aufgabe der AGR zu Informieren und Koordinieren, unter Hinweis auf Erhalten der Bodenfruchtbarkeit.

- Biologischer Bodenschutz.

Bisherige Arbeiten aktivieren. Erhalten der Bodenorganismengemeinschaften und ihrer Funktionen. Bodenbiologie und Oekosysteme.

#### Quantitativer Bodenschutz (Flächenschutz)

- Erhaltung der Fruchtfolgeflächen mit raumplanerischen Mitteln (Aktivierung laut Dokument 2 BGS).

Rückzonungen von Bauzonen nach altem Recht in die Landwirtschaftszone.

Rekultivierung.

Rückführung zerstörter landwirtschaftlichen Nutzflächen in Kulturland (Aktivierung der bisherigen Arbeiten laut Dokument 1 BSG).

H. Bieri

Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz  
Jahresbericht Arbeitsgruppe "Körnung und Gefüge"

Die Arbeitsgruppe traf im Berichtsjahr zu 2 Sitzungen zusammen. Gemäss Programm hat sie sich mit der Gefügeansprache im Feld befasst. Sowohl die Fühlprobe als auch die Spatendiagnose konnten dank tatkräftiger Mithilfe erfahrener Mitglieder ein gutes Stück weit bearbeitet werden. Wir hoffen, beide Methoden bald in einer bereinigten Form der Generalversammlung unterbreiten zu können.

Zusätzlich zu diesen Feldansprachen sind wir mit 3 Instituten an der Durchführung eines Ringversuches bezüglich Aggregatstabilitätsbestimmung. Ergebnisse und Folgerungen sind noch ausstehend. Auch ist die Aufnahme eines Labormethoden-Inventars im Gange. Wenn nötig und wo möglich soll anschliessend eine Bereinigung und gewisse Abstimmung vorgenommen werden.

Zur Aktivität der Arbeitsgruppe darf erwähnt werden, dass wir engagierte Mitglieder haben, uns zahlenmässig mehr als verdoppeln konnten und uns somit auf eine breite Basis vieler Institute abstützen können.

Sämtlichen Aktivmitgliedern besten Dank für ihre Mithilfe.

Abschliessend darf darauf hingewiesen werden, dass die Arbeitsgruppen-Sitzungen einen guten Beitrag leisten zum fachlichen Informations-Austausch und zur Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Instituten.

Tänikon, 14. Januar 1988 E. Kramer

Rapport groupe Zoologie du sol.

Il a été décidé de mettre momentanément en sommeil le groupe, parce qu'il n'a plus d'activité spécifique au sein de la S. S. P.

L'activité reprendra d'ici trois ans environ avec la rédaction d'un manuscrit consacré à la Zoologie du sol, où il sera possible d'intégrer les résultats de recherches actuellement en cours, telles que celles du Programme national 22.

Willy Matthey

## Autorenverzeichnis

A. Abd-el-Razik	115	L. Locher-Azevedo	269
C. Angehrn-Bettinazzi	103	P. Lüscher	93,99,103,275
F. Balduzzi	269	J. Luster	149
K. Barmettler	123	B. Magyar	149
M. Benathan	253	E. Mathys	56
H. Bieri	278	W. Matthey	280
M. Bieri	31,195	A. Mechsner	111
P. Blaser	43,149	D.D. Miller	175
A. Blatter	153	Th. Mosimann	15
W.E.H. Blum	63	B. Müller	211
M. Bodmer	175	M. Müller	221,277
R. Bolliger	227	M. Müller-Vonmoos	30
L.-F. Bonnard	221	M. Neuenschwander	269
M. Braun	249	I. Neuwinger	87
J.P. Clément	243	J.A. Neyroud	39,207,211,253
O. Daniel	195	H.R. Oberholzer	163
B. Dehn	169	J.J. Oertli	257,263
E. Diserens	111	J.F. Parisod	253
F.-L. Domergue	137	P. Perret	157
A. Dubler	243	K. Peyer	36
S. Egli	181	J. Polomski	199
H.S. Fischer	231	V. Pont	253
P. Fitze	13	V. Prasuhn	217
H. Flühler	22	P. Reutimann	185
U. Gasser	115,117	Ch. Salm	203
M. Glasstetter	191	D. Schaub	217
M. Gratier	237	V. Schmid	227
C. Guenat	237	U. Schmidhalter	257,263
S.K. Gupta	153	H.W. Schmitt	123
M. Haab	157	H. Schüepp	169,175
R. Haab	115	A. Siegenthaler	243
H. Häni	153	W. Stauffer	59,207,243,277
L. Hartmann	115	H. Sticher	9,26,111,115,117, 123,129,169
G. Hasinger	203	C. Strehler	137
J. Hertz	103	J.-C. Vedy	133,137,143
E.E. Hildebrand	67	U. Vökt	203
C. Hilfiker	133	P. Weisskopf	207
U. Hoins	129	J. Zettel	53
H. Hurni	21	U. Zihlmann	221
W. Jäggi	163		
S. Juchler	115,117		
I. Kälin	181		
C. Keller	143		
E. Kramer	38,280		
J. Krauer	21		
M. Krause	231		

