

BULLETIN

4

Prof. Dr. E. Frei, Ehrenmitglied der BGS	4
Jahrestagung der BGS vom 7. März 1980 in Bern. Referate	7 - 82
Jahresbericht 1979/80. Rapport du Président	83
Berichte der Arbeitsgruppen	85

BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE

BULLETIN 4
1980

Referate der Jahrestagung vom
7. März 1980 in Bern

Schriftleitung: H. Sticher, Zürich

Juris Druck, Zürich

BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PEDOLOGIE

Adresse: Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau
8046 Zürich-Reckenholz Tel. 01 57 88 00

Vorstand / Comité 1979 - 1981

Präsident	/	Président :	M. Pochon, Lausanne
Vize-Präsident	/	Vice-Président :	H. Flühler, Birmensdorf
Sekretär	/	Secrétaire :	L.-F. Bonnard, Zürich-Reckenholz
Kassier	/	Caissier :	A. Kaufmann, Zollikofen
Beisitzer	/	Assesseur :	H. Sticher, Zürich

Vorsitzende der Arbeitsgruppe / Présidents des groupes de travail :

Klassifikation und Nomenklatur:	P. Lüscher, Birmensdorf
Körnung :	Ph. Rod, Nyon
Lysimeter :	P. Germann, Zürich
Organische Substanz :	J.-A. Neyroud, Nyon
Bodenzoologie :	W. Matthey, Neuchâtel

BULLETIN BGS 4 (1980)

Inhalt

Prof. Dr. E. FREI, Ehrenmitglied der BGS	4
F. BORER, F. RICHARD, W. ATTINGER und Hp. MARTHALER: Zum Wasserhaushalt eines Einzelbaumes in einem Waldbestand	7
P. GERMANN: Bedeutung der Makroporen für den Wasserhaushalt eines Bodens	13
P. SCHUDEL: Untersuchung der Wasserhaushaltkomponenten an drei wägbaren Lössmonolithen	19
W. SEILER: Quantitativer Vergleich des Erosionsverhaltens eines winterlichen Dauerniederschlags und eines sommerlichen Stark- regens	28
J. BOEHRINGER und H. STICHER: Ionenaustausch an Torf in den Systemen H-Ca-Pb und H-Ca-Zn	36
Y. BOUYER et M. POCHON: La migration du fer en milieu maré- cageux dans le Haut-Jura et dans le plateau molassique Suisse	42
M. BIERI und V. DELUCCHI: Eine neue Auswaschmethode zur Ge- winnung von Bodenarthropoden (Abstract)	49
H. SCHUEPP, D. MILLIOUD und G. DEFAGO: Untersuchungen zum Auftreten von VA-Mykorrhizen in einigen Tabakanbau- gebieten der Schweiz	50
A. MAILLARD et E.R. KELLER: Effets de diverses techniques cul- turales sur le potentiel de rendement d'un sol	57
E. FREI: Mikromorphologie und Genese einer Calcrete aus Nord- indien	63
Th. MOSIMANN: Böden und rezente Morphodynamik im Bereich der Skipisten am Crap Sogn Gion / Laax GR	69
Ch. SALM: Erste Erfahrungen mit Tieflockerung	77
Jahresbericht 1979/80 Rapport du Président	83
Berichte der Arbeitsgruppen	
- Klassifikation und Nomenklatur	85
- Lysimeter	85
- Matière Organique	86
- Zoologie du sol	87
- Granulometrie	88
Autorenverzeichnis	90

PROF. DR. ERWIN F R E I, EHRENMITGLIED DER BGS



Anlässlich der Generalversammlung vom 7. März 1980 in Bern wurde Prof. Dr. Erwin Frei, der Initiator und Gründungspräsident unserer Gesellschaft, in Anerkennung seiner vielfältigen Verdienste um die Entwicklung der Bodenkunde in der Schweiz, zum Ehrenmitglied der BGS ernannt. Nachfolgend die Laudatio, gehalten von Prof. Dr. M. Pochon, Präsident der BGS.

Chers sociétaires,

Vous n'êtes pas sans savoir que le 30 septembre de l'an dernier, l'initiateur et le fondateur de notre société, M. Erwin FREI, est entré en retraite, abandonnant sa fonction de chef de la section de chimie agricole de la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Reckenholz mais gardant celle d'enseignement à l'Université de Berne, où il a reçu le titre de professeur honoraire d'agropédologie en 1976.

Je saisis cette occasion, cher Monsieur Frei, pour rappeler ici, quelques étapes de votre vie entièrement consacrée à la connaissance du sol.

Quelques faits, importants seulement, car en homme discret que vous êtes, les détails vous concernant sont pratiquement impossibles à glaner. Ceux qui m'ont aidés à les recueillir ne me contrediront pas. Vous sachant de nature réservée, vous me pardonnerez, M. Frei, d'avoir l'audace de parler de vous, durant quelques instants.

Vous êtes donc né en 1914, en septembre à Bâle. D'emblée vous choisissez bien votre année, 1914; la difficulté de l'époque ne vous fait pas peur!

Après l'école d'agriculture de Rütli (Berne) et l'école Minerva de Bâle, vous obtenez après 4 ans d'études au Polytechnicum de Zurich le diplôme d'ingénieur agronome, en 1940.

1914, 1940. - Décidément, il en faut plus pour vous arrêter, c'est précisément en 1940 que vous entreprenez votre thèse de doctorat sous la direction du professeur Pallmann. Vous vous accordez en 1942 un intermède viennois. Etais-ce à l'opéra? au café? nul le sait, mais en tout les cas, chez le professeur Kubiena, où vous vous spécialisez en micromorphologie par la technique de la lame mince.

Et vous voici, en 1944, promu docteur ès sciences à la suite d'une remarquable et remarquée soutenance de thèse.

"Morphologische, chemische und kolloidchemische Untersuchung subalpiner Weide- und Waldböden der Rendzina- und der Podsolserie. Ein Beitrag zur Humusklassifizierung."

Vous avez, M. Frei, remarquablement bien choisi votre titre, car en lui, on peut déjà trouver toutes les caractéristiques professionnelles que vous n'allez pas cesser de développer tout le long de votre carrière, en effet:

1) "Morphologische....Untersuchung": annonce l'observateur très systématique que vous êtes.

- 2) "Chemische und kolloidchemische Untersuchung": l'analyste sérieux, soucieux de relier des données analytiques à la morphologie du sol.
- 3) "Subalpiner Weide und Waldböden": révèle votre faculté étonnante de votre soucis de comparaison.
- 4) "der Rendzina- und der Podsolserie": ici, c'est l'intérêt sans limite pour toute la gamme des sols qui s'exprime déjà, des sols minéraux bruns, aux sols très évolués.
- 5) Enfin, "Ein Beitrag zur Humusklassifizierung": révèle votre mémoire des faits, votre tendance naturelle à les ordonner systématiquement. Classification des humus en début de carrière, classification des sols encore actuellement au sein du groupe de la SSP.

Grâce à toutes ces qualités professionnelles, vous entrez en 1944 à la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Zurich-Oerlikon devenu plus tard Zürich-Reckenholz. Vous y gravissez tous les échelons jusqu'à la fonction de chef de service de chimie agricole à laquelle vous accédez en 1969.

Une de vos principales activités à côté de l'étude de la formation des sols fut la cartographie.

- Cartographie détaillée d'abord, de multiples secteurs.
- Cartographie des sols de Suisse au millionème, en collaboration avec le professeur Bach, en 1968.
- Cartes des aptitudes culturelles des sols de la Suisse, en 1973.
- J'avais été étonné, lorsque nous nous sommes rencontrés pour la première fois en 1973, sur le terrain au Mt Tendre, de ce que vous utilisiez de préférence la classification de la FAO, je comprends mieux maintenant votre référence à cette clé internationale. En effet, vous n'avez pas limité votre connaissance aux sols de Suisse; puisque dès 1955, vous avez étudié les formations pédologiques en Equateur, aux Indes, au Kenya, au Canada, aux USA, ...
- Enfin, chers sociétaires, si aujourd'hui, nous sommes réunis, si depuis 5 ans, nous pouvons nous réjouir d'être ensemble pour échanger et enrichir nos connaissances, c'est à M. Frei qu'on le doit. C'est en automne 1974, qu'après un sondage, il organise une séance de prise de contact. Vu le succès et l'enthousiasme des participants, la séance constitutive de la SSP se tient le 14 mars 1975 déjà. M. Frei en devient le premier président jusqu'au 3 mars 1977. De plus dès le 16 juin 1976, il préside le groupe de travail Classification des Sols.

Devant tant de dévouement à la société, tant de contribution à la connaissance du sol, votre comité vous propose de nommer M. le professeur Frei, au titre de membre d'honneur à la Société Suisse de Pédologie, en accord avec l'article 4 de notre règlement.

M. Bach

ZUM WASSERHAUSHALT EINES EINZELBAUMS IN EINEM WALDBESTAND

Borer F., Richard F., Attinger W. und Marthaler Hp. *

1. Einführung, Theorie und Methodik

Kenntnisse über die Wasserbilanzen vegetationsbedeckter Böden sind für die land- und forstwirtschaftliche Pflanzenproduktion von grosser Bedeutung. Im Gegensatz zum landwirtschaftlichen Pflanzenbau mit einem meist auf nur eine Vegetationsperiode beschränkten Produktionszeitraum, liegt dieser im Waldbau bei rund 100 bis 150 Jahren. Die Berücksichtigung extremer Wasserversorgungsverhältnisse im Wurzelraum eines Waldbaums oder eines ganzen Bestands spielt somit eine entscheidende Rolle bei der Planung der Bestandesbegründung, insbesondere bei der Baumartenwahl. Zu diesem Zweck werden neben Angaben über die den Pflanzenwurzeln zur Verfügung stehende Wassermenge (Wasserangebot), auch Informationen über den Wasserverbrauch unter verschiedensten Witterungsbedingungen und unterschiedlichem Bodenwassergehalt benötigt. Ein Grossteil der bodenhydrologischen Untersuchungen über Wasserbilanzen wurden an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen durchgeführt. Forschungsarbeiten auf Waldstandorten sind seltener, immerhin sind für schweizerische Waldstandorte neben den Publikationen von RICHARD, LÜSCHER und STROBEL (1978, 1980) z.B. auch die intensiven Wasserhaushaltsuntersuchungen von BRÜLHART (1969) und GERMANN (1976) zu erwähnen.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, den Wasserhaushalt eines einzelnen Baums in einem Waldbestand zu erfassen. Dieser Baum wirkt mit seinem Wurzelwerk im Boden als hydromechanische Senke innerhalb des Bodenwasserhaushalts-Systems. Der theoretische Ansatz zur Bilanzierungsgleichung basiert auf der Kombination von Darcy-Gesetz (Beschreibung des Flusses im porösen Medium) und Kontinuitätsgleichung (Erhaltung der Masse des strömenden Mediums). Die Wasserentnahme durch die Wurzeln wird durch das Senkenglied U charakterisiert:

$$-\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (k_x \frac{\partial \phi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_y \frac{\partial \phi}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_z \frac{\partial \phi}{\partial z}) + U(x, y, z, t)$$

Besser geeignet zu numerischer Anwendung ist das Konzept der Aufteilung der

* aus dem IWHF ETHZ, Fachbereich Bodenphysik

Wasserhaushaltskomponenten in Teilflüsse an den Grenzen des untersuchten Messvolumens, wie es die Abb. 1 für den Wurzelraum eines Baums veranschaulicht.

Aufgelöst nach dem gesuchten Bilanzglied, der Evapotranspiration ET $\approx$ der Wasseraufnahme durch die Wurzeln, heisst dann die Bilanzgleichung:

$$ET = A - Z + TS - N' \pm \Delta V$$

wobei N' = durchtropfender Niederschlag $\equiv$ Bestandesniederschlag = Freiland-Niederschlag N - Interzeption I
 ET = Evapotranspiration = Evaporation E + Transpiration T
 Z = seitlicher Zufluss } $Z - A$ = lateraler Fluss LF
 A = seitlicher Abfluss }
 TS = Tiefensickerung
 ΔV = Wasservorratsveränderung im Wurzelraum

2. Untersuchungsobjekt, Versuchsanlage

Beim untersuchten Baum handelt es sich um eine Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), 43 m hoch, ca. 85 Jahre alt, Standort "Oberforst", Möhlin, Kt. AG.

Der Boden wird von RICHARD, LÜSCHER und STROBEL(1980) als "stark saure Moder-Parabraunerde, leicht pseudovergleyt, aus Löss" beschrieben. Dieses Profil ist gekennzeichnet durch eine Verdichtungszone zwischen (40)-80-120 cm Tiefe, die für den Wasserhaushalt eine grosse Rolle spielen wird. Mittl. Jahresniederschlag: 1086 mm; mittl. Jahrestemperatur: 8.8° .

Die Messung der Saugspannungen erfolgte mit 450 Tensiometern. Spezielle Saugspannungsprofile wurden mit automatisch registrierten Tensiometern erfasst (FLÜHLER, 1974). Wassergehaltsbestimmungen erfolgten zugleich mit der Neutronensonde.

Die verwendeten Desorptionskurven und k-Werte wurden im Feld bestimmt. Bilanzrechnungen mit im Labor bestimmten Parametern führten zu teilweise unrealistischen Resultaten (BORER, 1978).

3. Ergebnisse

3.1 Bilanzierungsergebnisse der Vegetationsperioden 1975 und 1976

Im Gegensatz zum Jahr 1975, das bezüglich des Witterungsverlaufs als Normaljahr angesprochen werden kann, entspricht das Jahr 1976 mit nur 70% des Niederschlags eines Normaljahrs, einem Trockenjahr.

Die Bilanzierungsergebnisse fallen denn auch entsprechend dieser zwei, durch

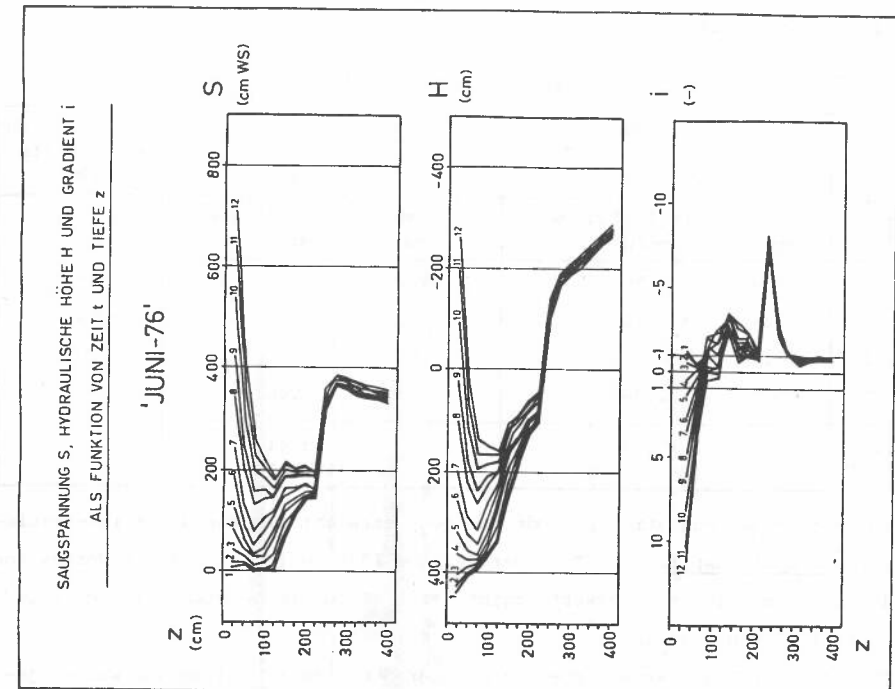


Abb. 2

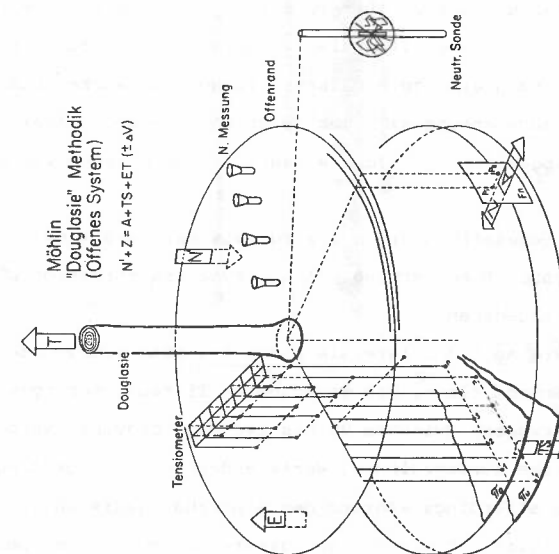


Abb. 1

die Witterung sehr unterschiedlich geprägten Untersuchungsperioden aus:

Zusammengefasste Bilanzierungsergebnisse (Vgl. auch Abb. 3)

	Vegetationsperiode 1975 21. 4. - 17. 11. 1975 210 Tage		Vegetationsperiode 1976 20. 4. - 8. 11. 1976 202 Tage		Wert 1976 in % des Werts von 1975
	Summe mm	mittl. Tagesw. mm/d	Summe mm	mittl. Tagesw. mm/d	
N'	537.8	2.56	349.0	1.73	68
TS	23.6	0.11	13.3	0.07	64
LF	10.0	0.05	12.2	0.06	120
ET	500.9	2.38	295.9	1.46	61
ET _{max}		5.04 (23.8.1975)		3.41 (14.9.1976)	

Auf die ganze Vegetationsperiode bezogen, erreicht die vor allem interessierende Evapotranspiration ET in der Periode 1976 lediglich 61% des Wertes von 1975. Als mittlerer Tageswert ergibt das 1.46 mm, im Gegensatz zum Wert im Jahre 1975 von 2.38 mm.

Die höchsten Tageswerte liegen knapp über 5 mm, resp. 3.4 mm und werden jeweils im Juni, resp. August/September erreicht. Dies entspricht einem maximalen täglichen Wasserverbrauch von 900 Litern für diesen einzelnen Baum. Diese hohen ET-Werte, die hier eigentlich als "Wasseraufnahme durch die Wurzeln" berechnet wurden, setzen eine gute Wasserversorgung im Wurzelraum voraus. Die entsprechenden Saugspannungen liegen zwischen 50 - 250 - (max. 400 cm WS). Höhere Saugspannungen schränken die Wasseraufnahme bereits wieder stark ein.

Während den untersuchten Vegetationsperioden wird zwischen 85-95% des auf die Bodenoberfläche fallenden Niederschlags N' als Evapotranspiration ET wieder an die Atmosphäre abgegeben.

Die Tiefensickerung TS, wie auch der laterale Fluss LF, sind während der Vegetationsperiode verschwindend klein. Die berechneten Tiefensickerungswerte sagen aus, dass das Sickerwasser zwischen 90 bis 140 Tage brauchen würde, um 1 cm vertikale Sickerstrecke zurückzulegen. Werte anderer Größenordnung nimmt die Tiefensickerung allerdings während des Winterhalbjahrs an: Die Berechnungen ergeben eine tägliche Tiefensickerungsrate von rund 1 mm oder

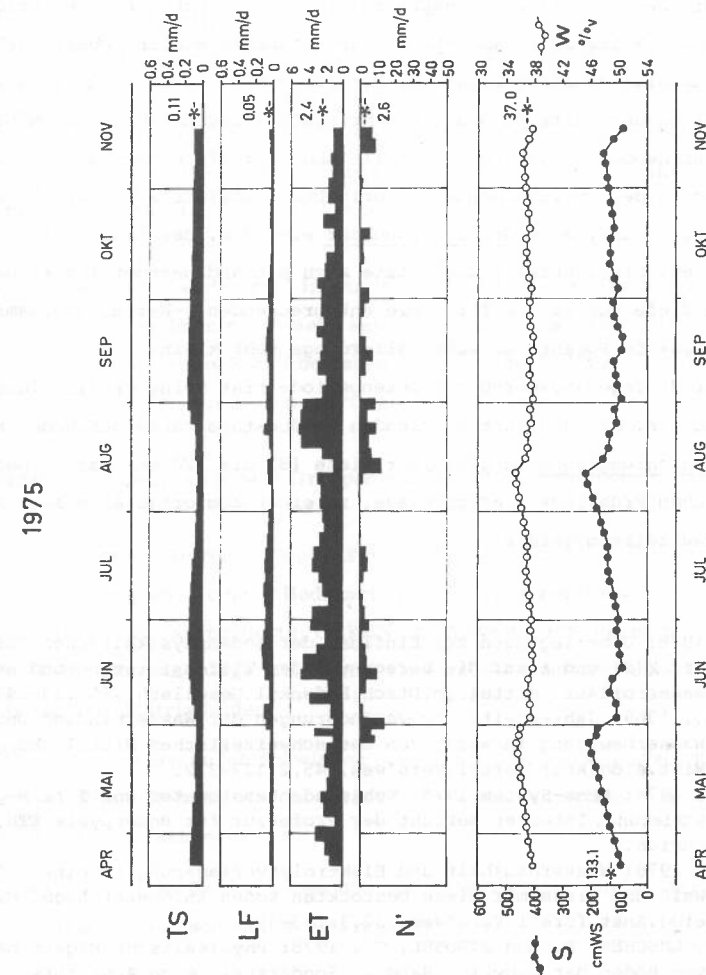


Abb. 3

160 mm während der Vegetationsruhe. Diese recht grosse Wassermenge kann auf diesem Standort als potentielle Grundwasserspende für den Rhein-Grundwasserstrom angesehen werden.

3.2 Trockenperiode "Juni 76"

Die Vegetationsperiode 1976 ist geprägt durch eine Trockenperiode zwischen Anfang Juni und Mitte Juli. Am Untersuchungsstandort Möhlin "Oberforst" dauert die absolut niederschlagsfreie Periode vom 3. 6. bis zum 9. Juli an. Die Entwicklung der Austrocknung ist sehr schön ersichtlich an einem bis in 4 m Tiefe reichenden Saugspannungsprofil (Abb. 2): Als Ergebnis der starken Austrocknung in den oberflächennahen Horizonten, stellte sich bereits ab Ablesung 4 (11. Juni) eine Gradientenumkehr ein, d.h. der Fluss war nach oben gerichtet. Diese Entwicklung setzte sich mit andauernder Trockenheit bis in eine Tiefe von 125 cm fort. Die entsprechenden k-Werte, und damit auch die Flüsse im Porenraum, waren allerdings sehr klein. Trotz dieser 35 Tage andauernden Trockenperiode trat keine profilumfassende Austrocknung ein, die den dort stockenden Waldbestand hätte gefährden können: Die Verdichtungszone in günstiger Tiefe (80 bis 120 cm) hatte, bedingt durch die hohen Frühlings-Niederschläge, zu einer komfortablen Wasser-Reserve im Hauptwurzelraum geführt.

Literatur

- BORER, F., 1978: Ueberlegungen zum Einfluss der bodenphysikalischen Parameter $k(S)$ und i auf die Berechnung der Tiefensickerung und auf die Wasserbilanz. Mitteilgn.Dtsch.Bodenkd.Gesellsch., 26:133-142.
- BRÜLHART, A., 1969: Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des schweizerischen Mittellandes. Mitt.eidg.Anst.forstl.Vers'wes. 45,2:127-232.
- FLÜHLER, H., 1974: Mess-System 1973. Kohlefadentensiometer und ihre Registrierung. Interner Bericht der Professur für Bodenphysik ETH, Zürich.
- GERMANN, P., 1976: Wasserhaushalt und Elektrolytverlagerung in einem mit Wald und einem mit Wiese bestockten Boden in ebener Lage. Mitt. eidg.Anst.forstl.Vers'wes. 52,3:163-309.
- RICHARD, F., LÜSCHER, P. und STROBEL, T., 1978: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Band I. Sonderreihe eidg.Anst.forstl.Vers'wes., Birmensdorf.
- RICHARD, F., LÜSCHER, P. und STROBEL, T., 1980: Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz. Band II. Sonderreihe eidg.Anst.forstl. Vers'wes., Birmensdorf (in Vorbereitung).

BEDEUTUNG DER MAKROPOREN FÜR DEN WASSERHAUSHALT EINES BODENS

P. Germann, VAW, ETH-Zentrum, 8092 Zürich

1. Einleitung und Definitionen

Schon seit den Anfängen der Bodenphysik wird ein Einfluss der Makroporen auf den Bodenwasserhaushalt vermutet (SCHUMACHER, 1864; LAWES et al., 1882). Doch gibt es bis heute kaum zusammenhängende Untersuchungen, die dieses Thema allgemein behandeln. Hier wird darzustellen versucht, wie die Makroporen den Bodenwasserhaushalt beeinflussen können.

Unter dem Begriff 'Makroporen' fallen alle jene Hohlräume, die so gross sind, dass das Wasser in ihnen nicht mehr kapillar gebunden ist. Ihre geringste Ausdehnung muss mindestens 3 mm betragen (BEVEN und GERMANN, 1980, a). Alle übrigen Poren werden zur Bodenmatrix gezählt.

Vereinfachend lassen sich zwei Gruppen von Makroporen bilden:

- Zylinderförmige Poren: Z.B. Wurmlöcher, Wurzelkanäle, Gänge von Insekten und Kleinsäugern. Je nach Bodenart und Klima können diese Poren über längere Zeit (Jahre bis Jahrhunderte: GREEN und ASKEW, 1965) erhalten bleiben. Lose mit Bodenmaterial aufgefüllt können sie eine der ursprünglichen Bodenmatrix überlagerte Matrix bilden.
- Risse: Entstanden durch Schwinden oder Gefrieren vor allem stark toniger Böden. Dimension und Anzahl dieser Makroporen unterliegen deutlichen jahreszeitlichen Schwankungen.

In Abb. 1 sind die beiden Typen und die Wasserflüsse, die bei der Infiltration auftreten können, schematisch dargestellt.

2. Bedingungen, unter denen Wasser in den Makroporen fliesst.

Anhand der Abb. 1 werden die folgenden Bedingungen hergeleitet:

- Es fliesst erst dann Wasser in die Makroporen ($S_1(t) > 0$), wenn die

Wasserzufuhr, $P(t)$, grösser ist als die momentane Infiltration durch die Bodenoberfläche, $I_{1,max}(t)$.

- b.) Die maximale Sickerung in die Makroporen, $S_{1,max}(t)$, ist eine Funktion der Zeit und wird bestimmt durch die Sickerung in den Makroporen, $S_2(t)$ und die Infiltration durch deren Wandungen, $I_2(t)$. S_2 und I_2 sind auch Funktionen der Bodentiefe (sowohl Aufbau des Makroporensystems als auch die Infiltrationsbedingungen ändern stark mit der Bodentiefe, v.a. in der Nähe der Oberfläche), auf die hier nicht näher eingegangen wird.
- c.) Ueberschreitet $P(t)$ die Summe aus $I_{1,max}(t)$ und $S_{1,max}(t)$, dann tritt Oberflächenabfluss auf.

Die Maxima der Wasserflüsse im Boden (I_1 , I_2 , S_1 und S_2) sind Funktionen der Zeit, der Art und des Ausgangswassergehaltes der Bodenmatrix, sowie der Geometrie und der Verteilung der Makroporen. Alle Flüsse ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$) sind Wassermengen (cm^3) bezogen auf die Zeit (s) und die Horizontalprojektion der Bodenoberfläche (cm^2).

Beispiele für die maximale Infiltration durch die Bodenoberfläche, $I_{1,max}$: Nach DARCY (1856) gilt: $I_{1,max} = -k \cdot i$. Der Hydraulische Gradient i kann bei einer Infiltration in trockene Böden Werte bis 10 annehmen, fällt dann bald auf 2 ab. (MILLER and RICHARD, 1952). Für k werden Werte eingesetzt, die bei einem Kapillarpotential von höchstens -10 cm bestimmt wurden. (k -Werte bei Sättigung umfassen auch die Wasserbewegung in allfälligen Makroporen). $I_{1,max}$ kann von etwa $5 \cdot 10^{-3}$ (Sand, feucht) bis etwa $10^{-7} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ (trockener Ton) variieren.

Beispiele für die Maxima der Sickerraten in die Makroporen, $S_{1,max}(t)$: BURGER (1922-40) untersuchte vor allem die Wassersickerung in die Waldböden und erfasste mit seinen Methoden das gesamte Makroporensystem. Er fand Werte zwischen 0.02 bis $0.25 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. EHLERS (1975) beschrieb sowohl die räumliche Verteilung als auch die Wasserleitfähigkeit einzelner Wurmkanäle. Daraus lassen sich Werte herleiten die zwischen 2 bis $7 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ liegen. (Diskussion bei GERMANN and BEVEN, 1980). Aus der Gegenüberstellung von $I_{1,max}$ und $S_{1,max}$ geht hervor, dass einerseits die maximale Durchlässigkeit eines natürlich

gelagerten Bodens weitgehend durch die Makroporen bedingt ist. Da sie andererseits Wasser führen, sobald $P(t)$ grösser ist als $I_{1,max}(t)$, kann diese Durchlässigkeit mehr oder weniger unabhängig von jener der Bodenmatrix erreicht werden.

Beispiele für die Wasserzufuhr, $P(t)$: Im hydrologischen Einzugsgebiet Rietholzbach werden die Niederschläge in 5-min. Intervallen gemessen. Vom 1.12.75-31.12.79 wurden insgesamt 26'273 Intervalle gezählt, während denen überhaupt ein Niederschlag registriert wurde. Davon fallen 98.9% in die Klasse $0.1-0.9 \text{ mm}/5\text{min.}$; 0.9% in jene von $1.0-1.9 \text{ mm}/5\text{min.}$; 0.1% in jene von $2.0-2.9 \text{ mm}/5\text{min.}$; 0.03% in jene von $3.0-3.9 \text{ mm}/5\text{min.}$; 0.01% in jene von mehr als $4.0 \text{ mm}/5\text{min.}$ (die Klassengrenzen entsprechen den folgenden Flüssen: $0.1 \text{ mm}/5\text{min.} = 3.3 \cdot 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$; $1.0 \text{ mm}/5\text{min.} = 3.3 \cdot 10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$; $3.0 \text{ mm}/5\text{min.} = 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$; usw.). Durch Güssen oder Bewässern kann die Wasserzufuhr momentan um einen Faktor 100 bis 1'000 zunehmen.

Je nach Bodenart und Austrocknungsgrad (beide bestimmen den aktuellen k -Wert der Matrix) können bereits Niederschläge der geringsten Intensitätsklasse ($P(t)$ um $10^{-4} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$) einen Wasserfluss in den Makroporen hervorrufen. Andererseits gibt es offenbar Makroporen, die auch die intensivsten Niederschläge abführen können und damit Oberflächenabfluss nie auftreten lassen. (Dies umso mehr als hier die Interzeption unberücksichtigt bleibt.)

3. Zusammenfassung und Folgerungen

Erwägt man die sehr gedrängten Ausführungen, dann können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Die Wassermenge, die durch die Makroporen abgeführt wird, kann kurzfristig beachtlich sein. Wohin diese gelangt, hängt von der Anordnung der Makroporen ab. In Pseudogleyen und Gleyböden wird sie im B_T - und G-Horizont stecken bleiben. In Braunerden auf Schotter, als weiteres Beispiel, wird sie eher aus dem Profilbereich verschwinden und den Pflanzen kaum mehr zur Verfügung stehen.
- Je nach dem welche Funktionen die Flüsse in Abb. 1 tatsächlich beschreiben, wird das Wasser sehr schnell durch die Makroporen in tieferliegende Horizonte

abgeführt. Es kann die Matrix darüberliegender Horizonte umgehen. Dadurch wird Filterwirkung des Bodens deutlich verringert, was sich namentlich bei hohen Intensitäten der Wasserzufuhr auswirkt. (Bewässern und Güllen als extreme Beispiele)

- Je nach Ausbildung wirken die Makroporen zunächst als Wasserspeicher, der dem Volumen jener Poren entspricht, die hydraulisch mit der Oberfläche verbunden sind.
- Sie wirken auch als Vergrößerung der Oberfläche für die Infiltration in die Bodenmatrix: $I_2(t)$. BEVEN und GERMANN (1980) rechnen dabei mit einem Faktor von 2 bis 10. (Siehe Abb. 2)
- Die Entstehung von Fahl-Rot-Färbungen in Gleyen und Pseudogleyen (z.B. RICHARD et al., 1979) lässt sich mit diesem Konzept ebenfalls erklären, wie VERPRASKAS and BOUMA (1976) gezeigt haben.

Verdankungen

Den Kollegen Bruno Schädler, Franz Koch und Fredi Kobelt (VAW) danke ich für die Erhebung und die Aufarbeitung der Niederschlagsdaten. Der Schweiz.Nationalfonds unterstützte diese Studien mit den Krediten NF 2.447-0.75 und NF 82.654.78.

Literatur

- BEVEN, K. and GERMANN, P. (1980, a): The role of macropores in the hydrology of field soils (in press)
Report of the Institute of Hydrology, Wallingford (UK)
- BEVEN, K. and GERMANN, P. (1980, b): Waterflow in soil macropores 2. A combined flow model
Journal of Soil Science (paper submitted)
- BURGER, H. (1922, 27, 29, 32, 37, 40): Physikalische Eigenschaften von Wald- und Freilandböden.
Mitt. der Schweiz. Anst. f.d.forstl. Vers.wes. XII, XIV, XV, XVII, XX, XXI
- DARCY, H. (1856): Les fontaines publiques de la ville de Dijon. Paris, Dalmont
- EHLERS, W. (1975): Observation on earth worm channels and infiltration on tilled and untilled loess soil.
Soil Science 119(3): 242-249
- GERMANN, P. and BEVEN, K. (1980): Water flow in soil macropores 3. A statistical approach.
(Paper submitted to Journal of Soil Science)

- GREEN, R.D. and ASKEW, G.R. (1965): Observations on the biological development of macropores in soils of Romney Marsh.
Journal of Soil Science 16(2): 342-349
- LAWES, J.B., GILBERT, J.H., and WARINGTON, R. (1882): On the amount and composition of the rain and drainage waters collected at Rothamsted.
London: Williams Clowes and Sons, Ltd.
- MILLER, R. and RICHARD, F. (1952): Hydraulic gradients during infiltration in soils.
Soil Science Society of America Proceedings 16(1): 33-38
- RICHARD, F., LÜSCHER, P. und STROBEL, Th. (1978): Physikalische Eigenschaften von Böden der Schweiz, Band 1.
Herausgegeben von der Eidgen. Anstalt f.d.forstliche Versuchswesen, 1979 (51 Seiten)
- SCHUMACHER, W. (1864): Die Physik des Bodens. Berlin, 1864
- VERPRASKAS, M.J. and BOUMA, J. (1976): Model experiments on mottle formation simulating field conditions.
GEODERMA, 15: 217-230.

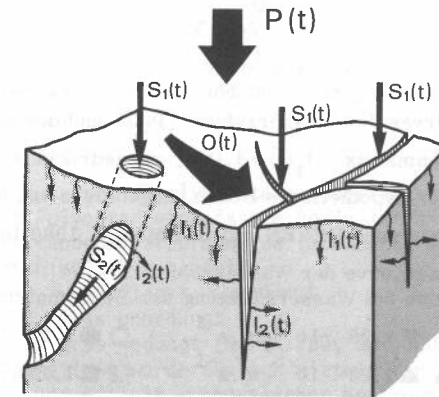


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Makroporen im Boden und der Flüsse, wie sie bei einer Wasserzufuhr auftreten können.
($P(t)$: Wasserzufuhr; $I_1(t)$: Infiltration von der Oberfläche in die Bodenmatrix; $I_2(t)$: Infiltration von den Wänden der Makroporen in die Bodenmatrix; $S_1(t)$: Sickerung in die Makroporen; $S_2(t)$: Sickerung in den Makroporen; $O(t)$: Oberflächenabfluss. Alle Flüsse in $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$, bezogen auf die gesamte betrachtete Bodenoberfläche).

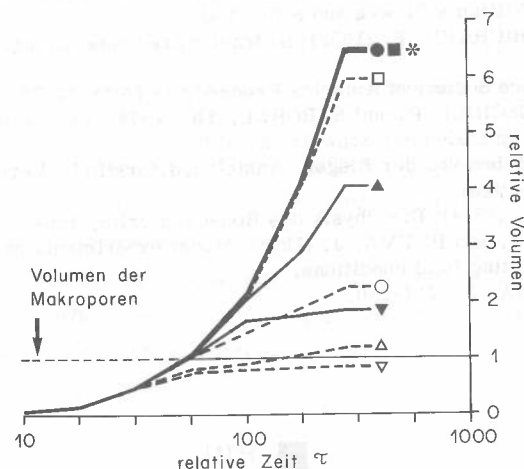


Abbildung 2: Summenkurven der Wasserzufuhr $[P(t)]$ und der Infiltration in die Bodenmatrix $[I_1(t) + I_2(t)]$, ausgedrückt in relativen Volumen für hypothetische Böden (Ergebnisse von simulierten Infiltrationen nach BEVEN and GERMANN, 1980, b)

* Summenkurve der Wasserzufuhr

k-Werte bei Wassersättigung der Bodenmatrix

- | | |
|--|---|
| $\nabla \blacktriangledown 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ cm.s}^{-1}$ | $\circ \bullet 1.23 \cdot 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$ |
| $\Delta \blacktriangle 1.23 \cdot 10^{-3} \text{ cm.s}^{-1}$ | $\square \blacksquare 1.23 \cdot 10^{-2} \text{ cm.s}^{-1}$ |

offene Symbole: Boden ohne Makroporen

geschlossene Symbole: Boden mit Makroporen (Volumen:1)

UNTERSUCHUNG DER WASSERHAUSHALTSKOMPONENTEN AN DREI WÄGEBAREN

LOESSMONOLITHEN

P. SCHUDEL: Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene,
CH-3097 Liebefeld-Bern

1. EINLEITUNG

Mithilfe von Wägelysimetern kann der Wasserhaushalt eines Bodens unter kontrollierbaren Verhältnissen beobachtet werden. Wenn auch einzelne Wasserhaushaltskomponenten quantitativ nicht direkt mit Feldbedingungen vergleichbar sind, so können doch Prozesse wie der Wassertransport und die dazugehörigen Berechnungsmodelle überprüft werden. Für die Praxis sind Ansätze zur Berechnung des Wasserflusses unterhalb des Wurzelhorizontes von besonderem Interesse: gelingt es, die in die Tiefe sickernde Wassermenge zuverlässig zu berechnen, so kann bei gleichzeitiger Bestimmung der Nährstoffkonzentration (insbesondere Nitrat) die ausgewaschene Nährstoffmenge im Feld bestimmt werden.

Im vorliegenden Bericht wird die Zuverlässigkeit des nach dem Darcy-Gesetz bestimmten Wasserflusses geprüft, sowie die Berechnung des Abflusses aus einer Kombination der Wasserbilanz und des "Darcy-Flusses" vorgeschlagen.

2. MESSANLAGE

Die Anlage besteht aus drei Wägelysimetern (Oberfläche 1 m^2 , Tiefe 1.7 m). Der ungestörte, mit Polyester eingefasste Boden ist eine schwach pseudovergleyte aus Löss entstandene Parabraunerde (SCHROEDER 1969). Die drei Wägelysimeter sind unterschiedlich behandelt:

1. unbepflanzt ungedüngt
2. Gras ungedüngt
3. Gras gedüngt (N,P,K:250, 50, 300 kg/ha jährlich)

Die Wassergehaltsverteilung wurde täglich mittels Tensiometern (10 Tiefen in 15 cm Abständen) und mittels wöchentlicher Neutronensondenmessungen bestimmt.

3. WASSERHAUSHALT DER LYSIMETER

In Abbildung 1 und 2 werden die Summenkurven des Abflusses, der Verdunstung und des Niederschlags dargestellt, wobei die tägliche Verdunstung aus der Wasserbilanz bestimmt wurde. Infolge Neuansaat wurde die Evapotranspiration der bepflanzten Lysimeter durch Abdecken mit Plastikfolien in den Monaten April/Mai reduziert.

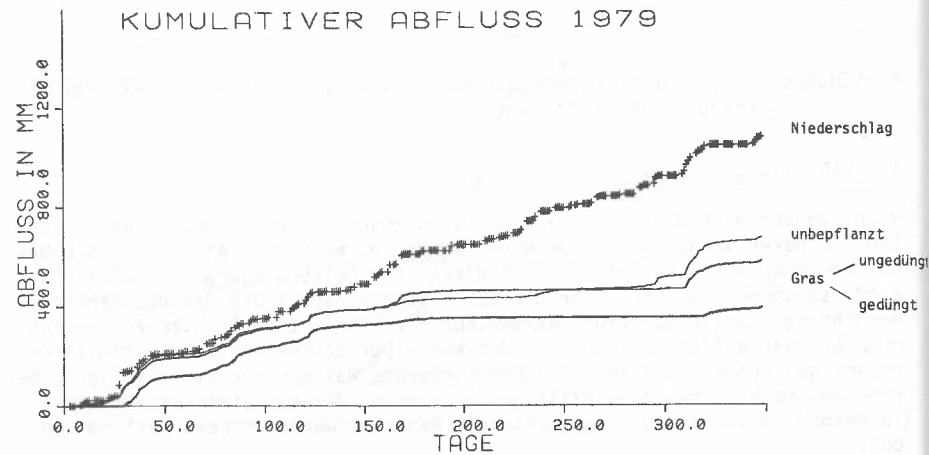


Abb. 1 Summenkurven des Niederschlags und der Abflüsse der drei Lysimeter

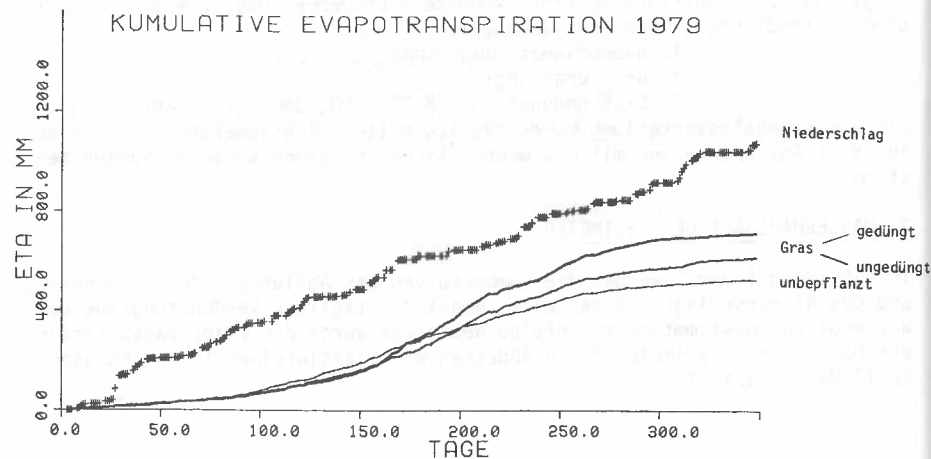


Abb. 2 Summenkurven des Niederschlags und der Verdunstung der drei Lysimeter

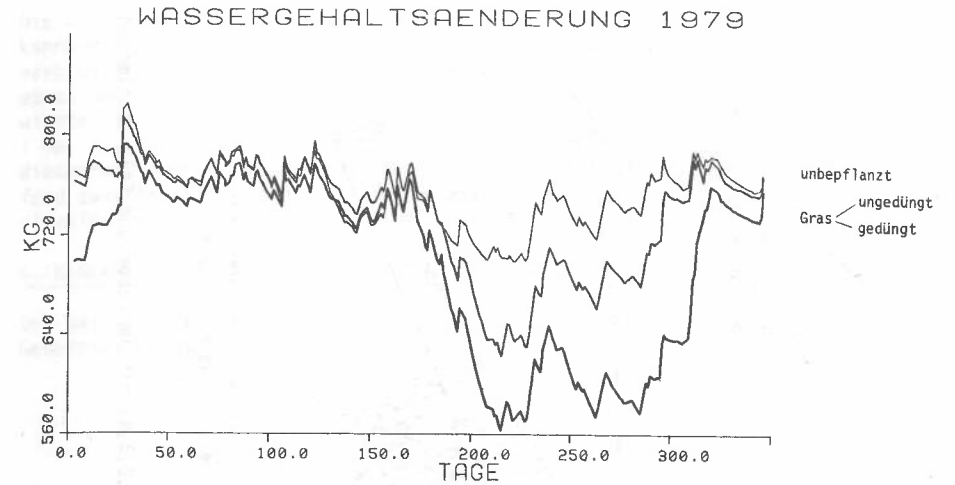


Abb. 3 Zeitlicher Verlauf der Gewichte der drei Wägelysimeter

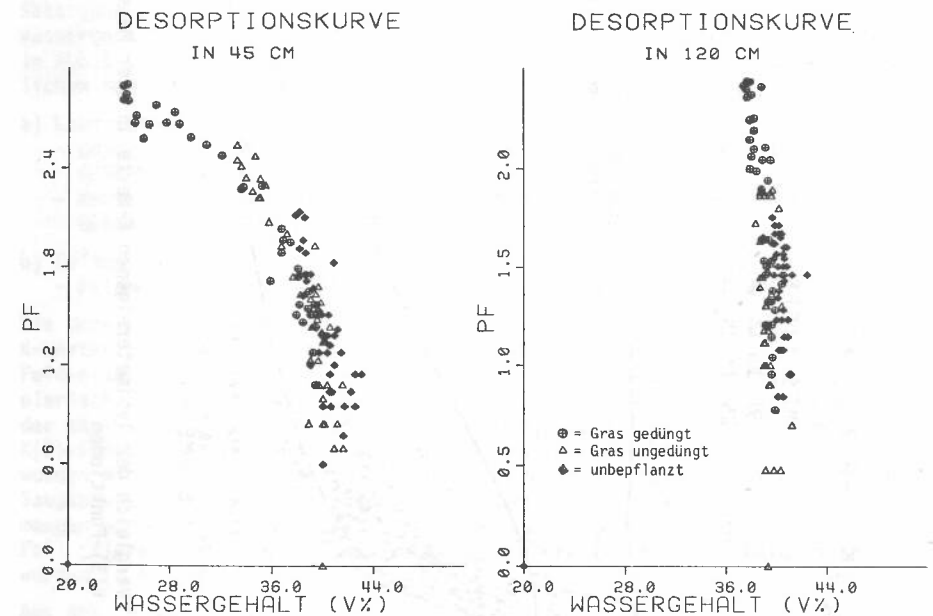


Abb. 4 Desorptionskurven aus Werten der drei Lysimeter zusammengesetzt

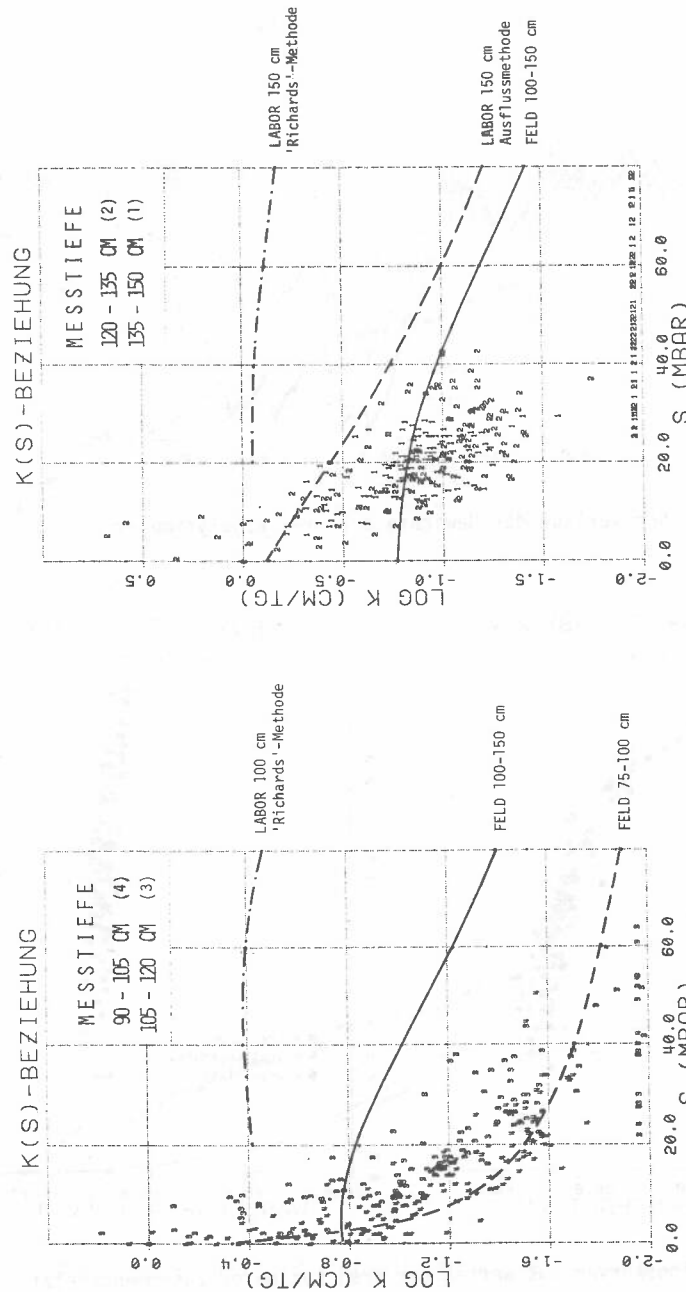


Abb. 5 Vergleich der lysimeterereigenen K-Werte in vier Messtiefen (1,2,3,4) mit im Labor und Feld bestimmten K(S)-Funktionen

Die Unterschiede zwischen den drei Verfahren sind am Jahresende deutlich erkennbar. Die Verdunstung des gedüngten Lysimeters wird infolge Oberflächenvergrößerung bei fortgeschrittenem Wachstum relativ zu den andern beiden etwas überschätzt (Randeffekt). In Abb.3 wird der Verlauf der täglichen Gewichte (Wassergehalt) dargestellt. Bei einer Oberfläche von 1 m^2 ist $1 \text{ kg} = 1 \text{ mm}$. Deutlich erkennbar ist die Trennung zwischen den Verhältnissen im Winter und Sommer. Während im Winter die Wassergehalte praktisch gleichlaufend zwischen Sättigung und Feldkapazität schwankten, trocknete die Transpiration des Grases im Sommer den Boden stark aus.

4. BERECHNUNG DES WASSERFLUSSES AUFGRUND DES DARCY-GESETZES

Der Wasserfluss q unterhalb des Wurzelhorizontes kann mithilfe des Darcy-Gesetzes berechnet werden:

$$q = K(S) \cdot (dH/dz) \quad (1)$$

- K Durchlässigkeitskoeffizient
- S Saugspannung
- H hydraulische Höhe ($H = -S + z$)
- z Bodentiefe

Aus dem gemessenen Abfluss der Lysimeter und Gradienten wurden die den Lysimetern eigenen Beziehungen zwischen Wasserdurchlässigkeit (K -Wert) und Saugspannung in den Tiefen 90-150 cm ermittelt. Da die Desorptionskurven zwischen Sättigung und Feldkapazität nahezu senkrecht verlaufen (s. Abb.4), wurde die Wassergehaltsänderung bei der Berechnung vernachlässigt (Abb.5). Zudem sind in Abb.5 einige in Lössboden von Möhlin (vgl. BORER 1978) nach unterschiedlichen Methoden bestimmte K -Werte ($K(S)$ -Funktionen) eingetragen:

- a) Labormethoden
 - Doppelmembran-Methode nach RICHARDS et al (1952) angewendet durch GERMANN (1976)
 - Kontinuierliche Ausflussmethode nach BENECKE et al (1976) bzw. GERMANN et al (1978)
- b) Feldmethode
 - Feldmethode nach RICHARDS et al (1956) angewendet durch BORER (1980)

Die Übereinstimmung zwischen diesen $K(S)$ -Funktionen und den lysimetereigenen K -Werten ist nicht sehr gut. Die Labor- K -Werte liegen meist zu hoch, ein Feld- K -Wert (75-100 cm) eher zu tief. Die folgende Abbildung (6) zeigt exemplarisch zweierlei Summenkurven des Abflusses: die eine gibt die Summe der täglich gemessenen Abflussmengen wieder, die andere die mithilfe der $K(S)$ -Funktionen berechneten täglichen Abflussmengen. Die berechneten Werte wurden nicht nur aufgrund täglicher, sondern auch aufgrund vierzehntäglicher Saugspannungsmessungen bestimmt. Diese über vierzehn Tage gemittelten Abflussmengen wurden ebenfalls kumulativ als Punkte eingetragen, wobei in einem Fall (Vierecke) bei der Flussberechnung die Gradienten nicht berücksichtigt wurden (d.h. $q = K(S)$).

Aus Abb. 6 geht hervor:

1. Mit den Labormethoden werden in diesem Boden meist zu hohe $K(S)$ -Funktionen bestimmt, wodurch der berechnete Abfluss stark überschätzt wurde. Die im Felde bestimmten K -Werte liegen etwas näher bei den lysimetereigenen K -Werten. Tendenziell wird eine Unterschätzung des berechneten Abflusses

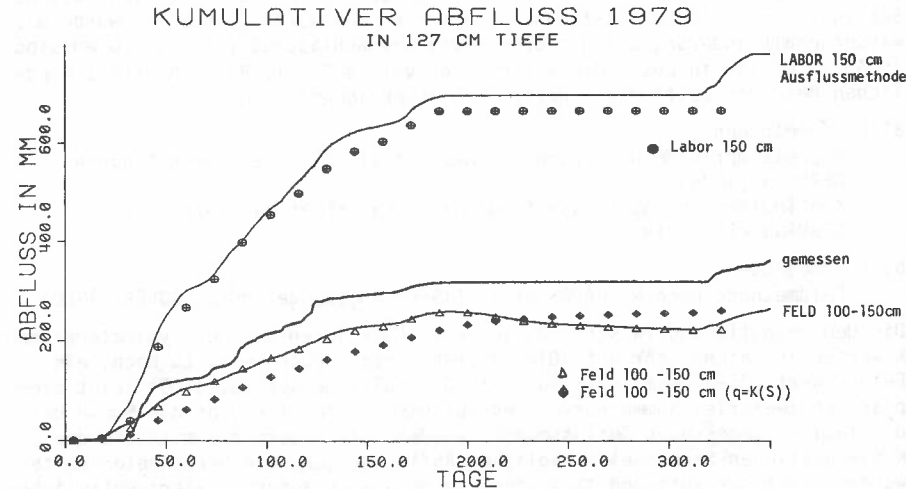
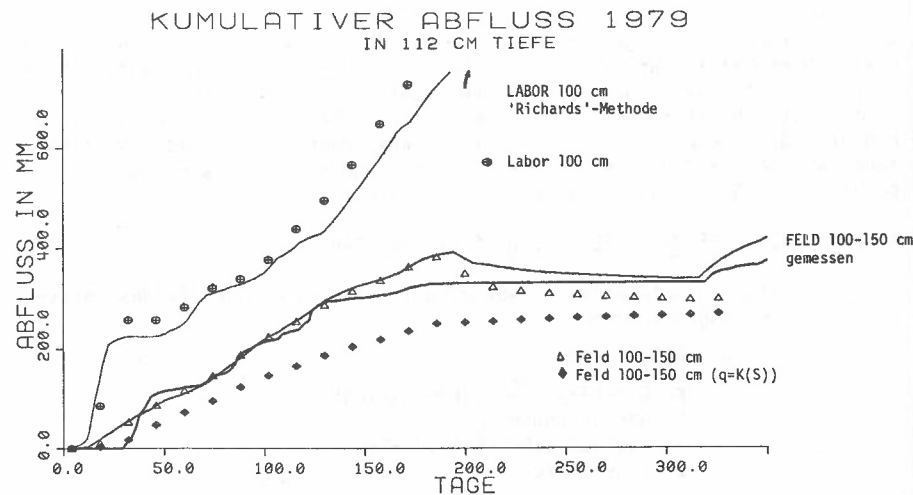


Abb. 6 Summenkurven des berechneten und gemessenen Abflusses beim grasbedeckten, gedüngten Lsylimeter in 112cm und 127cm Tiefe

beobachtet. Die Uebereinstimmung des in 112 cm Tiefe berechneten Abflusses (Feld 100-150 cm) ist überraschend.

2. Da sich unterhalb des Wurzelhorizontes die Saugspannungen nur langsam verändern, kann der Wasserfluss aufgrund 14-täglicher Messungen mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden.
3. Durch Weglassen der Gradienten wird die Abflussmenge vor allem im Winter unterschätzt, da der momentane Einfluss des Niederschlags nicht mehr registriert wird. In den Grenzzonen einer verdichteten, stauenden Schicht werden durch Vernachlässigen der Gradienten die berechneten Abflüsse zusätzlich erhöht oder gesenkt. An der unteren Grenze der Stauzone (112 cm Tiefe) wurden auch im nahezu gesättigten Boden in Richtung Abfluss Gradienten grösser als 1 gemessen.
4. Bei der Berechnung der Abflussmengen im nahezu gesättigten Boden (Winter) wirken sich zu hohe oder zu tiefe K-Werte quantitativ besonders stark aus. Zudem kann im gesättigten Boden der Wasserfluss in den groben Poren, den sog. Sekundärporen (HARTGE 1978) nicht mehr erfasst werden.

5. BERECHNUNG DES WASSERFLUSSES AUS DER WASSERBILANZ UND AUFGRUND DES DARCY-GESETZTES

Meist wird im Herbst der Boden mit Wasser aufgesättigt. Da sich die Sickerwassermenge im nahezu gesättigten Boden mit dem Darcy-Gesetz nicht zuverlässig berechnen lässt, wird die Sickerwassermenge für diese Zeitperiode mit Vorteil aus der Wasserbilanz errechnet:

$$A = N - V - \Delta W \quad (2)$$

A Abfluss unterhalb des Wurzelhorizontes
N Niederschlag
V Verdunstung
 ΔW Wassergehalt im Wurzelraum

Der Abfluss wird im Winter hauptsächlich durch den Niederschlag beeinflusst (s. Abb.2). In niederschlagsfreien Zeitabschnitten wird der Boden bis zur Feldkapazität entwässert. RICHARDS et al. 1956 haben gezeigt, dass die Sickerwasserrate eines Bodens ohne Verdunstung eine Funktion der Zeit ist:

$$\theta = at^b \quad (3)$$

θ Wassergehalt in einer bestimmten Tiefe
t Zeit nach Sättigung
a, b Konstanten

Um die Sickerwasserrate zu erhalten, kann diese Funktion nach der Zeit abgeleitet und t eliminiert werden:

$$d\theta/dt = ab \cdot [\theta/a]^{(b-1)/b}$$

Für den Lössboden wurde nach Wassersättigung unter Desorptionsverhältnissen die Parameter a und b nach der Methode von MILLER 1974 bestimmt (a = 0.4, b = -0.0192).

Zur kontinuierlichen Abflussberechnung ist ein einfaches Wasserbilanzmodell notwendig: das Modell beginnt mit dem ersten Niederschlag, der den Boden im Herbst oder Winter aufzusättigen vermag, d.h. wenn die Saugspannung unterhalb

des Wurzelhorizonts sehr klein wird. - Der Wassergehalt und der K-Wert bei Sättigung werden als bekannt vorausgesetzt (Feldbestimmung). Der momentane Wassergehalt im Wurzelraum (W_t) wird aus der vereinfachten Wasserbilanz und dem Wassergehalt des Vortages angenähert: $W_t = W_{t-1} + N - V$. Steigt W_t über den Wassergehalt bei Sättigung (W_s), so wird der Niederschlag dem Abfluss gleichgesetzt. Ist W_t kleiner als W_s , so wird der Abfluss aus Formel (4) berechnet. ($A = -0.0077 \cdot (\theta / 0.4)^{5.1}$). Eine allfällige Schneedecke wird als Wasserreservoir aufgefasst und zum nächstfolgenden Regen hinzugezählt. An Tagen mit Niederschlag wird der Abfluss aus der Wasserbilanz errechnet.

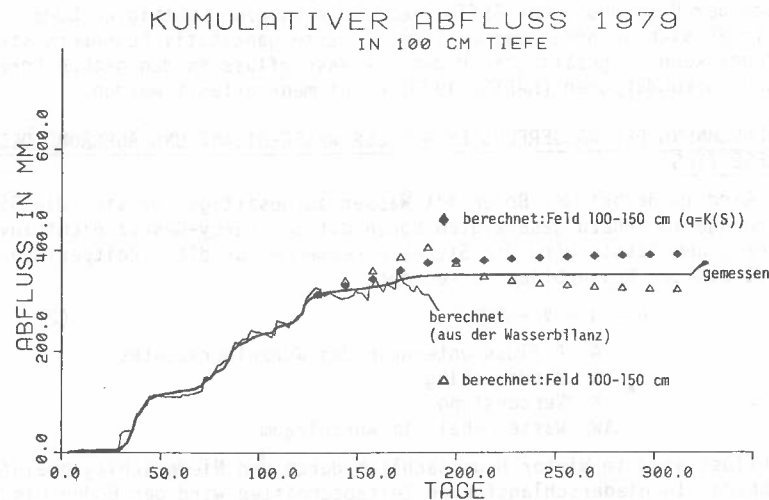


Abb. 7 Summenkurven des Abflusses, berechnet aufgrund der Wasserbilanz bis Ende Mai und des Darcy-Gesetzes ab Anfang Juni

Zur Ueberprüfung des Ansatzes wurde der kumulative Abfluss von Januar bis Ende Mai berechnet. Die Uebereinstimmung mit dem gemessenen kumulativen Abfluss ist zufriedenstellend. Sobald der Wassergehalt im Boden stärker durch die Evapotranspiration beeinflusst wird, kann der Abfluss nicht mehr aus Gleichung 4 berechnet werden. Die hier vorgeschlagene Kombination aus Wasserbilanz und Darcy-Fluss ermöglicht eine zuverlässigere Berechnung der Wassersickerung, als dies mit der Anwendung des Darcy-Gesetzes allein möglich wäre.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Mithilfe von drei Wägelysimetern wurde der Wasserhaushalt eines natürlich gelagerten Lössbodens untersucht. Am kontrollierten Modell wurden zwei Ansätze zur Berechnung der Sickerwassermengen unterhalb des Wurzelhorizontes überprüft:

- Die Genauigkeit, mit der die Sickerwassermengen aufgrund des Darcy-Gesetzes berechnet werden können, hängt in erster Linie von der Qualität der Wasserleitfähigkeitskoeffizienten (K-Werte) ab. Die Methode der K-Wert-Bestimmung hat dabei einen wesentlichen Einfluss. Zwei Labormethoden und eine Feldmethode wurden überprüft. Mit den Labormethoden wurden eindeutig erhöhte K-Werte ermittelt. Die Feldmethode brachte zuverlässigere K-Werte, die in einzelnen Fällen eher etwas zu tief lagen.
- Eine Kombination aus Wasserbilanz und Darcy-Gesetz zur Berechnung der Sickerwassermengen wird vorgestellt. Sie ermöglicht für mittelschwere bis schwere Böden - steile Desorptionskurven zwischen Sättigung und Feldkapazität vorausgesetzt - eine zuverlässigere Berechnung der Sickerwassermengen als mithilfe des Darcy-Gesetzes allein.

LITERATURVERZEICHNIS

- BENECKE, P., BEESE, F., VAN DER PLOEG, R.R. 1976: Bodenhydraulische Methoden zur Untersuchung ungestörter, skelettreicher Böden. Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde, 139 : 361 - 371.
- BORER, F., 1978: Ueberlegungen zum Einfluss der bodenphysikalischen Parameter $k(S)$ und i auf die Berechnung der Tiefsickerung und auf die Wasserbilanz, Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 26: 133 - 142
- BORER, F. 1980: Zum Wasserhaushalt eines dominierenden Baumes in einem Waldbestand. Diss. ETHZ Nr. 6529
- GERMANN, P. 1976: Wasserhaushalt und Elektrolytverlagerung in einem mit Wald und einem mit Wiese bestockten Boden in ebener Lage. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Verwes. Bd. 52/3: 163 - 309
- GERMANN, P., VOGELSANGER, W., LUESCHER, P., LAESER, H.P. 1978: Kontinuierliche Ausflussmethode zur Bestimmung der Desorptionskurve und der Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Boden. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 26: 219 - 28
- HARTGE, K.H. 1978: Einführung in die Bodenphysik, 364 S. Stuttgart, Ferdinand Enke
- MILLER, D.E., AARSTAD J.S. 1974: Calculation of the drainage component of soil water depletion. Soil Sci. 118: 11 - 15
- RICHARDS, L.A., MOORE, D.C. 1952: Influence of Capillary Conductivity and Depth of Wetting on Moisture Retention in Soil Trans. AGU, Vol. 33/4: 531 - 540
- RICHARDS, L.A., GARDNER, W.R., OGOTA, G. 1956: Physical Processes Determining Water Loss from Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20: 310 - 14.
- SCHROEDER, D. 1972: Bodenkunde in Stichworten, 146 S. Kiel, Hirt.

Quantitativer Vergleich des Erosionsverhaltens eines winterlichen Dauer-
niederschlags und eines sommerlichen Starkregens
Wolfgang Seiler, Geographisches Institut Basel

1. Einleitung

Die laufenden Bodenerosionsuntersuchungen sind ein Bestandteil des physisch-geographischen Forschungsprogramm TERRA (Terrestrial Ecosystem Resources Research and Analysis) am Geographischen Institut Basel (vgl. H.LESER 1975 u. 1978).

In zwei kleinen Einzugsgebieten im Oberlauf der Ergolz werden die Erosionsprozesse und ihre Auswirkungen (Materialtransport, Nährstoffhaushalt und Formungsverhalten) quantitativ zu erfassen versucht. Das Riedmattbächli auf der Hochfläche von Anwil besitzt ein Einzugsgebiet von 44.7 ha, mit einem Kulturlandanteil von 97.0 %. Das Dübachtal bei Rothenfluh hat ein Einzugsgebiet von 432.1 ha mit einem Kulturlandanteil von 23.6 %. Die Messungen erfolgen auf Testflächen und mittels Feldkästen in regulär bearbeiteten Äckern. Zusätzlich wird am Ausgang jedes Einzugsgebietes der Oberflächenabfluß sowie die Schwebstoff- und Lösungskonzentration bestimmt. Die Messungen werden durch eine quantitative Kartierung der Erosionsformen nach jedem formbildenden Ereignis ergänzt. Während der Untersuchungsdauer von eineinhalb Jahren hat sich eindeutig gezeigt, daß die Erosionsvorgänge während winterlichen Dauerniederschlägen völlig anders verlaufen als bei sommerlichen Starkregen (vgl. W.SEILER 1979 u. 1980). Anhand der zwei extremen Ereignisse vom 10.-15.03.1979 und 13.07.1979 kann dieser Sachverhalt exemplarisch verdeutlicht werden. Im folgenden werden die Abtragsmengen und der Bodenfeuchtegang während diesen zwei Ereignissen, bzw. während des entsprechenden Monats, miteinander verglichen.

2. Meßergebnisse

2.1 Niederschlag

Die Erosionsprozesse wurden im Winter durch 67.2 (Anwil) bzw. 72.1 mm (Dübachtal) während 41.5 h ausgelöst. Die Bodenfeuchten betrugen zuvor auf T20 37.8 % und auf T30 36.9 %. Das Ereignis im Sommer entstand auf der Hochfläche im Zusammenhang mit einem heftigen Gewitter mit 49.2 mm in 30'. Die maximale Intensität während 5' (I 5) betrug 1.8 mm/min, die maximale I 30= 1.4 mm/min. Im Dübachtal fielen 48.6 mm in ca. 4 h (RS hebelte nicht ab). Für den Abtrag dürften die 11.0 mm vom 15.05 bis 17.35 Uhr mit I 5=0.82 und I 30=0.19 mm/min entscheidend gewesen sein, weil sie auch für den stärksten Pegelanstieg verantwortlich waren. Die Bodenfeuchten betrugen zuvor auf T20 23.9 % und auf T30 34.7 %.

2.2 Die Abtragsmengen bei den Meßpunkten

2.2.1 Testflächen

Auf T20 mit 14° Neigung und einem sand- und schluffreichen Feinboden (35 % S, 48.4 % U, 16.7 % T) kam es im Winter infolge von Interflowausfluß innerhalb der Parzellen zu sehr hohen Bodenverlusten (vgl. Tab. 1). Der Interflowausfluß - er dauerte z.B. auf T20.4 vier Tage an - kann im Winter im Untersuchungsraum häufig beobachtet werden, wenn die Meßpunkte in Gelände-

¹⁾ Die Untersuchungen werden von Schweizerischen Nationalfonds finanziell und von der IBM Schweiz durch die kostenlose Überlassung von Computerzeit unterstützt. Hierfür sei auch an dieser Stelle recht herzlich gedankt.

mulden mit wasserstauenden Tonhorizonten im Untergrund liegen. Zum Erosionszeitpunkt waren die Testflächen brach. In diesem Fall wird das Erosionsereignis vorwiegend vom Interflowausfluß geprägt. So wurde auf der im Sommer 1978 längs bearbeiteten Parzelle 20.4 mehr als die fünffache Menge der gleichbearbeiteten Parzelle 20.3 abgetragen, weil der Interflowausfluß früher begann und ca. 1 Tag länger anhielt. Ebenso korrelieren die Abtragsmengen auf 20.1 und 20.2 (im Sommer 1978 brach bzw. querbearbeitet) mit der Dauer des Interflowausflusses. Bei einer Bodendichte von 0.86 cm³/g entsprechen die Bodenverluste Profilverkürzungen von auf 20.1=3.1 mm, 20.2=1.0 mm, 20.3=0.9 mm und 20.4=5.8 mm.

Auf T30 kam es im gleichen Zeitraum nur auf einer Parzelle zum Interflowausfluß, weil diese Testfläche an einem gestreckten Hang mit 9.5° Neigung liegt und somit die wassersammelnde Wirkung der Geländemulde fehlt. Für den Interflowausfluß ist hier vor allem das tonreiche Feinmaterial (25.2 % S, 42 % U, 36 % T) verantwortlich, welches besonders unterhalb der Bearbeitungsschicht stauende Wirkung zeigt (vgl. 2.3). Der Bodenverlust auf 30.2 entspricht einer Profilverkürzung von 0.9 mm.

Im Sommer kam es trotz hohen Niederschlagsmengen zu keinem Interflowausfluß, weil das Wasser entweder schnell oberflächlich abfließt oder in die oberen Bodenhorizonte eindringt und ein Großteil davon wieder verdunstet. Hingegen erfolgten besonders auf der Hochfläche infolge der hohen andauernden Intensitäten - bei einer für diesen Standort normalen Bodenfeuchte von 34.7 % - sehr starke Bodenverluste. Die Abtragsmengen sind stark abhängig von der potentiell möglichen Abtragungsfläche und ihrer Form. So wiesen die 1x20 und 2x10 m² großen Parzellen im Vergleich zu der 10 m² großen unbearbeiteten Brachparzelle 59.9 bzw. 26.3 % mehr Verlust auf. Die doppelt so lange Parzelle wies also - im Gegensatz zur doppelt so breiten - einen deutlich höheren Bodenverlust auf. Die Parzelle 30.2 (10 m²) zeigt mit 2 % mehr Abtrag, daß die auf allen Parzellen (Ausnahme Brachparzelle) laengs verlaufenden Bearbeitungsspuren kaum noch Auswirkungen auf den Bodenverlust hatten, weil sie bereits im Herbst 1978 einer Winterbearbeitung entsprechend, angelegt worden sind. Bei der Betrachtung des reinen Wasserabflusses zeigt sich der Einfluß der Längsbearbeitung noch etwas deutlicher. So war der Abfluß auf 30.2 um 12.3 % und auf 152.8 % erhöht. Für 30.3 können keine Angaben gemacht werden, weil nicht alles Wasser aufgefangen werden konnte, also auf jeden Fall mehr als 200 l abgefließen sind.

Auf T20 blieb der Bodenverlust trotz 14° Hangneigung im Vergleich zur Hochfläche und zum Winterereignis gering, weil die 48.6 mm auf ca. 4 Stunden verteilt waren und der Boden infolge der Mitte Mai erfolgten Bearbeitung noch locker und zusätzlich stark ausgetrocknet war. Die noch frischen Bearbeitungsspuren wirken sich auf das Abflußverhalten nachhaltig aus. So weist die unbearbeitete Brachparzelle einen doppelt so hohen Verlust wie die querbearbeitete Parzelle und 75 % mehr als die längsbearbeitete Parzelle 20.3 auf. Der vergleichsweise geringe Verlust der längsbearbeiteten Parzelle 20.4 läßt sich durch den hohen Skelettanteil erklären.

2.2.2 Feldmeßpunkte

Die Feldmeßpunkte zeigen grundsätzlich dasselbe Erosionsverhalten wie die Testflächen: starker linienhafter Abfluß und Abtrag im Winter im Zusammen-

hang mit austretendem Interflow, flächenhafter Abtrag bei sommerlichen Starkregen und Abhängigkeit vom Substrat sowie den morphographischen Gegebenheiten. Allerdings werden diese Faktoren nachhaltig von der momentanen Nutzung und dem Bearbeitungszustand modifiziert. So ereignen sich im Winter sehr große Erosionsschäden (Kleinkatastrophen), wenn es sich um Geländemulden handelt, wo:

- (1) die Pflugfurchen schon derart gelockert sind (Ende Februar bis zum Beginn der Einsaat), daß das anfallende Niederschlags- oder Schmelzwasser die Pflugfurchen durchbrechen kann.
- (2) eine Winterfrucht angepflanzt ist, die den Boden noch kaum schützt bzw. zusammenhält.

In derartigen Geländemulden bilden sich dann immer tiefe (bis 50 cm), linienhafte Erosionsformen, die oft den B-Horizont anschneiden und teilweise ausräumen (vgl. Tab. 1, Ort 24, 25, 33, 59).

Bei sommerlichen Starkregen werden sämtliche Erosionsfaktoren von der Nutzung überdeckt. Selbstverständlich besitzen die Reliefverhältnisse sowie die anderen Randbedingungen noch einen gewissen Einfluß. So bleiben z.B. die Geländemulden bei gleicher Nutzung, im Vergleich zu gestreckten oder divergierenden Flächeneinheiten, am erosionsanfälligsten. Der hohe Erosionsschutz gewisser Nutzpflanzen - sofern sie eine gewisse Höhe erreicht haben - läßt sich besonders gut an den Meßpunkten 33, 59 und 24, 25 erkennen. Bei 33 floßen während des Sommerereignisses "nür" 49.9 kg (Trockengewicht) Boden ab, weil die Geländemulde mit 2475 m² Sommergerste (erosionshemmend) und 775 m² Roten Beten (erosionsanfällig) bepflanzt war. Im Winter quergepflügt ergab sich hier ein berechneter Verlust von 3150 kg Boden, also 65 mal mehr (vgl. Tab. 1). Der Meßpunkt 59 war im Sommer mit einer 100 cm hohen Wintergerste bedeckt und wies mit 112 g einen 160 mal geringeren Bodenverlust auf als das Winterereignis bei einer Gerstenhöhe von 10 cm. Bei den Meßpunkten 24 und 25 im Dübachtal resultierte im Sommer, wegen des 100 cm hohen Winterweizens und den geringeren Niederschlagsintensitäten, überhaupt kein Abtrag. Im Winter lag der Verlust an diesen Stellen mit 10 cm hohem Winterweizen bei 66.6 bzw. 7.6 kg Trockenmaterial. Alle mit Mais bestandenen Flächen erwiesen sich, trotz Pflanzenhöhen um 100 cm, als sehr erosionsanfällig, besonders, wenn es sich um Muldenstandorte handelt. Hier kommt aufgrund des geringen Schutzes an der Bodenfläche die wassersammelnde Wirkung der Geländemulden verstärkt zum Ausdruck (s. Tab. 2, Ort 61).

2.3 Die Bodenfeuchten

An dieser Stelle werden nur die Bodenfeuchten bei den Testflächen genauer betrachtet. Parallelmessungen bei den Feldmeßpunkten haben gezeigt, daß die Charakteristik der Kurven bei entsprechendem Substrat praktisch gleich verläuft.

2.3.1 Der Bodenfeuchtegang auf T20

Grundsätzlich liegen die Bodenfeuchten im Sommer in allen Horizonten (Horizont (H) wird hier i.S. von 10 cm mächtiger Bodenschicht gebraucht) tiefer als im Winter (s. Abb. 1). Ebenso verläuft die Bodenfeuchtekurve des 1. H. im Sommer zumeist tiefer als jene des 2. und 3. H. Nur, wenn es gerade kurz vor der Messung geregnet hat, weist der 1. H. den höchsten Wassergehalt auf. Allgemein bleibt der Bodenfeuchteanstieg im 1. H. gering, weil

ein Großteil verdunstet oder oberflächlich abfließt. Auf den hohen Niederschlag vom 13.07.1979 reagieren auch der 2. und 3. H. deutlich. Der Anstieg im 1. H. dürfte während des Ereignisses bzw. gerade danach höher gelegen haben (die Reihenummessung erfolgte 2 Tage später). Im Winter reagieren alle H. sofort auf hohe Niederschläge. Dies dürfte einerseits mit dem geringen Fließwiderstand bei hoher Feuchte und andererseits mit dem grundsätzlich hohen Wassergehalt aller H. zusammenhängen (Entwässerung höherer H. - bei gleichzeitiger Auffüllung von oben - in tiefere H.). Bei geringeren Niederschlägen wirkt sich die Versickerung in den tieferen H. verzögert und zumeist weniger deutlich aus. Der oberste H. verbleibt jedoch konstant mit einem hohen Wassergehalt.

2.3.2 Der Bodenfeuchtegang auf T 30

Verglichen mit dem Sommer liegen auch hier die Bodenfeuchte des Winters wesentlich höher. Infolge der simulierten Winterbearbeitung erfolgt (diese liegt zu diesem Zeitpunkt allerdings schon 4 1/2 bzw. 8 1/2 Monate zurück) eine schnelle Durchsickerung des lockeren 1. H. Der hohe Tongehalt und die größere Dichte hemmen die weitere Einsickerung stark, so daß diese 2. Schicht im Sommer und Winter fast ausnahmslos den höchsten Wassergehalt aufweist. Die starke Wasserbindung im 2. H. führt dazu, daß die allgemeine Tendenz der Tiefenfunktion der Bodenfeuchte im Sommer und Winter, im Gegensatz zu T20, ab dieser 2. Schicht abnehmend ist, bzw. die Auswirkungen der Niederschläge stark verzögert sind.

3. Schlußfolgerungen

Besonders im Spätwinter verstärken die hohen Bodenfeuchten aller Horizonte und das Fehlen einer schützenden Pflanzendecke sowie die stark gelockerten Pflugfurchen die Erosionsanfälligkeit. Zu diesem Zeitpunkt führen - bei genügend großem Einzugsgebiet - auch Niederschläge von geringerer Intensität zu Erosionserscheinungen. Ab einer gewissen Menge tritt zum oberflächlich abfließenden Wasser der Interflowausfluß und erhöht den Bodenverlust überproportional. Im Sommer wird die Erosionsanfälligkeit vorwiegend von der Art und Höhe der Nutzpflanzen geprägt. Die zumeist tiefen Bodenfeuchten des 1. H. erhöhen die Abtragsresistenz so daß nur starke Intensitäten mit gleichzeitig großer Menge - bei schon hoher Vegetation - zu ausgeprägten Bodenverlusten führen. Diese Niederschläge zeigen auch bei kleinen Einzugsgebieten deutliche Erosionsauswirkungen. Es ist anzunehmen, daß bei höherer Bodenfeuchte auch geringere Niederschlagsintensitäten im Sommer Abtrag zur Folge haben (die Messungen bis anhin bestätigen dies). Somit kommt den antezedenten Niederschlägen, die kurzfristig die Bodenfeuchte des obersten Horizontes während des Sommers erhöhen, größere Bedeutung zu als im Winter, wo die Bodenfeuchte durchwegs hoch und nur langsam abnehmend ist.

4. Literaturverzeichnis

- LESER, H.: Das physisch-geographische Forschungsprogramm des Geographischen Instituts der Universität Basel in der Regio Basiliensis. In: Regio Basiliensis, XVI (1975), S. 55 - 78
- LESER, H.: Probleme der quantitativen Aufnahme der Landschaft im Forschungsprogramm der Physischen Geographie an der Universität Basel. In: Regio Basiliensis, IXX (1978), S. 45 - 55
- SEILER, W.: Quantitative Bestimmung des aquatischen Bodenabtrags auf Ackerflächen vom Frühjahr 1978 bis Frühjahr 1979 im Tafeljura (Oberlauf der Ergolz, südöstlich Basel). In: Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges., 29 (1979), S. 937 - 956
- SEILER, W.: Der Einfluß von landwirtschaftlicher Nutzung, wirtschaftsweise und verschiedener Niederschlagsarten auf das Erosionsereignis bzw. das Formungsverhalten im Oberlauf der Ergolz (Tafeljura, südöstlich Basel). In: Regio Basiliensis, XXI (1980) (im Druck)

DATUM	REGEN	I 5	I 30	IMIT	BOFEU	NEIG	FLA	ORT	EROS-GUT	BO-ABTRAG	VEGETATION
	MM	MM	PRO	MIN	GPROZ	GRAD	M2		G	G	
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	11.0	8	32.0	0	408	VEG-LOS/BRACH
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	10.0	10	36.0	0	56	VEG-LOS/BRACH
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	10.0	42	56.0	0	81	W-GERSTE/QUER/10 CM
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	10.0	20	52.0	0	41	VEG-LOS/BRACH
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	5.5	10	53.0	0	52	VEG-LOS/BRACH
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	11.0	55	58.0	0	911	W-WEIZEN/QUER/10 CM
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	10.0	252	59.0	0	17928	W-GERSTE/QUER/10 CM
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	11.0	3250	33.0	0	3150000	VEG-LOS/QUERGEFLUEG
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	9.5	10	30.2	199322	7359	VEG-LOS/LAENG
100379	67.7	.20	.16	.020	48.6	9.5	10	30.1	64	22	VEG-LOS/BRACH
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	14.0	10	20.1	0	26480	VEG-LOS/BRACH
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	14.0	10	20.2	0	9042	VEG-LOS/QUER
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	14.0	10	20.3	0	8182	VEG-LOS/LAENG
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	14.0	10	20.4	0	43912	VEG-LOS/LAENG
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	6.0	650	25.0	0	7584	W-WEIZEN/QUER/10 CM
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	6.0	945	24.0	0	66596	W-WEIZEN/QUER/10 CM
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	16.0	43	23.0	0	96	VEG-LOS/BRACH
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	17.0	43	22.0	0	101	VEG-LOS/BRACH
100379	71.2	.33	.08	.020	38.8	17.0	43	21.0	0	104	VEG-LOS/BRACH

Tab. 1: Abtragsmengen während der winterlichen Kleinkatastrophe vom 10.-15.03.1979.
Der Niederschlag dauerte 41.5 h..Danach hielt der Interflowausfluss bei 20.2,
20.3 u. 30.2 1 Tag, bei 20.1, 24, 25, 33 u. 59 2 Tage und bei 20.4 3 Tage an.

DATUM	REGEN	I 5	I 30	IMIT	BOFEU	NEIG	FLA	ORT	EROS-GUT	BO-ABTRAG	VEGETATION
	MM	MM	PRO	MIN	GPROZ	GRAD	M2		G	G	
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	9.5	10	30.1	148721	23112	VEG-LOS/BRACH
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	9.5	10	30.2	164721	23626	VEG-LOS/LAENG
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	9.5	20	30.3	0	36941	VEG-LOS/LAENG
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	9.5	20	30.4	346689	29175	VEG-LOS/LAENG
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	29.5	10.0	252	59.0	0	112	W-GERSTE/QUER/10 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	11.0	8	32.0	0	377	BOHNEN/QUER/40 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	32.1	11.0	3250	33.0	0	49937	R-BETE/QUER/30 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	10.0	10	36.0	0	71	S-GERSTE/QUER/60 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	10.0	20	52.0	0	68	S-GERSTE/QUER/60 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	8.5	1640	60.0	0	110	HAER/QUER/30 CM
130779	49.2	1.80	1.40	1.400	34.7	9.0	1200	61.0	0	3750000	MAIS/QUER/100 CM
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	14.0	10	20.1	2803	265	VEG-LOS/BRACH
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	14.0	10	20.2	1948	133	VEG-LOS/QUER
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	14.0	10	20.3	2898	193	VEG-LOS/LAENG
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	14.0	10	20.4	4063	105	VEG-LOS/LAENG
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	17.0	43	21.0	0	104	MAIS/LAENG/100 CM
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	17.0	43	22.0	0	123	MAIS/LAENG/100 CM
130779	11.0	.82	.19	.073	23.9	16.0	43	23.0	0	27	MAIS/QUER/100 CM

Tab. 2: Erosionsverluste infolge des Gewitterregens vom 13.07.1979 mit starken Regen-
intensitäten und gleichzeitig hoher Wassermenge.

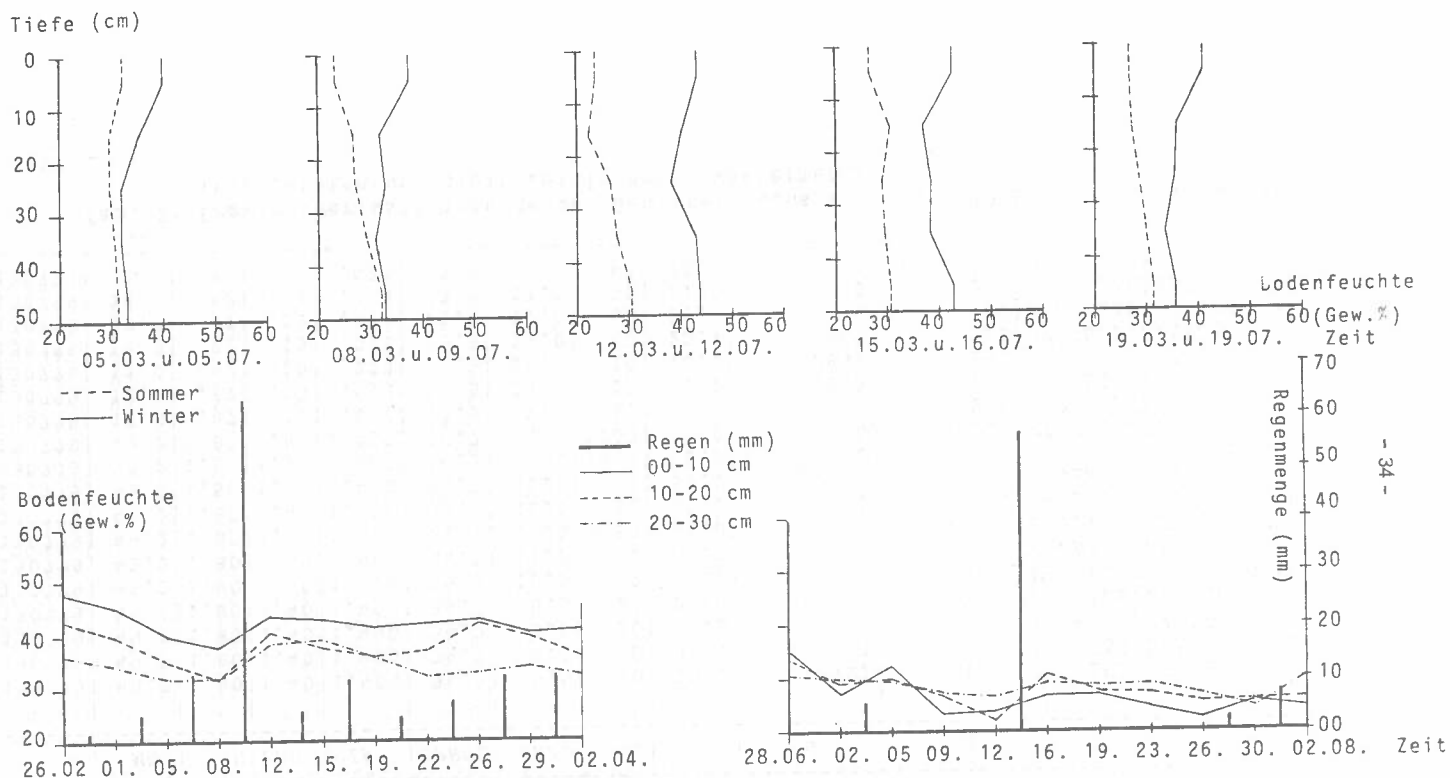


Abb. 1: Bodenfeuchtegang auf T 20
Die obere Hälfte zeigt die Tiefenfunktionen des Bodenfeuchteverlaufs während 14 Tagen, in deren Mitte das entsprechende Erosionsereignis stattfand. In der unteren Hälfte ist der Bodenfeuchteverlauf von Ende Februar bzw. Juni bis Anfangs April bzw. August 1979 aufgetragen. Zusätzlich sind die Niederschlagssummen zwischen zwei Messungen eingetragen.

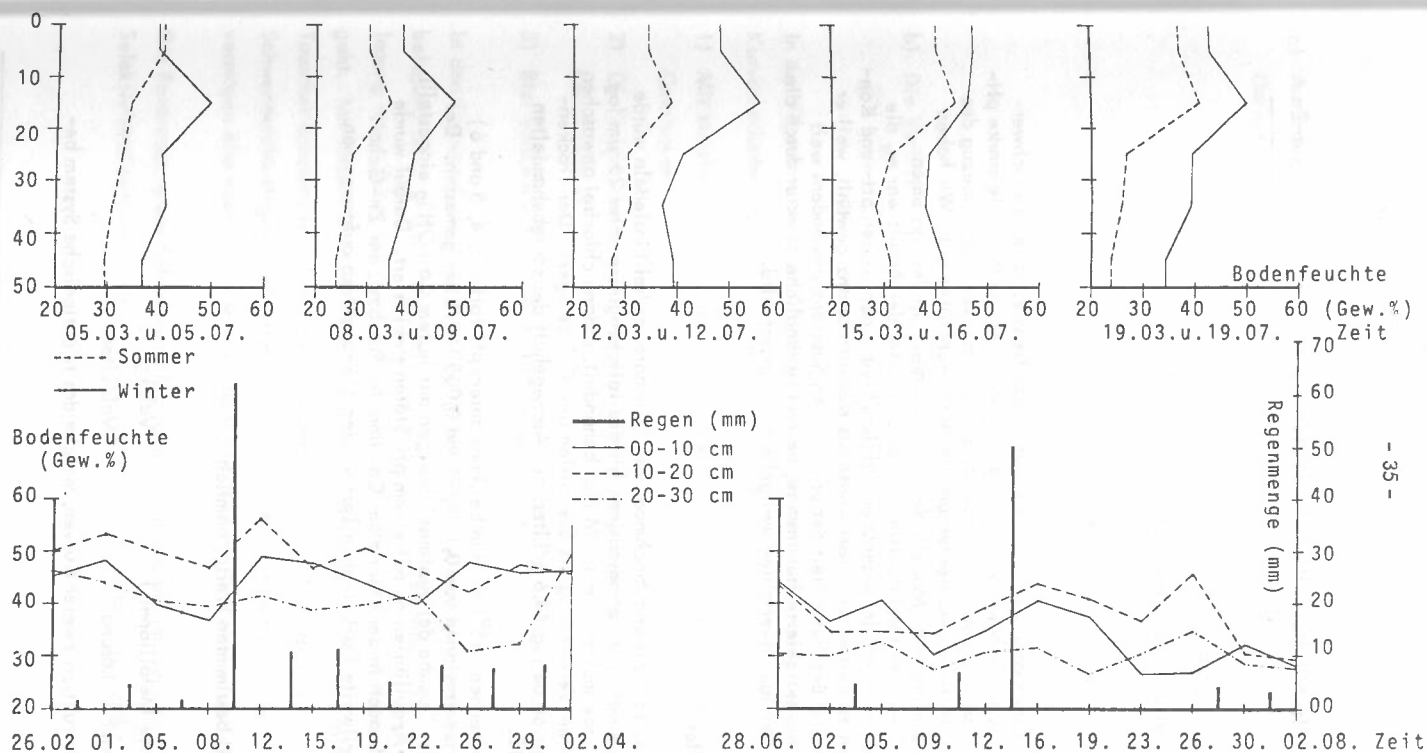


Abb. 2: Bodenfeuchtegang auf T 30
(Erläuterungen s. Abb. 1)

IONENAUSTAUSCH AN TORF IN DEN SYSTEMEN H-Ca-Pb UND H-Ca-Zn

J. Boehringer und H. Sticher

Institut für Lebensmittelwissenschaft ETHZ, 8092 Zürich

1. Einleitung

Wegen der hohen Calciumsättigung der meisten Böden liegt es nahe, die Schwermetalladsorption als Ionentausch Schwermetall-Calcium anzusehen. Die starke pH-Abhängigkeit der Kationenaustauschkapazität drängt ausserdem den Einbezug des Hydroniumions als dritten Konkurrenten um die Austauschplätze auf. Wir haben daher, in einem vereinfachten Modell, den Ionenaustausch in den Systemen H-Ca-Pb und H-Ca-Zn an Hochmoortorf untersucht. Ziel der Arbeit war es, die Selektivität der Schwermetalle gegenüber Calcium über einen weiten pH- und Konzentrationsbereich zu bestimmen. Torf wurde als Modellsubstanz gewählt, weil er in seiner Struktur und Beschaffenheit der organischen Substanz des Bodens weit besser entspricht als extrahierte Huminsäure, deren ursprüngliche Struktur durch die Extraktions- und Reinigungsverfahren weitgehend verändert wird.

2. Experimentelles

Stark humifizierter Torf aus dem Hochmoor von Schwantenau bei Einsiedeln wurde mit einer Zahnkolloidmühle homogenisiert, bis die Teilchengrösse unter 25 μm lag. Die Suspension wurde mehrmals mit 1 M HCl behandelt, sodann chlorfrei gewaschen und bis zur weiteren Verwendung als Suspension bei 4°C gelagert. Der Trockengehalt der Suspension betrug 44,6 g/Liter, der Aschegehalt des säurebehandelten Torfes 9,5 g/kg TS.

Die Austauschisothermen (25°C) wurden bei konstantem pH (pH = 3, 4, 5 und 6) und Elektrolytkonzentrationen von 0,1, 0,02 und 0,005 Val/Liter gemessen. Der pH wurde nach der Zugabe der Austauschlösungen mit festem Ca (OH)₂ eingestellt und während der Aequilibrierung mit einem pH-Stat stabilisiert. Darauf wurde sowohl im Torf als auch in der Lösung der Ca- und der Pb- bzw. der Zn-Gehalt bestimmt. Von teilweise Cu-belegtem Torf wurden ESR-Spektren aufgenommen.

3. Resultate

Die experimentell bestimmten Werte, nämlich

pH

$\bar{M}$, $\bar{Ca}$ (adsorbierte Metallionen)

Val/kg

M , Ca (Metallionen in Lösung)

Val/Liter

erlauben die Konstruktion zweier Kurven, welche das tricationische System beschreiben:

- a) Austauschisothermen $\bar{X}_M = f(X_M)$ mit pH und C_t als Kurvenparameter. Darin sind:

$$\bar{X}_M = \frac{(\bar{M})}{(\bar{M}) + (\bar{Ca})} = \frac{(\bar{M})}{\bar{C}}$$

$$X_M = \frac{(M)}{(M) + (Ca)} = \frac{(M)}{C_t}$$

- b) Die Variation von $\bar{C}$ als Funktion von $\bar{X}_M$.
 $\bar{C} = (\bar{M}) + (\bar{Ca}) = \text{"Basensättigung"}$

In den Figuren 1 bis 3 sind 3 charakteristische Isothermenpaare dargestellt. Die Kurven erlauben zunächst folgende qualitativen Aussagen:

- 1) Mit zunehmendem pH steigt die Selektivität der Schwermetalle gegenüber Calcium an.
- 2) Die Selektivität der Schwermetalle ist umso grösser, je tiefer die Elektrolytkonzentration.
- 3) Blei wird bedeutend stärker bevorzugt als Zink.

In den Figuren 4 und 5 ist die Abhängigkeit von $\bar{C}$ als Funktion der Schwermetallbelegung für $C_t = 0,02$ Val/Liter dargestellt. Mit zunehmender Schwermetallbelegung steigt $\bar{C}$ bei gegebenem pH an und zwar umso stärker, je näher $\bar{X}_M$ gegen 1 geht. Mit andern Worten: Da die Anzahl der potentiellen Austauschstellen am Tauscher konstant ist, nimmt trotz konstantem pH der Austauschlösung bei steigender Schwermetallbelegung der Anteil der adsorbierten Protonen ab. Die Schwermetalle vermögen also noch Protonen auszutauschen, welche für Calcium unzugänglich sind.

Die Bevorzugung der Schwermetalle gegenüber dem Calcium kann durch den Selektivitätskoeffizienten K_{Ca}^M ausgedrückt werden. Dieser ist gegeben mit

$$\frac{\bar{X}_M}{1 - \bar{X}_M} = K_{Ca}^M \cdot \frac{X_M}{1 - X_M}$$

Er kann, für konstanten pH und konstante Ionenstärke, direkt aus den Analysenresultaten berechnet werden. Die entsprechenden Kurven für $C_t = 0,005 \text{ N}$ sind in der Figur 6 dargestellt. Bei dieser Darstellung sind aber sowohl $\bar{H}$ als auch $\bar{C}$ variabel. Um den Selektivitätskoeffizienten K_{Ca}^M für konstantes $\bar{C}$ und $\bar{H}$ (konstante "Basensättigung") zu erhalten, müssen die notwendigen Isothermen mit den Wertepaaren $(\bar{X}_M, X_M)$ aus den experimentell ermittelten Isothermen mit den Wertepaaren $(\bar{X}_M, X_M)_{C_t, pH}$ berechnet werden. Die Umrechnungsmethode, die auf ANDRE (1977) zurückgeht, ist bei BOEHRINGER (1980) im Detail beschrieben. Die Resultate für $C_t = 0,005 \text{ N}$ sind in der Figur 7 für drei ausgewählte $\bar{C}$ -Werte dargestellt.

Die Kurven für Zink entsprechen weitgehend einem einfachen Ionentausch mit verschieden selektiven Tauschstellen (two-site model). Der Austausch Blei/Calcium ist dagegen komplexer. Neben der Adsorption von Hydrolyseprodukten (PbOH^+ , $\text{Pb}_2(\text{OH})_3^+$) bei geringer Bleikonzentration und höheren pH-Werten scheinen spezifische Bindungsformen für Blei mit im Spiel zu sein. Leider lässt sich die Bindungsart von Blei und Zink nicht direkt untersuchen. Man ist bei der Interpretation auf ESR-Messungen an Cu- und Mn-dotierten Torfen angewiesen. Darnach erfolgt bei der Cu-Adsorption durch Ligandaustausch auf der z-Achse des Ligandenfeldes (Jahn-Teller-Distortion) eine unmittelbare Bindung von ein, evtl. zwei Carboxylatgruppen an das Metall (Bindungsformen I und II)¹⁾.

Mangan dagegen wird als Hexaaquokomplex elektrostatisch an die Carboxylatgruppen gebunden (BLOOM et al. 1979). Entsprechend den vergleichbaren Selektivitätskoeffizienten sowie den nahezu gleichen Komplexbildungskonstanten mit dem Acetation (BJERRUM et al. 1957) dürfte Blei ähnlich wie Kupfer durch Ligandaustausch direkt an die Carboxylgruppen gebunden werden. Zink (wie auch die übrigen d-Metalle der 4. Periode) dürfte vorwiegend wie Mangan reagieren, mit nur geringem Anteil der Bindungsform II.

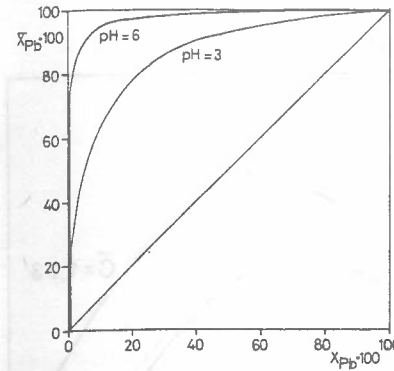


Fig. 1

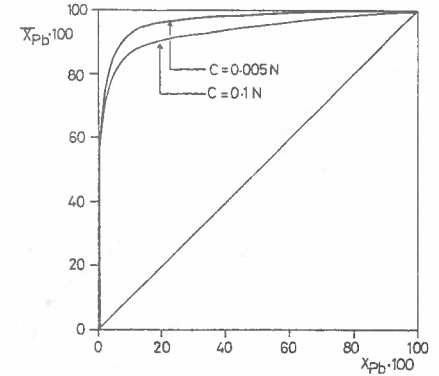


Fig. 2

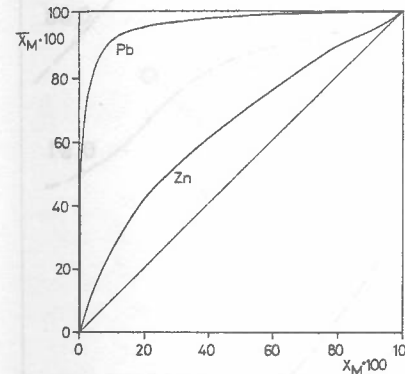


Fig. 3

Fig. 1: Austauschisothermen Pb/Ca
Einfluss des pH. $C_t = 0,02$

Fig. 2: Austauschisothermen Pb/Ca
Einfluss von C_t . pH = 5

Fig. 3: Austauschisothermen Zn/Ca und
Pb/Ca. pH = 5. $C_t = 0,02$

Fig. 4: Abhängigkeit der Basensättigung $\bar{C}$
von der Schwermetallbelegung $\bar{X}_M$
am Torf

Fig. 5: Abhängigkeit der Basensättigung $\bar{C}$
von der Schwermetallbelegung $\bar{X}_M$
am Torf

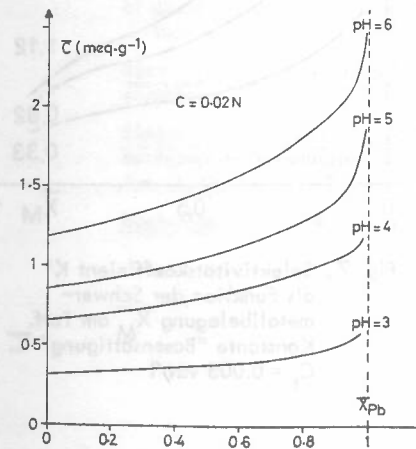


Fig. 4

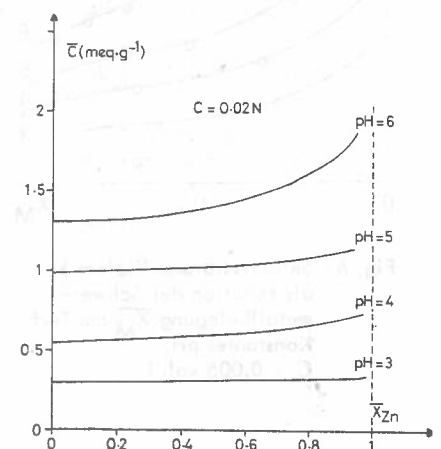


Fig. 5

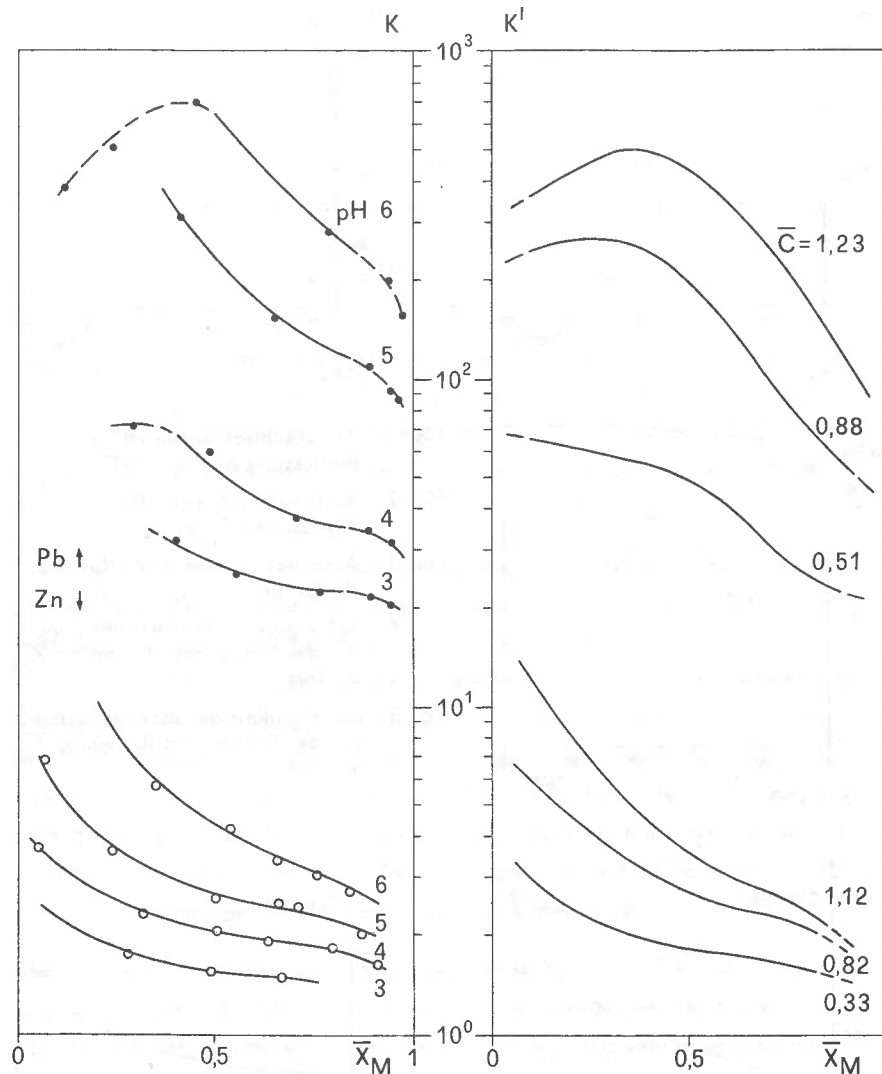
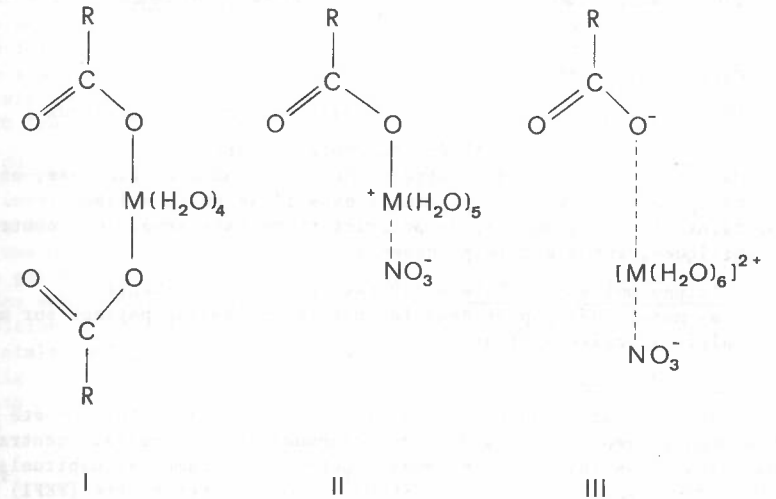


Fig. 6: Selektivitätskoeffizient K als Funktion der Schwermetallbelegung $\bar{X}_M$ am Torf. Konstanter pH. $C_t = 0.005 \text{ val/l}$

Fig. 7: Selektivitätskoeffizient K' als Funktion der Schwermetallbelegung $\bar{X}_M$ am Torf. Konstante "Basensättigung" $\bar{C}$. $C_t = 0.005 \text{ val/l}$

Schema 1: Mögliche Bindungsformen von Schwermetallen an Carboxylgruppen von Torf und Humin-/Fulvostäuren



Literatur:

André, J.P. and Pijarowski, L. (1977): Cation exchange properties of sphagnum peat: exchange between two cations and protons. *J. Soil Sci.* 28, 573 - 584.

Bjerrum, J., Schwarzenbach, G. and Sillén, L.G. (1957): Stability constants. *Chem. Soc. London, Special Publ. No. 6.*

Bloom, P.R. and McBride, M.B. (1979): Metal ion binding and exchange with hydrogen ions in acid-washed peat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43, 687 - 692.

Boehring, J. (1980): Diss. ETHZ (in Vorbereitung).

LA MIGRATION DU FER EN MILIEU MARECAGEUX DANS LE HAUT-JURA ET DANS LE PLATEAU MOLASSIQUE SUISSE

par BOUYER * Y. et POCHON ** M.

* Institut de Géologie
Université de Neuchâtel
2000 Neuchâtel 7

** Laboratoire de Pédologie
EPFL
1024 Ecublens

1. Cadre de l'étude.

La migration du fer a été suivie dans deux milieux tourbeux :

- 1.1 Jura neuchâtelois : Vallée des Ponts-de-Martel.
 - a) Haut-marais du Bois-des-Lattes, tourbe à sphaigne, fibreuse, acide, développée sur moraine imperméable dans l'axe de la vallée.
 - b) Ceinture de bas marais, de prairies tourbeuses assainies, neutres à basiques, entourant le précédent.
- 1.2 Plateau molassique Suisse : Porsel et Châtel-St-Denis.

Bas-marais développés dans les parties basses du paysage sur moraines alpines argilo-sableuses.

2. Nature de l'étude.

2.1 Dans la station du Haut-Jura, les eaux superficielles ont été analysées hebdomadairement au cours d'un cycle annuel, du haut-marais central aux bas-marais assainis périphériques. Outre les paramètres habituels nous avons distingué le fer total (FETO), isolé le fer filtré (FEFI) et obtenu par différence le fer précipité (FP = FETO-FEFI), (selon BOUYER, MISEREZ, POCHON, 1977).

2.2 Dans les bas-marais du Plateau molassique, des accumulations de fer sur la surface du sol, nous ont incités à déterminer la teneur en fer de diverses parties de plantes marécageuses (*Carex rostrata*, *C. juncella*, *C. paniculata*, *C. elata* ...) et du sol de l'environnement immédiat de ces dernières.

3. Bref rappel des faits.

Dans le karst jurassien (sols calcaires et calcaires dénoyés) les eaux d'infiltration ont toujours un faible contenu en matière organique dissoute (SHUM)³ et par conséquent en fer filtré (BOUYER, POCHON, 1979). Cette matière organique hydrosoluble est, en effet, le principal agent de contrôle

¹ Fer Total = toute forme de fer soluble et insoluble dosée après acidification HCl 1%.

² Fer Filtré = toute forme de fer passant à travers un filtre Millipore 0,45µ, avant acidification HCl 1%.

³ Matière organique dissoute = substances humiques au sens de Duchaufour (1970).

des teneurs en fer dans les eaux karstiques; son rôle vis-à-vis du fer est double : rôle solubilisant d'une part, et complexant d'autre part (BRUCKERT et JACQUIN, 1969; BRUCKERT et METCHE, 1972; STUMM et MORGAN, 1970).

4. Les résultats.

4.1 Le haut-marais acide : Fibrist épais (180cm) sur gley carbonaté. Hydro-morphie permanente. Pt d'eau no 3. Bois-des-Lattes. Alt. 1000 m.

La teneur moyenne du fer total dans l'eau d'infiltration atteint 0,79mg/l et celle de la matière organique (SHUM) égale 39,7mg/l (exprimé en Ca lié)⁴. Elle n'a ici qu'un rôle solubilisant, mais non complexant, comme le révèlent son absence de corrélation avec FETO (resp. FEFI = 89% de FETO) ainsi que la relation significative ($r > + 0,85$) de la conductivité (COND) - avec FETO (resp. FEFI).

Origine du fer.

Le fer, inversement corrélé aux précipitations - effet de dilution - varie comme les alcalins, les alcalino-terreux, SO_4^{-2} , Cl^- et SiO_2 . Ce résultat indique une origine commune : les gleys carbonatés du substrat, qui sont attaqués par les fonctions acides de la matière organique. Les eaux, non tamponnées sont continuellement agressives, vis-à-vis des carbonates. Dans ces conditions FEFI est corrélé positivement et respectivement avec la dureté totale (DUTO, $r > + 0,84$), la dureté temporaire, la Conductivité et le pH (fig. 1).

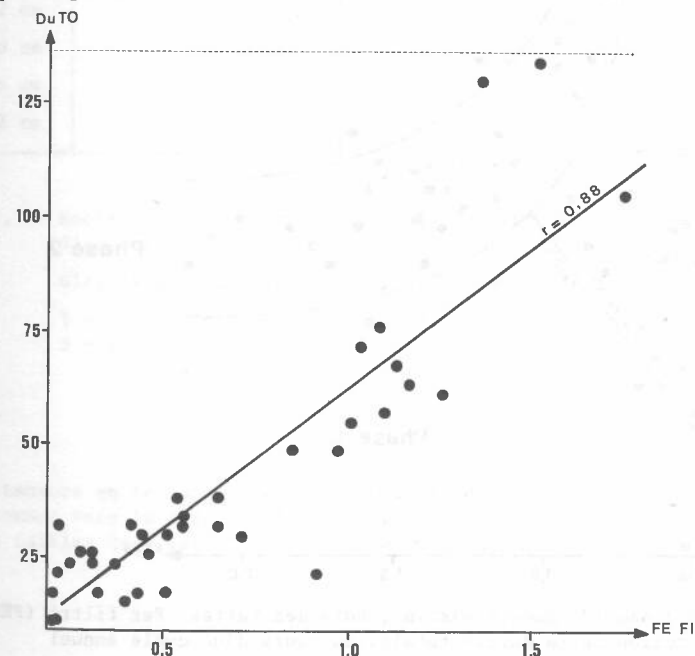


Fig.1. Point d'eau no 3. Bois-des-Lattes, haut-marais, dureté totale (en mg/l) et fer filtré (en mg/l) au cours d'un cycle annuel.

4.2 Marais assainis. Périphérie élargie du haut-marais. Saprist humifié, peu épais (60cm), bien aéré, sur gley olive décarbonaté (10cm) surmontant lui-même un cailloutis calcaro-argileux altéré et poreux. Pt d'eau no 12. Réseau de Drain, Brot-Dessus; alt. 1000 m.

Les eaux d'infiltration, sont proches de la neutralité, avec une dureté totale > 200mg/l de CaCO_3 ; le fer total (FETO) atteint une moyenne annuelle de 2,18mg/l et FEFI ne représente que 56% de FETO.

La matière organique (SHUM, $\bar{x} = 13,5\text{mg/l}$) non seulement solubilise le fer comme le démontrent les corrélations positives ($r > +0,69$) de SHUM - FETO et SHUM - FEFI, mais l'entraîne encore en complexes hydrosolubles comme en témoignent la corrélation négative ($r = -0,51$) de SHUM - fer précipité et l'absence de corrélation COND - FETO (resp. FEFI).

Evolution de la mobilisation du fer.

L'analyse factorielle des correspondances révèle 2 phases distinctes au cours du cycle annuel (fig. 2):

⁴ La teneur en matière organique hydrosoluble, proportionnelle à l'extinction à 270nm (Delbrouck, 1969, Miserez, 1973), est exprimée indirectement par la quantité de Calcium qu'elle peut complexer.

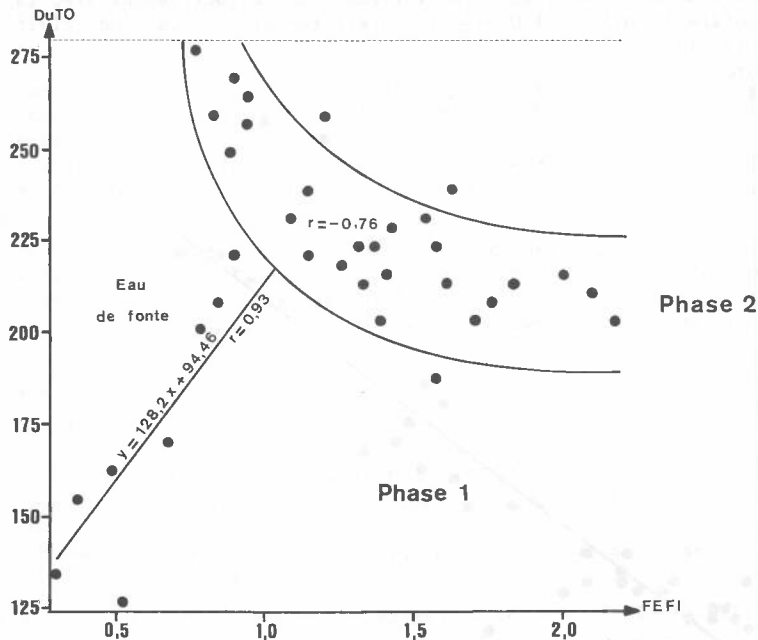


Fig.2. Point d'eau 12, marais assaini, Bois-des-Lattes. Fer filtré (FEFI) en fonction de la dureté totale, au cours d'un cycle annuel (N=37).

Phase 1 : Epoque de la fonte des neiges (27.1.77 au 28.3.77). Débit maximum. La situation est identique à celle du haut-marais acide (pt d'eau no 3).

Phase 2 : Reste de l'année. Absence de neige. La réduction des débits et la reprise de l'activité biologique conduisent à une augmentation de la charge minérale dissoute. Avec l'augmentation de la dureté totale - les eaux sont mieux tamponnées - la complexation préférentielle de la matière organique (SHUM) avec le calcium intervient (LOSSAINT, 1959) au détriment du fer qui est alors libéré et, dans les conditions de pH donné, il précipite. D'où la diminution de FEFI et l'inversion de la relation DUTO-FEFI.

4.3 Bas-marais du Plateau molassique suisse.

Cependant, dans de nombreux bas marais du plateau molassique et du Haut-Jura, on observe souvent d'importants dépôts ferrugineux sur la surface du sol, observation qui conduit à l'hypothèse d'une mobilisation biologique du fer.

4.3.1 Fer et trous verticaux de racines mortes.

Bas-marais de Porsel/Oron, alt. 919 m. Substrat de gley réduit, décarbonaté. Faible épaisseur de tourbe.

	Gley		Paroi des trous ¹		Trous ²	
profondeur	Fe tot.%	Fe libre %	Fe tot.%	Fe libre %	Fe tot.%	Fe libre %
55-62 cm	2,80	0,64	3,03	1,08	2,70	0,27
62-70 cm	3,35	0,90	3,33	2,23	2,83	0,54
70-76 cm	3,60	0,99	3,80	2,53	3,50	0,61
76-82 cm	3,73	0,90	4,35	2,38	3,45	ND

Tabl. 1. Mobilisation du fer au voisinage des traces verticales ouvertes d'anciennes racines.

Gley décarbonaté argilo-sableux du marais de Porsel.

1 = Gley un peu oxydé (2-3mm) entourant le trou.

2 = Résidu d'aérenchyme (Phragmites, Carex ...) et gley interne.

Les teneurs en fer augmentent à la proximité des trous de racines ainsi que du sommet vers la base de l'horizon gleyique; elles sont, en revanche, plus faibles dans les trous et sur leur paroi interne.

4.3.2 Fer et plantes vivantes.

Bas-marais de Porsel/Oron.

Espèces	Racines	Tiges ¹	Feuilles
Carex Rostrata ² (ruisseau)	31250	3950	5250
Carex Rostrata ³ (butte)	8600	2950	2360
Carex Juncella (ruisseau)	15600	3100	1015
Menyanthes sp. (ruisseau)	3400	920	755

Tabl. 2. Mobilisation biologique du fer par quelques espèces végétales dans le marais de Porsel (matériel lavé)

Résultats en ppm Fe.

1 = tiges en 0 et + 10 cm.

2 = Carex Rostrata profondément enraciné dans le gley

3 = Carex Rostrata moins profondément enraciné.

La mobilisation du fer est d'autant plus importante que la plante est plus profondément enracinée. Ce résultat est confirmé par l'exemple suivant.

4.3.3 Fer et profondeur d'enracinement.

Bas-marais de Praz Berlan/ Châtel-St-Denis, substrat de gley, décarbonaté, faible épaisseur de tourbe.

Espèces végétales	TOURADON		SOL TOURBEUX		
	partie haute	partie basse	tourbe à gley	gley tourbeux	boues superf.
	% Fe	% Fe	% Fe	% Fe	% Fe
Carex paniculata	6,18	7,78	3,73	2,70	6,88
Carex elata	15,50	21,75	2,43	2,13	16,50

Tabl. 3. Marais de Praz Berlan - Mobilisation biologique du fer (résultats en % Fe de la fraction minérale) dans les touradons de 2 espèces de Carex (matériel non lavé)

Carex paniculata : Gros touradon : enracinement moins profond.

Carex elata : Petit touradon : enracinement profond.

Carex paniculata, s'enracine moins profondément que Carex elata; de plus, il se développe sur une épaisseur de tourbe de 75 cm (contre 45 dans le cas de Carex elata).

5. Conclusions.

1. Dans les haut-marais acides, la matière organique hydrosoluble (SHUM) a un rôle essentiellement solubilisant et le fer est libéré par dissolution du gley sous-jacent (1, fig. 3).

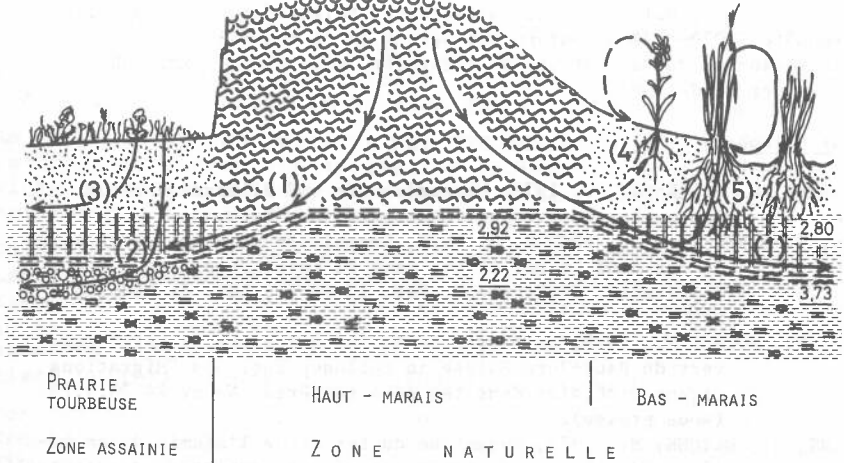


Fig. 3. Schéma des principales voies de la migration du fer dans les milieux tourbeux analysés.

1,2,3 = lessivage - exportation par les eaux d'infiltration

4,5 = remontée biologique par les plantes.

2,92; 2,22 = % Fe total.

= = = front de décarbonatation.

2. A la fonte des neiges, on retrouve cette même situation à la périphérie du haut-marais jusque dans les prairies tourbeuses assainies (2, fig. 3).
3. En marais assainis, hors de la période de fonte des neiges, les eaux sont plus particulièrement influencées par le sol tourbeux superficiel: les précipitations du jour avant (resp. débit du jour) sont corrélées positivement avec NO₃ et K⁺ (3, fig. 3.)
4. Le rapport Fe / Σ cations = 2,25% dans la charge dissoute dans les eaux étant très voisin de celui du gley sous-jacent, on conclut à une dissolution congruente du substrat.
5. Dans les bas-marais naturels, une mobilisation biologique du fer par les plantes existe au côté du processus dissolution-lessivage par les eaux.

6. La remontée du fer est fonction des espèces, mais aussi du développement racinaire et de la profondeur d'enracinement (4,5, fig. 3). Les teneurs en fer observées dans les diverses parties des Carex sont nettement supérieures à celles signalées par les auteurs (MISRA, 1938; BAUMEISTER et al, 1978).
7. La possibilité d'intervention des microorganismes dans le processus de mobilisation du fer n'a pas été abordée.

6. Remerciements.

- Au Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique qui, par la requête 2-020-0.78 a soutenu une partie de ce travail.
- Au personnel du Laboratoire de Pédologie: Mlle Greter; MM. Dubois, Teuscher et Jelmini.

7. Bibliographie.

- BAUMEISTER, W. u. ERNEST, W. 1978, Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- BOUYER, Y. MISEREZ, J.J., POCHON, M. 1978, Inventaire géochimique et bilan du fer dans le sol et les eaux du Karst Jurassien : état, importance, déplacement. Ped. 1, 94 p., Lab. de Pédologie EPFL.
- BOUYER, Y., POCHON M., 1979, La migration du fer à travers le karst couvert du Haut-Jura Suisse in colloque int. des "Migrations organo-minérales dans les sols tempérés" Nancy 24-28.9.79 (sous presse).
- BRUCKERT, S., METCHE, M., 1972, Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu podzolique : caractérisation des complexes organométalliques des horizons spodiques. Bull. de l'ENSAIA de Nancy 14 (2) : 263-275.
- BRUCKERT, S., JACQUIN, F. 1969, Complexation du fer (III) par les fractions organiques d'un extrait naturel de mor.-C.R. Acad. Sci. 269 : 1625-1628.
- LOSSAINT, P., 1959, Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières. Thèse Strasbourg, 107 p.
- MISRA, R.D., 1938, Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the english lakes. The Journal of Ecology, Volume XXVI 1938, p. 411-451.
- STUMM, W., MORGAN, J.J., 1970, Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. - Wiley - Interscience, New York : 583 p.

Eine neue Auswaschmethode zur Gewinnung von Bodenarthropoden

M. Bieri & V. Delucchi

Entomologisches Institut ETH, 8092 Zürich

Es ist heute unbestritten, dass im Zusammenhang von bodenkundlichen Studien, vermehrt auch biologische Faktoren mit einbezogen werden sollten.

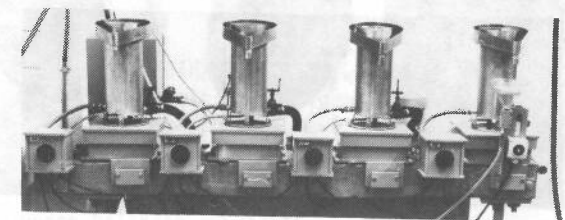
Die Erfassung der Organismen und der mit ihnen verbundenen biologischen Vorgänge im Boden verlangen oft aufwendige Methoden, weil weder eine direkte Beobachtung möglich ist, noch homogene Verhältnisse im Bereich der Mikrofauna vorhanden sind.

Am Entomologischen Institut der ETH Zürich wurden dazu in den vergangenen Jahren ein spezieller Probensammler (-Stecher) entwickelt und ein Extraktions-Apparat gebaut, bei welchem die Arthropoden selbst aktiv aus dem Boden auswandern.

In Ergänzung zu dieser Extraktionsmethode entwickelte man später eine Auswaschanlage, mit der auch inaktive Stadien wie Eier oder Puppen von Insekten erfasst werden können. Die Anlage hat zudem noch den Vorteil, dass die Proben für die Auswaschung tiefgefroren gelagert werden können, womit sie praktisch beliebig lange ohne Veränderungen erhalten bleiben.

Zur Extraktion der Tiere aus dem Boden werden die einzelnen Erdproben in einem zylindrischen Gefäss in Calgonlösung mittels Vibration und durch von unten einströmende Luft aufgeschlossen. Die Erde passiert dabei von oben nach unten zunehmend feinere Siebe. Die aus der Erde ausgewaschenen Tiere steigen, infolge ihres geringen spezifischen Gewichts, an die Oberfläche der Calgonlösung auf. Danach werden sie sorgfältig über den Gefässrand gespült und über eine Manschette auf einen Filter im Aufgängertrichter geleitet, wo sie auf einfache Weise eingesammelt werden können.

Im Vergleich mit anderen, heute gebräuchlichen Standardmethoden konnten mit der hier beschriebenen Methode sehr gute Resultate erreicht werden. Sie erwies sich als leistungsfähiger hinsichtlich Ausbeute, obwohl sie einen geringeren Arbeitsaufwand erfordert (1 Person verarbeitet zwischen 30 und 40 Proben im Tag).



Publikation im Druck in Mitt.d.Schweiz.Entomologischen Ges.

UNTERSUCHUNGEN ZUM AUFTRETEN VON VA-MYKORRHIZEN IN EINIGEN TABAKANBAU- GEBIETEN DER SCHWEIZ

H. Schüepp, D. Millioud, Eidg. Forschungsanstalt, CH-8820 Wädenswil
und

Geneviève Défago, Institut für spezielle Botanik, ETH-Zentrum,
CH-8092 Zürich

1. Einleitung

Bei fast sämtlichen Kultur- und Wildpflanzen finden sich endogene Mykorrhizen, wobei die Vesikulären-Arbuskulären-Mykorrhizen (VA-Mykorrhizen) ein allgemein verbreitetes, sehr hoch spezialisiertes Pilz-Wurzel-System darstellen. Die beteiligten Pilze bilden in der Wurzel unseptiertes, meist dickwandiges Myzel, Vesikeln ("Bläschen") (Abbildung 1). Die Arbuskeln werden in der Folge in der Zelle der Wirtspflanze verdaut. Die Vesikeln entstehen meist endständig, indem sich einzelne Hyphen ausweiten. Sie werden besonders gegen Ende der Vegetationsperiode gebildet und stellen Speicherorgane für Reservestoffe dar.

Die VA-Mykorrhizenpilze sind obligat biotroph. Das aus den befallenen Wurzeln herauswachsende Myzel ist jedoch zu kompetitiv saprophytischer Lebensweise fähig. Dank der grossen meist ausserhalb der Wurzeln gebildeten Chlamydosporen, deren Durchmesser oft über hundert Mikrometer beträgt, können diese Pilze im Boden auch ohne Wirtspflanze überdauern. Die grossen und schweren Sporen sind nicht geeignet zur Verbreitung des Endophyten. Die Uebertragung geschieht fast ausschliesslich, indem befallene Pflanzen oder mit Chlamydosporen durchsetzte Erde auf neue Standorte gelangen. Dies erklärt, warum innerhalb einer Region die Population der Mykorrhizen recht einheitlich und auf einzelne Arten beschränkt ist.



Abbildung 1 Arbuskeln, Vesikeln und Spore von VA-Mykorrhizenpilzen

Die pilzlichen Partner der VA-Mykorrhizen gehören innerhalb der Mucorales zur Familie der Endogonaceen. Die wichtigsten Gattungen sind Acaulospora, Endogone, Gigaspora, Glomus und Sclerocystis. Die taxonomische Zuordnung erfolgt aufgrund von Form und Entstehung der Chlamydosporen.

Den Mykorrhizen kommt grosse Bedeutung bei der Nährstoffaufnahme zu. Besonders in Böden mit niedrigen Phosphatgehalten können die VA-Mykorrhizen das Pflanzenwachstum wesentlich fördern. Der Einfluss der endogenen Mykorrhizen auf die Ökologie und die Pflanzenphysiologie wurde seit rund drei Jahrzehnten erkannt und untersucht. Erst seit wenigen Jahren liegen Hinweise über die Bedeutung der VA-Mykorrhizen auf dem Gebiete der Pflanzenpathologie vor. Es gilt dabei abzuklären, ob Ansatzpunkte bezüglich biologischer Bekämpfungsmassnahmen gefunden werden können.

Nach Schönbeck und Dehne (1979) reduziert die Mykorrhizenbildung Infektion und Befall von Krankheitserregern in den Wurzeln, sie scheint jedoch pathogene Pilze und Viren auf oberirdischen Pflanzenteilen zu begünstigen. Ueber die praktische Bedeutung der antagonistischen Eigenschaften von Mykorrhizen berichten Menge und Mitarbeiter (1978), indem mit VA-Mykorrhizen infizierte Jungpflanzen von Avocado im sterilisierten Pflanzbeet besser gediehen und die nicht problemlose Verpflanzung ins Freiland wesentlich besser überstanden. Bei Baumwolle konnte nach Schönbeck und Dehne (1977) der Erreger der Wurzelbräune, *Thielaviopsis basicola*, zwar Wurzeln mit und ohne Mykorrhizen infizieren, die Pflanzen ohne Mykorrhizen wurden jedoch bedeutend stärker geschädigt. Nach Baltruschat und Schönbeck (1975) besteht eine negative Korrelation zwischen der Bildung von Chlamydosporen von *Thielaviopsis basicola* und derjenigen der Mykorrhizen. Ähnliche Beobachtungen wurden auch bei der Fusariose der Tomate und weiteren Krankheiten anderer Kulturpflanzen gemacht. Die vorliegenden Untersuchungen stehen ebenfalls im Zusammenhang mit der Bedeutung, die den VA-Mykorrhizen möglicherweise als Antagonisten gegenüber pathogenen Pilzen, insbesondere gegenüber *Thielaviopsis basicola*, beim Tabakanbau zukommt.

In Zusammenarbeit mit Dr. R. Corbaz von der SOTA in Changins untersuchten wir Präsenz und Aktivität der VA-Mykorrhizen in drei Tabakanbaugebieten der Schweiz. Einerseits sollten die bei praxisüblichem Tabakanbau durchgeführten Erhebungen zeigen, ob das je nach Feld und Gebiet unterschiedliche Auftreten der Wurzelbräune mit der Entwicklung der Mykorrhizen im Zusammenhang stehen könnte, und andererseits sollten Versuche im Gewächshaus abklären, ob sich eine Beimpfung der Jungpflanzen mit VA-Mykorrhizenpilzen als Massnahme zur biologischen Bekämpfung eignen könnte.

2. Material und Methoden

Die Bodenproben für die Gewächshausversuche wurden Mitte Mai entweder aus Tabakfeldern oder aus Feldern mit vorjährigem Tabakanbau entnommen. Die etwa 8 Liter umfassenden Sammelproben aus 20 der obersten Bodenschicht von 10 cm entnommenen Einzelproben, wurden grob gesiebt und in Portionen von 400 ml in Töpfe abgefüllt. Bei künstlicher Infektion mit *Glomus mosseae* (Stamm EFAW Nr. 3) wurden 20 ml Impferde pro Topf in die unmittelbare Nähe der Wurzeln der jungen Pflanzen gebracht.

Die Extraktion der Mykorrhizensporen aus der Bodenprobe und deren Zählung erfolgte nach einer modifizierten Methode von Mosse und Bowen (1968), einer Kombination von Abdekantieren und Aussieben. Die in der vorliegenden Arbeit angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Sporenfraktion zwischen 100 und 200 Mikrometern.

Die zu untersuchenden Wurzeln von vier Tabakpflanzen pro Feld wurden an denselben Stellen wie die Bodenproben aus der obersten Schicht von 10 cm entnommen. Von jeder Pflanze wurden 10 Wurzelstücke untersucht. Die 1 cm langen Wurzelproben wurden 1 cm hinter der Wurzelspitze entnommen. Sie wurden mit Fuchsin angefärbt und mit Milchsäure aufgehellt. Die Bonitation umfasste sowohl den Prozentsatz befallener Wurzelstücke als auch den nach Befallsklassen gewichteten Befallsindex. Die gute Uebereinstimmung der beiden Bonitationsmethoden zeigt Abbildung 2. Der relativ hohe Korrelationskoeffizient beträgt 0.89, eine mittlere Erhöhung um 10% entspricht einer solchen von 0.3 Indexpunkten.

3. Resultate

Das Infektionspotential der VA-Mykorrhizen in den untersuchten Böden

In allen der 23 untersuchten Bodenproben aus den drei Tabakanbaugebieten La Broye, Frauenfeld und Sempach wurden Sporen von VA-Mykorrhizen gefunden (Tabelle 1). Die Sporendichte in den Bodenproben aus dem Kanton Thurgau war signifikant ($p=0.05$) höher als in denjenigen des Kantons Luzern und der Westschweiz, die sich ihrerseits nicht signifikant unterschieden.

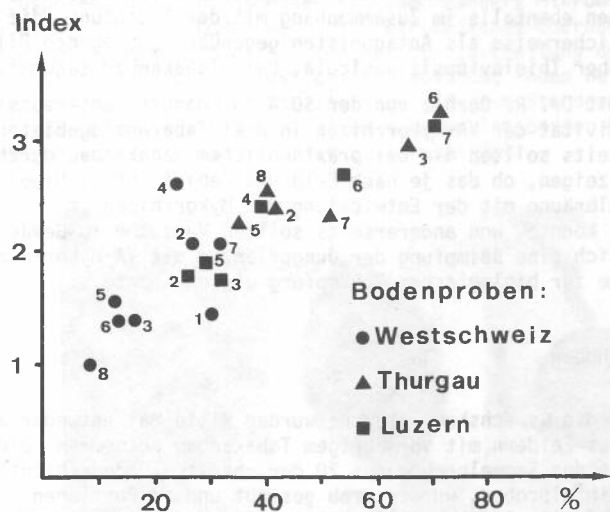


Abbildung 2 Vergleich des Grades der Mykorrhizenbildung nach Befallsprozent und Befallsstärke (Index)

Tabelle 1 Anzahl Chlamydosporen ($>100 \mu$) von VA-Mykorrhizenpilzen pro 20 ml Bodenprobe der verschiedenen Herkunft

Bodenproben	Anzahl Sporen
R1 bis R8	19, 28, 18, 41, 23, 30, 21, 18
T1 bis T8	94, 116, 53, 80, 77, 102, 55, 106
L1 bis L7	36, 46, 49, 20, 25, 35, 28

R: Region La Broye (Waadt und Freiburg)

T: Region Frauenfeld (Thurgau)

L: Region Sempach (Luzern)

Zur weiteren Beurteilung der Präsenz der Mykorrhizenpilze wurden Tabakpflanzen in Bodenproben der verschiedenen Herkunft im Gewächshaus angezogen. Fünf Wochen nach dem Bepflanzen wurden pro Bodenprobe verschiedener Herkunft von je drei Tabakpflanzen aus separaten Töpfen je 20 Wurzelstücke untersucht. Abbildung 3 zeigt, dass zwischen Sporendichte im Freiland und Befallsindex bei Tabak im Gewächshaus eine gewisse Korrelation besteht; insbesondere fällt auf, dass bei den Bodenproben aus dem Kanton Thurgau neben der höheren Sporendichte auch eine stärkere Mykorrhizenbildung beim Topfversuch im Gewächshaus vorliegt.

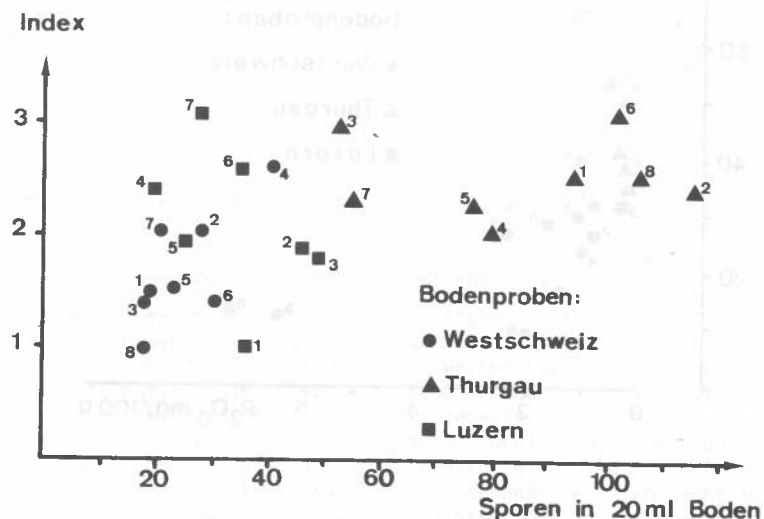


Abbildung 3 Korrelation der Sporendichte in den Bodenproben mit der Befallsstärke der Mykorrhizen (Index) im Topfversuch

Bodeneigenschaften und Mykorrhizenbildung im Gewächshaus

Zwischen Boden-pH und Mykorrhizenbildung im Gewächshaus wurde keine signifikante Korrelation festgestellt. Die pH-Werte in den untersuchten Tabakfeldern schwankten zwischen 5.6 und 7.7. Innerhalb dieses pH-Bereiches war kaum mit einer Beeinflussung der Mykorrhizenbildung zu rechnen.

Abbildung 4 zeigt, dass der Phosphatgehalt einen Einfluss auf die Mykorrhizenbildung bei Tabak haben kann. Es besteht eine gewisse negative Korrelation zwischen den beiden Werten, wobei die Regression jedoch nicht linear verläuft. Es lässt sich jedenfalls zeigen, dass in Bodenproben mit den höchsten Phosphorgehalten die Mykorrhizenbildung gehemmt und in jenen mit sehr niedrigen Phosphorgehalten begünstigt wird.

Die untersuchten Böden zeigten eine mittlere bis gute Humusversorgung. Bezüglich des Gehaltes an organischer Substanz und der Mykorrhizenbildung liessen sich keine Korrelationen aufzeigen. Beim Vergleich der Böden aus dem Kanton Thurgau untereinander zeigte sich in zwei Proben mit höherem Humusgehalt (>10%) eine deutlich geringere Mykorrhizenbildung.

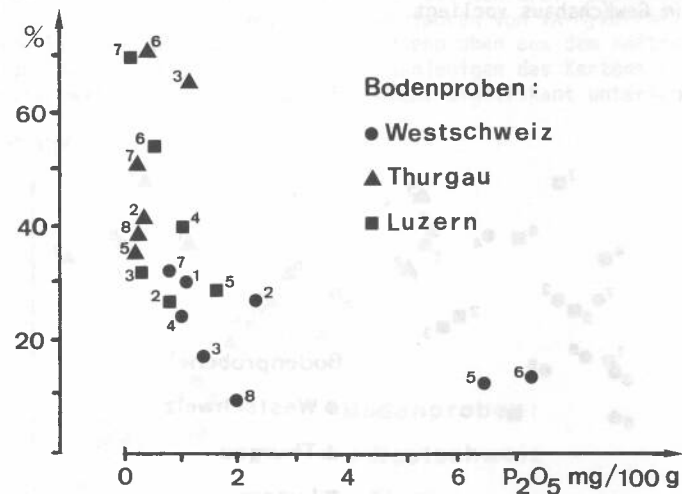


Abbildung 4 Korrelation zwischen Befallsprozent der Mykorrhizen im Topfversuch und Phosphatgehalt der Bodenprobe

Einfluss der Beimpfung der Bodenproben mit Sporen von Glomus mosseae auf die Mykorrhizenbildung im Gewächshaus

In weiteren Versuchen wurden die Bodenproben in Töpfen von einem halben Liter im Gewächshaus beim Bepflanzen mit Tabak mit je 20 ml Impferde einer Kultur von Glomus mosseae beimpft. Die Impferde enthielt pro ml durchschnittlich eine Chlamydospore (>100 µ). Die Impfung hatte eine signifikante Erhöhung (p = 0.05) der Mykorrhizenbildung von 31.5% auf 41.4% zur Folge. In gewissen Bodenproben war der Impferfolg besonders gross, während in anderen keine Zunahme der Mykorrhizenbildung erfolgte. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung des Impferfolges aufgeteilt nach den drei Tabakanbaugebieten. Während die Mykorrhizenbildung in den Bodenproben der Westschweiz durch die Zugabe von Glomus-Sporen nicht signifikant erhöht wurde, bewirkte die Impfung in den Bodenproben aus den Kantonen Luzern und Thurgau eine wesentliche Zunahme der Mykorrhizenpopulationen.

Tabelle 2 Wirkung der Impfung der Bodenproben mit Sporen von Glomus mosseae auf die Mykorrhizenbildung bei Tabak im Gewächshaus aufgeteilt nach den drei Herkunft

Herkunft	Impfung	Anzahl Wurzelstücke mit Mykorrhizen total		Mykorrhizenbildung %
Westschweiz	-	85	427	19.9)
	+	111	426	26.0) ns*
Thurgau	-	179	469	38.2)
	+	228	472	48.3) s*
Luzern	-	149	415	35.9)
	+	204	414	49.3) s*

* s, ns : signifikant oder nicht signifikant für p = 0.05

Bildung von Mykorrhizen bei Tabak im Freiland

Vorversuche im Gewächshaus zeigten, dass sich die Bildung von Mykorrhizen bei den drei verwendeten Tabaksorten nur wenig unterscheidet. Die Sorte SOTA 50 zeigte bei der Bonitation etwa 7 Wochen nach der Pflanzung eine etwas geringere Mykorrhizenbildung als die Sorten SOTA 51 und 62. Die Untersuchungen im Freiland wurden an der jeweils angebauten Tabaksorte durchgeführt. Die Mykorrhizenbildung war mit wenigen Ausnahmen gering oder völlig ausgeblieben. Tabelle 3 zeigt die Mykorrhizenbildung in Prozent bei Tabak im Freiland gegen Ende August. Die Erhebungen konnten nicht in allen Feldern durchgeführt werden, da wegen Fruchtwechsel im Untersuchungs-jahr teilweise andere Kulturen angepflanzt wurden. Bei einer zweiten Bonitation der Tabakpflanzen nach der Ernte hatte die Mykorrhizenbildung kaum wesentlich zugenommen.

Tabelle 3 Mykorrhizenbildung in Prozent bei Tabak im Freiland

Tabakfeld	Mykorrhizenbildung in %
R : 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8	0, 8, 3, 3, 5, 18, 0
T : 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8	8, 5, 3, 0, 27, 30, 8
L : 1, 2, 3, 4, 6, 7	0, 5, 10, 5, 3, 8

4. Diskussion

Die Erhebungen zeigen, dass in allen untersuchten Böden eine hohe Population von VA-Mykorrhizenpilzen vorhanden ist. Bei Tabak wurden im Felde nur in geringem Masse Mykorrhizen gebildet. Bei der Anzucht von Jungpflanzen in der Praxis im Pflanzbeet mit sterilisierter Erde zeigte sich kein Mykorrhizenbefall. Es ist anzunehmen, dass die Mykorrhizenpilze in der kurzen Zeit zwischen dem Auspflanzen der bereits kräftigen, nicht infizierten Tabaksetzlinge und der Ernte das Wurzelsystem nur sporadisch zu besiedeln vermögen.

Die Untersuchungen im Gewächshaus haben gezeigt, dass sich Jungpflanzen in natürlichen oder nicht sterilisierten Böden bei günstigen Temperaturbedingungen leicht mit Mykorrhizenpilzen infizieren lassen. Weitere Versuche sollen abklären, ob sich mit *Glomus mosseae* beimpfte Jungpflanzen mit starker Mykorrhizenbildung nach dem Auspflanzen ins Feld besser entwickeln und weniger anfällig gegenüber *Thielaviopsis basicola* sind.

5. Literatur

- Baltruschat, H. und F. Schönbeck, 1975: Untersuchungen über den Einfluss der endotrophen Mykorrhiza auf den Befall von Tabak mit *Thielaviopsis*. *Phytopath. Z.* 84, 172-188.
- Menge, J.A., R.M. Davis, E.V. Johnson and G.A. Zentmyer, 1978: Mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. *California Agric.* 32, 6-7.
- Mosse, B. and G.D. Bowen, 1968: A key to the recognition of some Endogone spore types. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 51, 469-483.
- Schönbeck, F. and H.W. Dehne, 1977: Damage to mycorrhizal and non-mycorrhizal cotton seedlings by *Thielaviopsis basicola*. *Plant Dis. Reptr.* 61, 266-267.
- Schönbeck, F. and H.W. Dehne, 1979: Untersuchungen zum Einfluss der endotrophen Mykorrhiza auf Pflanzenkrankheiten. 4. Pilzliche Sprossparasiten, *Olpidium brassicae*, TMV. *Z. Pflanzenkr. und Pflanzenschutz* 86, 103-112.

Effets de diverses techniques culturales sur le potentiel de rendement d'un sol

A. Maillard et E.R. Keller, Institut für Pflanzenbau ETH
Universitätstrasse 2, CH-8092 Zürich

Résumé

1. Il est décrit un essai en champ comprenant divers types d'assolement en combinaison avec des variantes de fumure ainsi qu'avec une application systématique d'herbicides rémanents du groupe des dérivés de triazine et d'urée. Le but de cette recherche est d'étudier l'influence à long terme des facteurs cités sur le potentiel de rendement du sol.
2. Mise à part l'analyse des rendements des cultures, certaines propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol, le nombre de mauvaises herbes et la détection d'éventuels résidus herbicides dans le sol sont étudiés.
3. Après 5 années d'essai, l'année 1978 nous permet de tirer un premier bilan entre les différentes techniques culturales. En effet nous trouvons la même culture, à savoir du blé de printemps, sur les 180 parcelles.
4. D'après les résultats de l'analyse de la stabilité des agrégats du sol, nous n'avons détecté aucun changement entre les différents procédés culturaux. En revanche, au niveau des rendements du blé, l'assolement usuel caractérisé par 2 années de prairie artificielle présente une baisse fortement significative ($P=0,001$) par rapport aux 2 autres assolements riche en céréales et riche en maïs. Cette différence s'explique en grande partie par une concurrence très forte exercée par le chiendent (*Agropyron repens*), laquelle graminée s'est multipliée sans contrainte herbicide pendant les 2 années de prairie artificielle.

I. Introduction

L'agriculture dite moderne, intensive et spécialisée répond principalement à des pressions économiques et sociales en majeure partie. Aussi la simplification dans la rotation des cultures, l'absence d'amendements organiques, l'application prononcée de pesticides sont devenues des réalités pour un grand nombre de nos agriculteurs en Suisse. Il s'exerce de part et d'autres des critiques à l'égard de ces pratiques en relation avec une éventuelle

détérioration du potentiel de rendement de nos sols à long terme. Pour décortiquer certaines de ces critiques, nous avons mis en place deux essais en champ dans lesquels nous étudions l'influence de diverses techniques culturales extrêmes sur certaines propriétés du sol et naturellement sur le rendement des cultures.

II. Dispositif expérimental

Après des études préalables pour trouver un terrain homogène, nous avons mis en place dès 1973 deux essais en parallèle. Grâce à la bienveillance et à la collaboration de la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural à Tänikon, TG (436 m d'altitude), ces essais ont pris terrain sur leur domaine agricole. Notre programme de recherche a pour but d'étudier l'influence de 2 groupes distincts d'herbicides rémanents en combinaison avec 2 variantes de fumure et 2 respectivement 3 types d'assolement sur divers paramètres de la fertilité du sol et sur le rendement des cultures (SRZEDNICKI, KELLER et SCHWENDIMANN, 1978), (Tableau 1).

Le choix et le dosage de l'herbicide de chacun des 2 groupes est fonction de la culture. Le dosage normal correspond aux directives prescrites par le détaillant vendeur du produit herbicide. Le dosage double représente 2 fois la quantité du dosage normal. Quant au dosage économe, qui nous sert de référence, l'application d'herbicide est limitée au minimum, c'est-à-dire, soit aucun traitement, soit l'application d'un herbicide de contact ou systémique, soit le dosage normal de l'herbicide résiduaire. Pour ce qui touche à la fumure, la variante minérale reçoit chaque année uniquement des engrais minéraux; dans la variante organique + minérale, l'apport d'engrais se fait d'abord par des amendements organiques tels le fumier de bovins, la paille de céréales, les engrais verts auxquels on ajoute une quantité d'engrais minéraux pour atteindre le même niveau de fumure que dans la variante minérale. La seule précision à apporter au facteur assolement réside dans le choix d'un semis d'automne ou de printemps pour les céréales.

Les deux essais ont été conçus suivant le dispositif d'un split-split-plot avec 6 répétitions. Le sol se range parmi les terres brunes, d'un pH proche de 7.0, d'une teneur en humus dépassant légèrement les 5 %, d'une teneur en

argile et en silt ensemble de plus de 75 %. Chaque parcelle mesure une surface de 84 m².

Suivant le plan des 3 types d'assolement, nous nous trouvons en 1978 au début du deuxième cycle de rotation des cultures. Nous avons du blé de printemps sur toutes les parcelles, ce qui nous permet de tirer un premier bilan au niveau de tous les paramètres étudiés en 1973 (SRZEDNICKI, 1977).

III. Résultats et discussions

1. Effets sur la stabilité des agrégats du sol.

Le tableau 2 résume les résultats de l'analyse de la stabilité des agrégats du sol à 3 dates d'échantillonnage pendant l'année d'observations 1978. La méthode d'analyse est décrite dans Srzednicki 1977. Pour la compréhension des valeurs ci-jointes, il faut remarquer que plus l'indice S est grand, meilleure est la stabilité des agrégats du sol. Comme éléments particulièrement intéressants de ce tableau, on peut retenir les points suivants: au cours de la période de végétation nous mesurons une stabilité des agrégats du sol qui reste pratiquement au même niveau depuis la montaison du blé jusqu'après la récolte. Les 3 types d'assolement ne se distinguent pas les uns des autres. Ainsi à court terme (5 ans), l'introduction de 60 % de céréales ou de maïs dans une rotation de cultures n'influence nullement la stabilité des agrégats sous nos conditions d'essai. En ce qui concerne les variantes de fumure, même si l'analyse statistique nous indique au 1 juin 1978 un indice en faveur des amendements organiques, il faut constater que cette différence ne se reproduit pas dans les 2 autres dates d'échantillonnage où la différence entre les 2 variantes se perd dans la marge d'erreur statistique. (Test-F non significatif). D'autre part cette différence exprimée en valeur relative ne dépasse pas 1 % en moyenne des 3 dates. Avec les mêmes arguments, nous interprétons les résultats des différences entre les 3 dosages d'herbicide.

2. Effets sur le rendement des grains du blé, sur la population des mauvaises herbes et sur le nombre de rejets du chiendent (*Agropyron repens*). Les résultats des rendements de grains du blé de printemps (variété Tano), les relevés du nombre de mauvaises herbes et en particulier ceux du

nombre de rejets du chiendent (*Agropyron repens*) figurent dans le tableau 3.

Entre les facteurs dosage d'herbicide, variante de fumure et type d'assolement, c'est au niveau de ce dernier facteur que nous trouvons les différences les plus grandes ($P=0,001$) pour les analyses citées. Les rendements de blé inférieurs des parcelles de l'assolement usuel par rapport aux assolements céréaliier et riche en maïs s'expliquent principalement par une concurrence plus forte des mauvaises herbes par leur nombre et plus particulièrement par la présence importante du chiendent. Certes les relevés des mauvaises herbes ont été effectués au début de la végétation du blé, mais nous estimons que cette influence n'a pas pu changer radicalement jusqu'à la récolte. La forte multiplication du chiendent est due à l'absence d'application herbicide pendant les 2 années de prairie artificielle précédant la culture de blé en 1978 dans l'assolement usuel. A cette concurrence des mauvaises herbes il faut ajouter une infestation localisée des mêmes parcelles de l'assolement usuel par le piétin-échadage (*Gaeumannomyces graminis*), dont le chiendent est reconnu comme vecteur potentiel de cette maladie fongique. Le niveau de rendement du blé de printemps est très faible. Il était prévu d'ensemencer du blé d'automne pour l'année 1978, mais la récolte tardive du maïs grains dans les parcelles de l'assolement riche en maïs nous a incités à choisir la culture de printemps. A cause des conditions météorologiques non favorables et en relation avec le sol lourd dans nos parcelles d'essai, le semis n'a pu se faire qu'au 30 mars 1978, réduisant de ce fait la période de végétation de la culture du blé.

IV. Conclusion

Sur la base des rendements du blé que nous avons utilisé comme culture-test de l'actuel niveau de fertilité du sol, nous pouvons conclure qu'à court terme l'utilisation exagérée d'herbicides du groupe des triazines, la suppression des amendements organiques, le recours à des assolements déséquilibrés, avec les variantes que nous avons choisies, n'ont pas encore influencé négativement le potentiel de rendement de notre sol lourd.

V. Bibliographie

- SRZEDNICKI, G., 1977: Erhaltung der Ertragsfähigkeit des Bodens auf lange Sicht unter dem Einfluss von Fruchtfolge, Düngung und Herbizideinsatz. I - Charakterisierung des Standortes vor Beginn eines langdauernden Feldversuches und Methodik der Versuchsdurchführung. Dissertation ETH-Zürich, Nr. 5958.
- SRZEDNICKI, G., KELLER E.R. und SCHWENDIMANN, F., 1978: Planung und Anlage eines langdauernden Feldversuches zwecks Abklärung von Veränderungen in der Ertragsfähigkeit eines Bodens unter dem Einfluss von Fruchtfolge, Düngung und Herbizideinsatz. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung Band 17, Heft 1/2, 89-107.

Remerciements

Le projet de recherche ici présenté a été réalisé grâce à l'appui du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique.

TABLEAU 1 CONCEPT DE L'ESSAI SUR LA FERTILITÉ DU SOL À LONG TERME

FACTEUR :		E S S A I 1		E S S A I 2		
• GROUPE D'HERBICIDE		DÉRIVÉS DE PHÉNYLURÉES		DÉRIVÉS DE TRIAZINE		
• DOSAGE D'HERBICIDE		ECONOME NORMAL DOUBLE		ECONOME NORMAL DOUBLE		
• VARIANTE DE FUMURE		ORGANIQUE + MINÉRALE MINÉRALE		ORGANIQUE + MINÉRALE MINÉRALE		
• TYPE D'ASSOLEMENT		USUEL ↓	CÉRÉALIER ↓	USUEL ↓	CÉRÉALIER ↓	MAÏS ↓
ANNÉE	1978	1. BLÉ	BLÉ	BLÉ	BLÉ	BLÉ
	1974	2. POMME DE TERRE	BLÉ	POMME DE TERRE	BLÉ	FÉVEROLE
	1975	3. ORGE + ENSEM.	ORGE	ORGE + ENSEM.	ORGE	MAÏS
	1976	4. PRAIRIE ARTIF.	MAÏS	PRAIRIE ARTIF.	MAÏS	MAÏS
	1977	5. PRAIRIE ARTIF.	FÉVEROLE	PRAIRIE ARTIF.	FÉVEROLE	MAÏS

TABEAU 2 INFLUENCE DES FACTEURS: DOSAGE D'HERBICIDE, VARIANTE DE FUMURE ET TYPE D'ASSOLEMENT SUR LA STABILITÉ DES AGRÉGATS DU SOL.
ESSAI 2 AVEC LES DÉRIVÉS DE TRIAZINE, TĀNIKON, 1978.

FACTEUR :	1 JUIN 1978		27 JUILLET 1978		6 SEPTEMBRE 1978	
	S 1)	%	S 1)	%	S 1)	%
1. DOSAGE : ÉCONOME	307,3	100	308,4	100	311,3	100
D'HERBICIDE : NORMAL	306,2	99,6	304,2	98,6	308,9	99,2
: DOUBLE	306,0	99,5	305,9	99,1	307,9	98,9
TEST-F / PPDS 5 %	N.S.		2,44		2,60	
2. VARIANTE DE : ORG.+MIN.	307,9	100	306,5	100	310,0	100
FUMURE : MINÉRALE	305,1	99,0	305,8	99,7	308,7	99,5
TEST-F / PPDS 5 %	1,93		N.S.		N.S.	
3. TYPE D'AS- : USUEL	307,6	100	307,9	100	311,2	100
SOLEMENT : CÉRÉALIER	306,1	99,5	305,1	99,1	308,7	99,1
: MAÏS	305,8	99,4	305,5	99,2	308,1	99,0
TEST-F / PPDS 5 %	N.S.		N.S.		N.S.	
MOYENNE DE L'ESSAI 2	306,5		306,1		309,4	

PPDS 5 % = PLUS PETITE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE P = 0,05

N.S. = TEST-F DIFFÉRENCE NON SIGNIFICATIVE

1) CET INDICE DE LA STABILITÉ DES AGRÉGATS CORRESPOND À CELUI DE S 300 KORR, LOG. DANS SRZEDNICKI. PLUS L'INDICE EST GRAND, MEILLEURE EST LA STABILITÉ DES AGRÉGATS DU SOL.

TABEAU 3 INFLUENCE DES FACTEURS: DOSAGE D'HERBICIDE, VARIANTE DE FUMURE ET TYPE D'ASSOLEMENT SUR LE RENDEMENT DU BLÉ (TANO), SUR LE NOMBRE DE MAUVAISES HERBES ET SUR LE NOMBRE DE REJETS DU CHIENDENT (AGROPYRON REPENS).
ESSAI 2 AVEC LES DÉRIVÉS DE TRIAZINE, TĀNIKON, 1978.

FACTEUR :	RENDEMENT DE GRAINS DU BLÉ (14 % D'HUM.)		NOMBRE DE MAUVAISES HERBES 1)		NOMBRE DE REJETS DU CHIENDENT 1)	
	KG/ARE	%	N/M ²	%	N/M ²	%
1. DOSAGE : ÉCONOME	32,5	100	166	100	27	100
D'HERBICIDE : NORMAL	33,8	104	70	42	28	103
: DOUBLE	34,0	105	43	25	27	98
TEST-F/PPDS 5 %	1,10		13		N.S.	
2. VARIANTE DE : ORG.+MIN.	32,7	100	92	100	30	100
FUMURE : MINÉRALE	34,2	104	93	101	24	79
TEST-F/PPDS 5 %	1,40		N.S.		3	
3. TYPE D'AS- : USUEL	27,2	100	158	100	78	100
SOLEMENT : CÉRÉALIER	36,5	134	72	45	4	5
: MAÏS	36,6	134	49	30	0	0
TEST-F/PPDS 5 %	2,43		25		13	
MOYENNE DE L'ESSAI 2	33,4		93		28	

PPDS 5 % = PLUS PETITE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE P = 0,05

N.S. = TEST-F DIFFÉRENCE NON SIGNIFICATIVE

1) LES RELEVÉS DES MAUVAISES HERBES ONT EU LIEU ENTRE LE 25-30 MAI 1978

Mikromorphologie und Genese einer Calcrete aus Nordindien

Erwin Frei, Geographisches Institut der Universität Bern

Zusammenfassung - Résumé

Kalziumkarbonat kann unter besonderen Bedingungen als Zement zwischen den Bodenkörnern wirken, so dass ein massiver Horizont im Bodenprofil entsteht, der Calcrete genannt wird. Diese Verhärtung tritt vorwiegend in tropischen und subtropischen Halbwüsten auf. In Nordindien bewirkt sie bedeutende Ausfälle bei landwirtschaftlichen Kulturen. Die mikromorphologische Untersuchung eines Bodenprofils mit einer etwa 40 cm mächtigen Calcrete in 70 cm u.T. lässt die Zweischichtigkeit dieses indischen Bodens erkennen. Die Calcrete ist möglicherweise bereits im Pleistocaen entstanden. Die Alkalianreicherung und die Tonverlagerung sind jüngere Vorgänge.

Micromorphologie et genèse d'un calcrete en Inde du nord.

Le carbonate de calcium peut sous certaines conditions cimenter les particules élémentaires du sol de telle sorte qu'il en résulte un horizon massif dit calcrete. Ce phénomène se développe sur tout dans les régions semi-désertiques tropicales et subtropicales. En Inde du nord il provoque des réductions de la production agricole. L'examen micromorphologique d'un profil de sol contenant à 70 cm de profondeur un calcrete de 40 cm d'épaisseur permet de déceler deux couches différentes dans ce sol indien. Le calcrete est peut-être d'âge pléistocène. L'enrichissement en alkalis et le lessivage d'argile sont plus récents.

Einleitung

Zementierte Bodenhorizonte (Duricrusts nach Goudie 1973) sind namentlich im tropischen und subtropischen Raum und auch in anderen Gebieten der Erde verbreitet. Ausser Kalziumkarbonat wirken auch Kieselsäure, Silikate und Sesquioxide (Flach 1969) als verhärtende Substanzen. Die Verhärtungsschicht bleibt auch im nassen Zustand sehr kohärent. Das Sickerwasser staut sich auf diesen Horizonten und für die Pflanzenwurzeln sind sie undurchdringbar. Aus der Literatur weiss man, dass Kalkverhärtungen im Boden in verschiedenen Erscheinungsformen vorkommen, die auf eine unterschiedliche Entstehungsweise deuten (Archer 1973, Franz 1970, Gile et al. 1966, Scholz 1971 und Stuart 1973). Auch die für Kalkverhärtungen gebäuchlichen Benennungen sind vielfältig (Goudie, 1973, rapportiert 35 Ausdrücke).

Kalkverkrustungen behindern die Bodenbearbeitung und den Pflanzenwuchs, sie verursachen deshalb landwirtschaftliche Problemböden, deren Melioration oft grossen Schwierigkeiten begegnet.

Standort der Untersuchung

Die Entstehung einer Calcrete ist nur im Zusammenhang mit den Standortverhältnissen verständlich. Punjab ist ein Gliedstaat Indiens im weiten Alluvialraum südwestlich des Himalayas. Der untersuchte Boden befindet sich einige Kilometer westlich von Patiala (30°07'N/76°18'E) auf etwa 250 m Meereshöhe. Das Klima ist subtropisch mit langer Trockenzeit vom Oktober bis im Juni. Die gesamte Regenmenge erreicht pro Jahr 600 bis 800 mm. Im Mai und Juni herrschen unerträglich hohe Temperaturen, während sie im Oktober bis Februar sehr angenehm sind. Die leicht gewellte Ebene besteht aus einem Alluvium; Unterschiede in der Körnungszusammensetzung wirken sich stark auf die Bodenbildung aus. Reine Sandböden sind kaum stabilisiert und weisen wüstenartige Verhältnisse auf; Schluffe in Geländedepressionen konzentriert, sind oft salzreich und enthalten Kalkverhärtungszonen. Jedoch ist der sandige Lehm auch sehr verbreitet, er ist leicht zu bewirtschaften und zu bewässern, da in 2 - 5 m u.T. genügend Grundwasser vorliegt.

Das hier beschriebene Bodenprofil wurde in einem Getreideacker gegraben, auf dem fleckenweise die Kultur völlig abgestanden war. Nach der Bewässerung bildeten sich kleine Tümpel mit Salzrändern. Die Ursache für diese ernsthaften Anbauprobleme ist eine Calcrete wie sie nachfolgend beschrieben wird.

Methoden

Alle Bodenuntersuchungen wurden an der Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau im Reckenholz, Zürich, nach den dort geltenden Methoden ausgeführt. Die mikromorphologischen Studien erfolgten an ungestörten Bodenproben.

Ergebnisse

Das Bodenprofil weist eine ausgeprägte Zonierung auf. Die Schicht zwischen 70 und 110 cm u.T. konnte nur mit einem Brecheisen durchstossen werden. Der tiefere Untergrund war wieder weich, aber ziemlich kompakt und mit harten Kalkkonzentrationen durchsetzt. Nachfolgend sind die einzelnen Horizonte beschrieben:

J sa,x mässig harte Oberflächenkruste, weissliche Salzausblühungen,
0 - 4 cm blättrige Struktur, pH 10, EC 11 mmhos, Na 41 mVal/100 g

J sa, Pflugschicht mit schwach bindigem Primitivgefüge, gleichem
5 - 10 cm Salzgehalt wie im J sa,x. Tonmobilisierung; Ton 21 %, Schluff 37 %.

Bcn (k)t Schwach bindiger, aggregierter graubrauner Zwischenhorizont
15 - 70 cm mit Pflanzenwurzeln. pH 10, EC 3 mmhos. Ton 28 %, Schluff 44 %
Tonmobilisierung, Tonkonzentrationen. 9 % CaCO₃, kleinknollige
Kalkkonzentrationen. Zahlreiche Eisenmangan-Knötchen.

Ck, m Massive hellgraue Calcrete mit scharfer oberer Begrenzung.
70 - 110 cm CaCO₃-Gehalt 36 %, sonst ähnliche Gehalte wie im darunter-
liegenden Horizont. Sehr langsam wasserdurchlässig.

Cg(k) Grauer, reduzierter Schluff mit mässig bindigem Primitivge-
110 - 140 cm füge. Ton 20 %, Schluff 78 %, CaCO₃ 21 %, pH 10, EC 3 mmhos.
Karbonat liegt kleinknollig vor. Dicht gelagertes Sediment,
leicht rostfleckig und wenig wasserdurchlässig.

Die Calcrete weist keine extremen Gehaltsunterschiede gegenüber den angrenzenden Bodenhorizonten auf. Dagegen hebt sie sich von ihnen in ihrer physikalischen Konsistenz und im mikromorphologischen Aufbau scharf ab. Auffallend ist die ziemlich hohe Porosität dieser verhärtenden Schicht. Die Poren sind jedoch blasenartig geschlossen, wodurch die Wasserdurchlässigkeit auf ein Minimum sinkt. Miller (1971) hat festgestellt, dass in Schluffböden beim Wechsel der Vernässung und Austrocknung häufig blasige Strukturen entstehen (vesicular Structure). Dies könnte auch die Entstehungsweise dieser Poren erklären. Interessanterweise bildeten sich an den Porenwänden der Calcrete weniger häufig Karbonatkristalle, jedoch verbreitet durchgehende tonige Feinmaterialüberzüge (siehe Abbildung). Der einfiltrierte Natriumton setzte sich während des Austrocknens des Bodens bei allseitig wirkender Wassertension an den Hohlraumwänden ab. Die Mobilität der Tone in den oberen Horizonten lässt sich mikromorphologisch an zahlreichen Tonkonzentrationen und Bleichflecken erkennen und durch den relativ hohen Natriumgehalt bestätigen. Die Verhärtung der Calcrete hat jedoch sicher vor der Auskleidung der Hohlräume mit Ton stattgefunden. Der Kalkzement erscheint im Dünnschliff als extrem feinkörnige, dunkle Masse, welche die Zwischenräume der Schluffteile ausfüllt. Es entsteht dadurch ein ungleichmässig, wolziger Aspekt der Matrix. Wohlgeformte, lichtbrechende Kalzite sind zwar häufig, sie könnten jedoch einer zweiten Entstehungs-
etappe angehören, da sie sich oft in bestehenden Hohlräumen gebildet haben und wahrscheinlich nicht in gleicherweise zementierend wirken wie der feinkörnige Kalk.

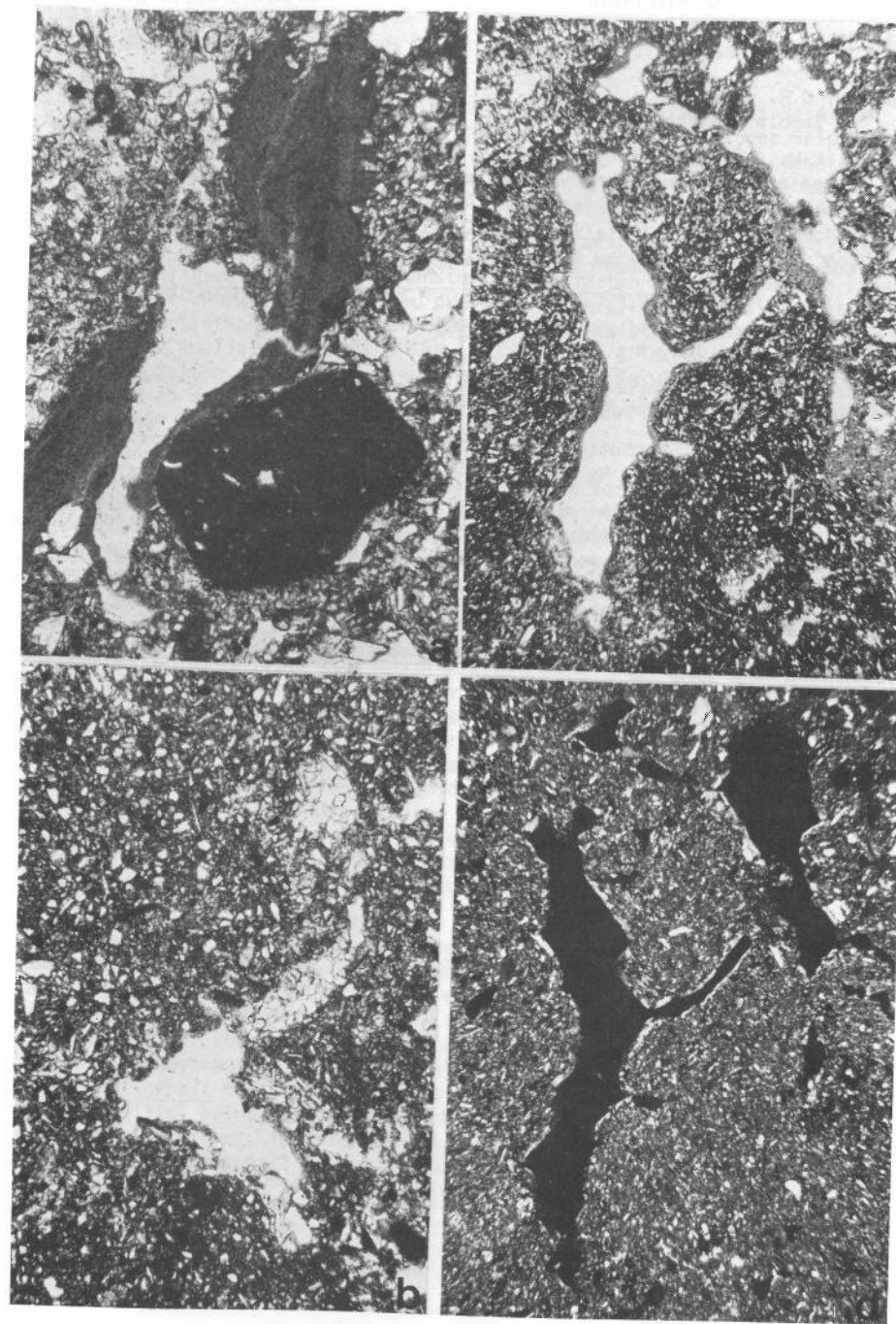
Diskussion

Da die Calcrete im untersuchten Gebiet unter einer lockeren Bodendecke von 70 cm Mächtigkeit liegt, ist eine Zweischichtigkeit dieses Profils wahrscheinlich, besonders da morphologische und mineralogische Gründe dafür sprechen. Die hier beschriebene Calcrete ist wahrscheinlich durch den Einfluss von oberflächennahem Grundwasser oder Tümpelwasser entstanden ähnlich wie Kalkverhärtungen in Zambia (Archer 1973). Die blasigen Hohlräume in der Calcrete und die extrem feinkörnigen Karbonatausscheidungen passen zu dieser Erklärung. Der über der Calcrete liegende Boden wurde erst später alluvial aufgeschüttet. Nun bewirkte die undurchlässige Unterlage und das extreme Verdunstungsklima eine Zunahme der Alkalisalze im Profil. Ein Ueberschuss an Natrium in der Bodenlösung vermag das am Ton adsorbierte Kalzium auszutauschen und die Tone zu dispergieren. Der Natriumton filtrierte während der Regenzeit in die Calcrete und bewirkt die Ueberzüge an den Hohlraumwänden. Das am Ton ausgetauschte Kalzium kann sich in Karbonatkonzentrationen in der Bodenmatrix ausscheiden infolge Erwärmung und Austrocknung. Es kann auch mit dem Wasser in die Bodenporen eindringen und gut kristallisierte Kalzitfüllungen verursachen, wie sie von Sehgal und Stoops (1972) auch beobachtet wurden.

Im beschriebenen Bodenprofil mit einer Calcrete, gehört die Calcrete einer anderen Entwicklungsphase an als die aktuellen Vorgänge der Tonverlagerung der Versalzung und der Bildung von Kalzitkristallfüllungen. Klimaänderungen im Laufe des Pleistozäns und im Uebergang zum Holozän haben diese Chronosequenzen verursacht.

Erläuterung zu den Abbildungen

- a) Lockerboden über der Calcrete, Tonkonzentrationen im Kontakt mit dunkler körniger Kalkausscheidung (120x).
- b) Kompakter, nicht verhärteter Schluff unter der Calcrete. Hohlräume z.T. mit Kalzitkristallen gefüllt (120x).
- c) Calcrete mit blasigen Hohlräumen, Tonauskleidungen. Zementierender Kalk nur als dunkle Wolken in der Matrix erkennbar (60x).
- d) Calcrete wie c) jedoch bei gekreuzten Nicols (60x).



Literatur

- Archer, D.R. und Mäckel, R., 1973. Calcrete deposits on the Lusaka Plateau of Zambia. Catena. Vol. 1, Nr. 1/2, S. 19 - 30.
- Flach, K.W., Nettleton, W.D., Gile, L.H. and Cady, J.G., 1969. Pedocementation: induration by silica, carbonates, and sesquioxides in the quaternary. Soil Science, Vol. 107, No 6, S. 442 - 453.
- Franz, H., 1970. Ein Beitrag zur Entstehung von Kalkkrusten an Hand von Untersuchungen an Böden Südost-Spaniens. Bodenkultur, 21. Bd. Heft 2.
- Gile, L.H., Peterson, F.F. and Grossman, R.B., 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. Soil Science, Vol. 101, Nr. 5.
- Goudie, A., 1973. Duricrusts in Tropical and Subtropical Landscapes. Oxford University Press, Ely House, London.
- Miller, D.E., 1971. Formation of vesicular structure in soil. Proc. Soil Sci. Soc. Am. Vol 35, No 4, S. 635 - 637.
- Scholz, H., 1971. Calcretes and their formation a survey based on observations in South-West-Africa. Pedologie, Vol XXI, No.2, S. 170 - 180.
- Sehgal, J.L. and Stoops, G., 1972. Pedogenic calcite accumulation in arid and semi-arid regions of the Indo-Gangetic alluvial plain of Erstwhile Punjab (India) - their morphology and origin. Geoderma, Vol.8, No 1.
- Stuart, D.M. and Dison, R.M., 1973. Water movement and caliche formation in layered arid and semiarid soils. Proc. Soil. Scie. Soc. Am. Vol. 37, No 2, S. 323 - 324.

BÖDEN UND REZENTE MORPHODYNAMIK IM BEREICH DER SKIPISTEN AM CRAP SOGN GION/LAAX GR

Thomas Mosimann, Geographisches Institut der Universität Basel

1. Einleitung

Seit 1978 untersucht das Geographische Institut der Universität Basel im Rahmen von Projektarbeitswochen den geoökologischen Einfluss der Skipistenerschliessungen am Crap Sogn Gion. Die Arbeit hat sich zum Ziel gesetzt, die Eingriffe und Folgeschäden im Zusammenhang mit den standörtlichen Voraussetzungen möglichst vollständig und im gesamten Pistensystem eines Repräsentativgebietes zu erfassen. Damit sollen kleinflächige Untersuchungsansätze von A. CERNUSCA (Hrsg., 1977) ausgebaut werden, um zu einer möglichst verallgemeinerten und höhenstufenorientierten Aussage über die Eigenschaften der umgewandelten Böden, die Erosionsanfälligkeit und die Entwicklung der Vegetationsdecke zu gelangen. Wichtige Zwischenergebnisse werden dieses Jahr publiziert (TH.MOSIMANN 1980, P.LUDER & TH.MOSIMANN 1980). Die folgenden Seiten umfassen einige zusammenfassende Resultate der Bodenuntersuchungen in der hochmontanen und subalpinen Stufe sowie eine erste Auswertung zur Verbreitung der Erosionsschäden.

2. Das Untersuchungsgebiet "Crap Sogn Gion"

Der bearbeitete Hauptteil des Skigebietes (ohne Vorab und Randanschlüsse) erstreckt sich zwischen 1200-2450 m und umfasst rund 30 km Pisten mit einer Gesamtfläche von etwa 220 ha. Das forciert erschlossene Gebiet weist grosse Planierungsflächen von insgesamt 70 ha (23 ha unterhalb der Waldgrenze) auf. Dies ist einerseits eine Folge der gezielten Erschliessungspolitik, hängt aber andererseits auch mit dem teilweise ungünstigen Gelände zusammen (E- und NE-Hang).

Der Gesteinsuntergrund der Verrucanodecke besteht am Crap Sogn Gion aus einer rasch wechselnden Serie von Serizitschiefern (überwiegend), Plagioklasgneisen und mergeligen Sandsteinen (vereinzelt) sowie geringmächtiger, undurchlässiger Tonschiefer. Die überwiegend weichen, blättrigen Gesteine bilden mächtige Schuttdecken, so dass die Substratverhältnisse durch eine nach oben auskeilende Lockersedimentdecke gekennzeichnet sind. Im feinmaterialreichen Gehängeschutt bildeten sich bis in 1600 m Höhe 50-70 cm mächtige Braunerden. Auf Schutt und in grösserer Höhe dominieren Ranker. Unter Zwergstrauchheide auf mächtigen Schuttdecken kommen vereinzelt podsolige Braunerden vor. Analysen ausgewählter Beispiele befinden sich auf Tab. 1.

3. Die Böden der Pistenplanien

3.1 Typen und Eigenschaften als Folge der Umwandlung

Über 90 % aller Geländekorrekturen wurden als Vollplanierungen mit vollständiger Zerstörung der Humusdecke und meist tiefgreifender Umwandlung der Bodenstruktur ausgeführt. Oberflächliche Störungen sind sehr selten. Zur Veränderung der Bodeneigenschaften lassen sich folgende allgemeine Angaben machen (Auswertungsbasis: 55 Profile):

Der Schuttgehalt des häufigsten Typs liegt bei teilweise variabler Schichtung im Mittel bei 50 %. In Oberflächennähe sind gestörte Profile allgemein grobmaterialreicher, im Gesamtprofil wird jedoch nur an feinmaterialreichen Standorten (Steingehalt 30 %) der Schuttgehalt um etwa 20 % erhöht. Extrem schutthaltige Profile sind auf Planien nicht häufiger als am ungestörten Standort.

Die Zusammensetzung des Feinmaterials ändert sich nur in der Schicht von 0-20 cm. Im allgemeinen wird der Sandanteil um 10-20 % erhöht, wobei die schwach sandigen Gehängelehme die deutlichste Umwandlung zeigen. Vielfach variiert die Feinmaterialzusammensetzung mosaikartig und unsystematisch. Auf einer Planierung im Bereich grusreicher Gehängeschutte aus Quarzporphyr (Durset) wurden auf einer Fläche von 0,6 ha Schutt-Rohböden mit Sandanteilen von 35-70 % gefunden.

Die Bodendichte der Pistenprofile bewegt sich zu gleichen Teilen zwischen mässig dicht bis dicht. Starke Verdichtungen treten im Untergrund einiger stark schutthalter Profile auf. Es wurden keine mit Feldmethodik sicher nachweisbaren Verdichtungen festgestellt. Die gestörten Profile unterscheiden sich also ausschliesslich durch das Fehlen der lockeren Humusdecke vom ungestörten Standort.

Die Umwandlung des Gefüges und der Porosität im Mineralboden ist unbedeutend. In feinmaterialreichen Braunerden werden das Subpolyedergefüge und Gröbstoporensystem zerstört. Die hohe Durchlässigkeit der meisten ungestörten Profile verändert sich durch die Eingriffe nur gering.

Durch die vollständige Umstrukturierung der Profile wird der Humus in den Untergrund verbaggert und ist im Wurzelraum nur noch in geringen Mengen nachweisbar. Der Gehalt an org. Substanz erreicht 0,5-8 % mit einer deutlichen Häufung der Profile mit 2-3 %. Der C-Gehalt der künstlich geschaffenen Böden liegt 4-30 mal tiefer als am ungestörten Standort. Völlig humusfreie Profile sind allerdings selten. Die verbliebene org. Substanz setzt sich vielfach und zum grossen Teil aus verbaggerten Wurzel- und Holzresten zusammen. Nährstoffhaushaltlich günstige Humusstoffkomplexe treten stark zurück.

Fig. 1 stellt eine Typenreihe der künstlichen Böden dar, wie sie sich nach dem Mass der Umwandlung und dem verbliebenen Gehalt an org. Substanz bzw. Nährstoffen aufstellen lässt. Durch die Erfassung des Bodenkennwertes "Feinmaterialgehalt" bei der Gesamtkartierung kann die Häufigkeit der verschiedenen Störungstypen beurteilt werden. Sie zeigt, dass die Schutt-Rohböden und zurücktretend auch die Schutte absolut dominieren.

3.2 Auswirkungen auf wasserhaushaltliche Eigenschaften

Die Pisten unterhalb der Waldgrenze liegen im Bereich durchlässiger und mächtiger Lockersedimentdecken. Die Kappung und Umstrukturierung der Böden verändert hier weder die Durchlässigkeit noch die Wasseraufnahmefähigkeit und die Entfernung der Humusdecke wirkt sich wegen der tiefen Durchwurzelbarkeit nur wenig auf die Standortwasserversorgung aus.

Weit grössere Bedeutung kommt der Entfernung der teils mächtigen (8-20 cm) Moder- und Rohhumusdecken zu einigen Lokalstandorten oberhalb der Waldgrenze zu (bis 2000 m Höhe untersucht). Auf Kuppen und an Oberhängen mit geringmächtigen und feinmaterialarmen Schuttauflagen zeigen Flecken mit sehr spärlicher Vegetation und Welkeschäden ungenügende Wasserversorgung an. Arealmässig dominieren aber auch hier Schutt-Rohböden mit ausreichendem Speichervermögen oder mit Hangwasserzuschuss.

3.3 Auswirkungen auf nährstoffhaushaltliche Eigenschaften

Durch die weitgehende Entfernung und Verbaggierung der Humusdecke wird der Gehalt aller Nährstoffe vermindert, es sind jedoch in erster Linie die Stickstoff- und Phosphorreserven betroffen (s. auch A.CERNUSCA, Hrsg., 1977,

S. 28-29). Die Bodeneingriffe wirken sich insbesondere auf die Kali-Versorgung nicht wirksam aus (s. Kennwerte der Standardanalyse im CO₂-Wasser), weil die Freisetzung durch Verwitterung (Serizite) hohe Kalium-Reserven im Bodenschutt (Ausnahme: Gehängelehm am Ostabhang).

Für die Testflächen der Höhenstufen von 1400-2000 m lässt sich folgendes zusammenfassend feststellen:

- (1) Der Gesamtstickstoffgehalt wird durch die Planierung auf 10-30 % der ursprünglichen Menge reduziert. Im Bereich der Waldgrenze liegen die Verluste höher als in der hochmontanen Stufe (höhere N-Anreicherung im Auflagehumus).
- (2) Beim Phosphatgehalt sind die Mittelwerte der verschiedenen Profilgruppen ausgeglichen, im Einzelfall zeigen sich hier jedoch stärkere Differenzierungen als beim Stickstoff. Phosphat wird auf 3-35 % der ursprünglichen Menge reduziert. Im Bereich der Waldgrenze wurden fast vollständig P-freie Schuttprofile gefunden, während einzelne Ranker-Rohboden dagegen als mässig phosphathaltig klassifiziert werden müssen.
- (3) Kolluvia aus sehr sandhaltigen und grobmaterialreichen Böden oberhalb 1600 m sind im Vergleich zu den entsprechenden Schutt-Rohböden nährstoffhaushaltlich begünstigt.
- (4) Eine Differenzierung nach der Höhenlage ergibt sich nur für die verbliebenen Stickstoffreserven. Die Phosphatgehalte variieren standörtlich stark.
- (5) Aufgrund der festgestellten Phosphatgehalte muss der Düngeerfolg durch Begrünung sehr ungünstig beurteilt werden.
- (6) Die verbliebenen Phosphatreserven befinden sich sehr oft in Oberflächennähe (s. Fig. 1) und sind deshalb durch Abspülung erheblich gefährdet.

4. Das Ausmass der Erosionsschäden im Skipistenbereich

4.1 Erfassungsmethodik und Auswertungsansatz

Mit der Gesamtkartierung des Untersuchungsgebiets wurden neben vielen anderen Faktoren folgende Erosionsprozesse erfasst:

- Tiefenerosion: Stark linienhafter Abtrag mit der Bildung von 20-50 cm tiefen Rinnen. Formen einzeln oder in Gruppen geringer Zahl auftretend.
- Rinnenspülung: Linienhafter, oft auch streifen- oder fächerartiger Abtrag mit der Bildung flachgründiger, meist nicht mehr als 10 cm tiefen Rinnen. In Gruppen, selten einzeln auftretend.
- Flächenspülung: Oberflächliche Verlagerung von Feinmaterial mit der Bildung mosaikartiger Verspülungen und sehr geringmächtiger Feinmaterialauflagen. Fleckenhaft auftretend.

Eine erste Auswertung des Schadeninventars erfasst die Tiefenerosion und Rinnenspülung nach Höhenstufen geordnet. Es wurden alle Erosionsansätze ausgezählt - als Ansatz gilt eine Wasseraustrittsstelle oder eine Kleinform mit der Bildung einer oder mehrerer Rinnen - und die Prozesse nach der Art des Wasserabflusses geordnet. Hangwasserabfluss ist stetig und während der ganzen Aperperiode aktiv; Schmelzwasserrinnen sind im Spätsommer inaktiv.

4.2 Die Verteilung der Schäden - Ursachen und Bedeutung

Fig. 2 zeigt die Zusammenhänge der einfachen statistischen Auswertung. Folgende Feststellungen sind wichtig:

- (1) Hangwasser- (HW) und Schmelzwasserschäden (SW) verteilen sich absolut

sehr unterschiedlich auf die verschiedenen Höhenstufen. Die HW-Schäden bilden zwei Maxima im Bereich der Quellhorizonte. SW-Schäden häufen sich oberhalb 2000 m. (50 % der Planierungsfläche befinden sich oberhalb 2000 m).

- (2) Tiefenerosion ist gesamthaft häufiger als Rinnenspülung. Erosionsansätze im Quellbereich unterhalb der Waldgrenze entwickeln sich fast immer zu tiefen Rinnen. Rinnenspülung wird in 60% aller Fälle durch Schmelzwasser verursacht.
- (3) Die Dichte der SW-Schäden steigt mit zunehmender Höhe stetig an. Bei 2200 m kann eine sprunghafte Zunahme festgestellt werden.
- (4) Die Dichte der HW-Schäden ist im Bereich der Quellen und Feuchthänge der tieferen Lagen konstant. Die verallgemeinerte Aussage muss aber unterhalb 1600 m vorsichtig interpretiert werden, weil die Flächenanteile der Planierungen geringer sind und die Schäden an einzelnen Standorten gehäuft auftreten.

Die Quellhorizonte zeigen das Auskeilen geringmächtiger, undurchlässiger Tonschieferlagen an. Die Eingriffe ins Boden-Vegetations-Gefüge führen hier zu einer tiefgreifenden und flächenhaft gehäuft Umlagerung von Bodenmaterial in Verbindung mit Rutschungen und Sackungen sowie einem Ausgreifen der morphodynamischen Prozesse auf die Nachbarflächen. Hangnässe ist unterhalb der Waldgrenze der entscheidende Labilitätsfaktor.

Als Ursachen für die höhenabhängige Zunahme der Schmelzwasserschäden kommen mehrere Faktoren in Frage: zunehmende Schneemenge, Ausdehnung der Abschmelzperiode und hohe Abschmelzraten im Sommer, fehlender Bodenschutz durch Vegetation (geringer Begrünungserfolg oberhalb 2000 m, s. P.LUDER & TH.MOSIMANN 1980) und erhöhter Oberflächenabfluss. Nach den vergleichenden Beobachtungen aus der Gesamtkartierung wirkt in erster Linie der Oberflächenabfluss differenzierend. Planierungsflächen in der alpinen Stufe ausserhalb der Quellbereiche sind nämlich stabil und weisen auch bei Neigungen bis 25° keine Erosionsspuren auf, sofern der durchlässige Schuttuntergrund ausreichende Mächtigkeit erreicht (mind. 2 m). Damit zeigt sich, dass die Wasseraufnahmefähigkeit des Untergrundes einen entscheidenden Faktor darstellt, was durch die Angabe der Substratmächtigkeit in Fig. 2 auch verdeutlicht wird. Die Lockersedimentdecke (Gehängeschutt und Lokalmoräne) streicht im Bereich des Grats Crap Sogn Gion - Crap Masegn zusehends aus. Die flachgründigen Felsränder über Quarzporphyren und Gneisen weisen wegen des geringen Wasseraufnahmevermögens hohe Abflussraten an der Oberfläche und im oberflächennahen Bereich auf.

Literatur

CERNUSCA, A. (Hrsg.): Ökologische Veränderungen durch das Anlegen von Skiabfahrten an Waldhängen. = Beitr. z. Umweltgestaltung, A 62 Teil 1, Berlin 1977, 101 S.

LUDER, P. & TH.MOSIMANN: Landschaftsökologischer Einfluss von Anlagen für den Massenskiport. I. Gesamtaufnahme des Pistenzustandes (Relief, Boden, Vegetation, rezente Morphodynamik) im Skigebiet Crap Sogn Gion/Laax GR. = Materialien zur Physiogeographie, H. 1, Basel 1980, (im Druck)

MOSIMANN, TH.: Eine Legende für die ökologische Standorts- und Schadenkartierung im Bereich von Skipisten. In: Natur u. Landschaft, 55(1980), (im Druck)

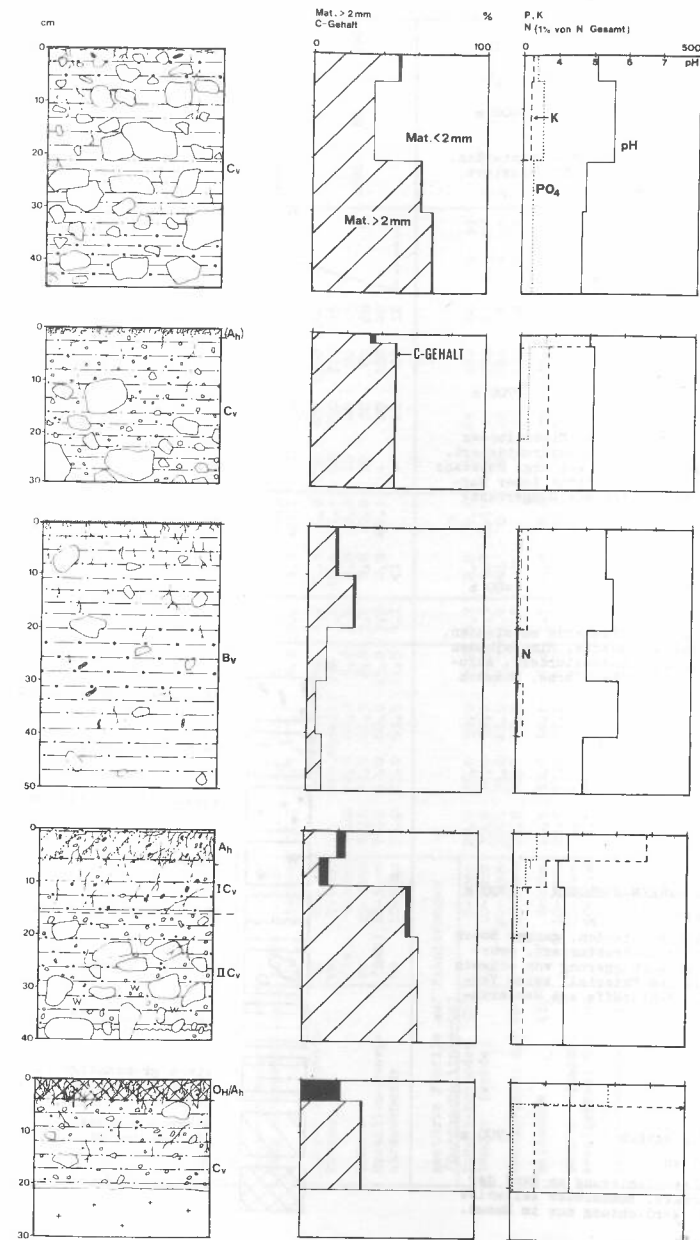


Fig. 1: Typen gestörter Böden auf Pistenplanierungen

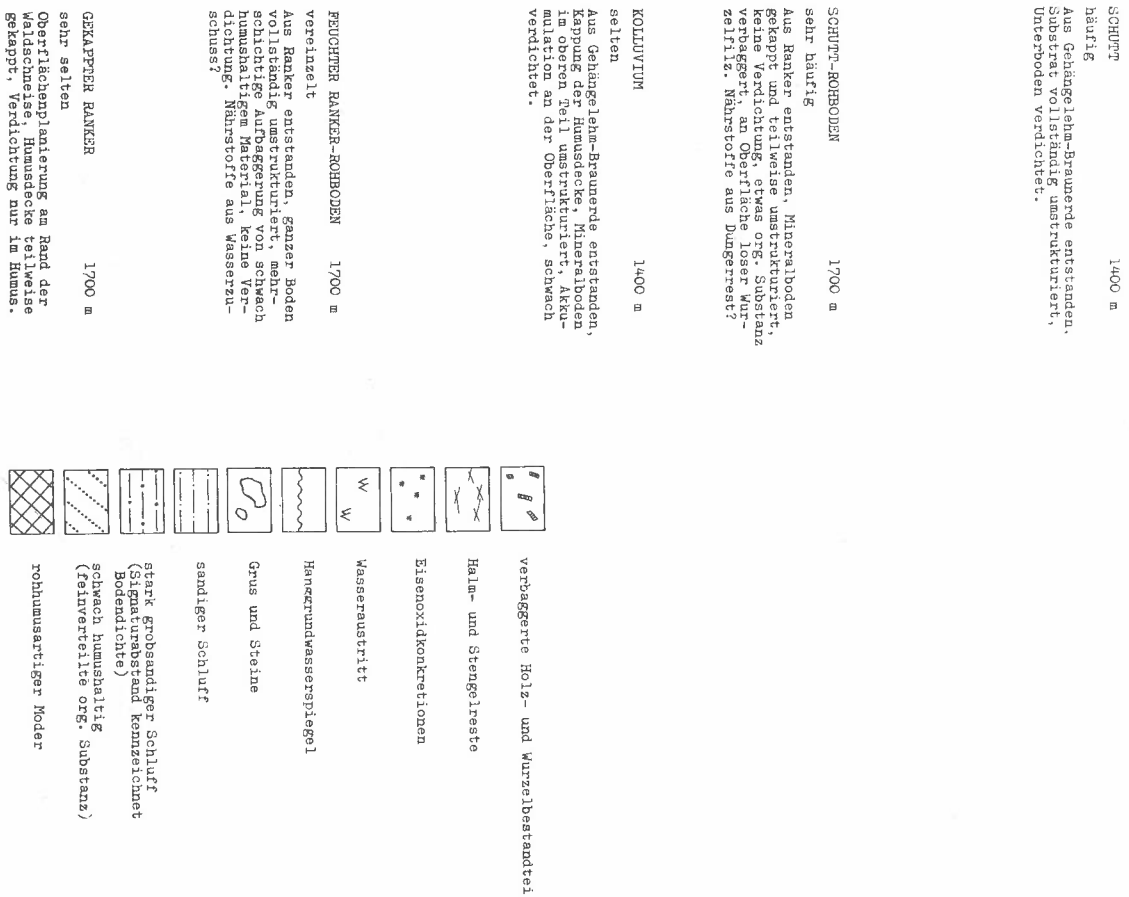


Fig. 1: (Fortsetzung)

Tabelle 1: Analysen ungestörter und gestörter Bodenprofile

Bodentyp			Korngrößen					pH	org. Sub- stanz %		Austauschnährstoffe				ppm CO ₂ - Wasser		Nährstoffreservoir (Hochrechnung) in g/m ² /30 cm		
			Feinmaterial								Ammonium-lactat- Essigsäure								
			Anteil Mat. 2mm	2-0,06mm	0,06mm 1 mm	0,002 mm	>0,002mm	C	N	PO ₄	K	Ca	Mg	PO ₄	K	N	P	K	
ungestörte Profile (ausgewählte Leitprofile)																			
Gehängelehm-Braunerde 1400 m (Weide)	OF	0-2 cm		Min. Anteil:	50%	5,3	28,0	0,96	145	1250	1500	520			5900	130	970		
	Ah	2-10cm	0,7	16,0	73,5	10,5	4,5	6,0	0,15	100	470	120						70	
	Bv	10-20cm	3,6	28,0	70,3	1,7	5,2	2,3	0,1	+	110	20						10	
	Bv	20-30cm	18,0	37,5	58,0	4,5	4,5	<1		+	100	480						50	
	Bv/Cv	30-50cm	24,0	52,0	47,0	1,0	4,9	<1		4	100	400						35	
Moderranker 1500 m (Wald)	OF/OH	1-7 cm		Min. Anteil:	54%	4,2	26,0	0,6	105	235	2200	185			4600	80	250		
	Ah	7-9 cm	1,0	24,0	70,5	5,5	4,6	12,0	0,25	30	90	1250						90	
	Cv	9-18cm	16,0	32,0	61,0	7,0	4,4	2,0	<0,1	+	50	80						30	
Rohhumus/Moderranker 2000 m (alpiner Rasen)	OH	2-10cm		Min. Anteil:	0,5%	3,8	56,0	1,1	100	530	800	130			9200	70	270		
	Ah/Cv	10-15cm	7,0	31,5	62,5	6,0	3,8	4,3	0,1	25	25	40						15	
	Cv	15-30cm	19,0	18,5	77,5	4,0	3,8	1,7	<0,1	7	10	0						7	
Schutt-Braunerde- Podsol 1900 m Myrtillus-Zwerg- strauchheide	OF	0-2 cm		Min. Anteil:	34%	4,2	37,0	0,9	150	485	2300	190			9100	65	290		
	OH	2-9 cm		Min. Anteil:	18%	3,8	46,0	1,4	90	450	770	145							
	(Ae)	9-15cm	83,0	29,0	66,0	5,0	3,8	2,0	0,2	10	60	80						15	
	Bh	15-18cm	42,0	25,5	66,5	8,0	3,8	8,8	0,2	10	30	80						20	
	(Bsh)	18-30cm	74,0	17,0	68,0	15,0	3,9	2,0	<0,1	+	20	180						40	
Cv	30-50cm	76,0	25,0	63,5	11,5	4,1	<1		+	20	20	12							
gestörte Profile auf Planierungen (Durchschnittswerte)																			
Schutt-Rohboden (6) 1400 m (Weide)	Cv	0-10cm	29,0	35,0	59,0	6,0	4,7	2,2	0,1	7	65	280	30	2,5	30	1900	12	85-110	
		10-20cm	39,0	36,0	59,0	5,0	5,3	1,7	0,15	3	30	200	13	1,5	27				
		20-30cm	39,0	35,0	61,5	3,5	5,4	<1	0	4	20	250	14	1,5	23				
		30-40cm	34,0	42,0	56,0	2,0	5,3	0		+	30	120	12	1,5	22				
Arealgröße: 0,8 ha Kolluvium (1) 1400 m (Weide)	Bv	0-10cm	15,5	33,0	60,0	7,0	5,5	2,0	0,1	3	30	360	40	2,5	18	3500	8	70	
		10-20cm	24,0	37,0	57,0	6,0	5,8	1,8	0,1	3	30	400	10	1,5	3				
		20-30cm	10,5	43,0	52,0	5,0	5,0	<1	<0,1	+	0	240	10	1,5	7				
		30-40cm	4,5	35,0	62,5	2,5	6,0	<1	0	9	20	880	50	1,5	3				
Schutt-Rohboden (15) 1700 m (Waldschneise) Arealgröße: 0,5 ha	Cv	0-5 cm	40,0	55,0	42,0	3,0	6,5	2,0	0,07	18	100	1000	40	2,5	30	1000-1200	4-28	120-200	
		5-10cm	70,0	30,0	68,0	2,0	5,9	1,3	0,1	7	30	160	6	1,5	3				
		10-20cm	45,0	30,0	67,0	3,0	5,0	<1	0,03	4	50	850	20	1,5	4				
		20-30cm					5,0	<1	0										
Kolluvium (4) 1700 m (Waldschneise) Arealgröße: je 0,01ha	Cv	0-5 cm	26,0	61,0	39,0	0	5,8	1,5	0,2	8	120	830	30	1,5	45	3000	35	160	
		5-10cm	19,0	56,0	44,0	0	6,7	<1	0,15	48	45	760	15	1,5	6				
		10-20cm	20,5	48,0	50,0	2,0	6,2	1,0	<0,1	2	30	270	10	1	15				
		20-30cm	24,0	46,0	50,5	3,5	5,1	0	0	3	35	200	10	1	3				

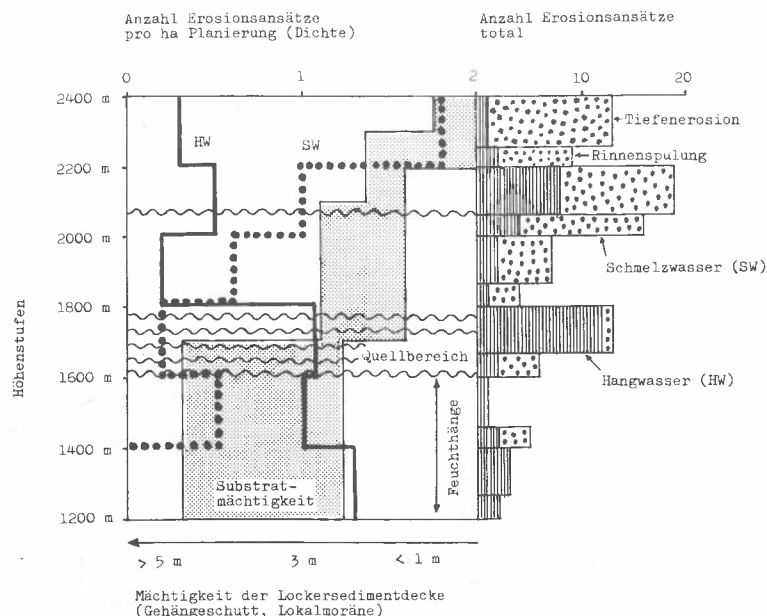


Fig. 2: Verteilung der Tiefenerosion und Rinnenspülung im Skigebiet

Erste Erfahrungen mit Tieflockerung

Chr. Salm c/o Meliorationsamt des Kantons Aargau

Zusammenfassung

Die Tieflockerung wurde, vor allem in der BRD, zu einem praxisreifen Meliorationsverfahren für Böden mit gehemmter Sickerung entwickelt. Mit der DIN 1185 steht für den projektierenden Kulturingenieur eine gute Arbeitsgrundlage zur Verfügung. Seit 1969 befasst sich das Aargauische Meliorationsamt intensiv mit der Anwendung der Tieflockerung, besonders in künstlich verdichteten Böden, verursacht durch die grossen tiefbaulichen Eingriffe wie Autobahnbau, Gasleitungsbau, Kies- und Kalkabbau.

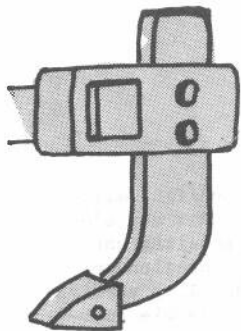
Erste Erfahrungen zeigen, dass bei den hohen hier vorkommenden Niederschlagsmengen die Tieflockerung nur sehr kurze Zeit im Laufe eines Jahres bei tief abgetrocknetem Boden eingesetzt werden kann. Dennoch rechtfertigen sich die relativ hohen Einsatzkosten. Mit Vorsicht werden heute bereits auch Böden mit natürlicher, d.h. geologisch-genetisch bedingter Verdichtung, tiefgelockert. Der Einsatz bleibt vorläufig aber auf Versuchsflächen beschränkt. Er wird vom Institut für Kulturtechnik der ETH Zürich wissenschaftlich begleitet. Besonders interessiert uns die Wirkung der Tieflockerung auf die Anbaubereitschaft ackerbaulich eher problematischer Böden, die Lebensdauer dieses Eingriffes, d.h. des damit erzielten besseren Wasser- und Lufthaushaltes, und somit auch die Gesamtwirtschaftlichkeit der Tieflockerung als meliorative Bodenbearbeitungsmassnahme unter meist suboptimalen Einsatzbedingungen.

Das IFK wird anlässlich einer nächsten Tagung über die Ergebnisse der Versuche orientieren.

Entwicklung des Verfahrens

Vor 30 Jahren begann H. Schulte-Karring systematisch nach Möglichkeiten zu suchen, dichtgelagerte Böden auf mechanischem Wege zu verbessern (1). Damit begann auch der Bau von Geräten, die eine Tieflockerung im meliorativen Sinne erlauben sollten. Es musste möglich sein, die Verdichtung eines Bodens soweit zu unterfahren, dass ein genügend grosser stauwasserfreier Wurzelraum hergestellt werden konnte. Obschon die offizielle Definition unter Tieflockerung das Auflockern einer mind. 40 cm mächtigen Erdschicht versteht (2), ist deshalb eine Arbeitstiefe von 80 cm und mehr wünschenswert. Jahrelange Entwicklungsarbeit war nötig, um zu den heute vorgestellten leistungsfähigen Tieflockerungsgeräten zu kommen. Nachstehend sind einige der bekanntesten Entwicklungen kurz vorgestellt.

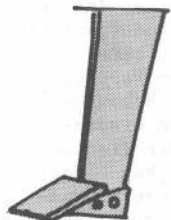
Technisch darf man die Tieflockerung soweit als ausgereift bezeichnen, wobei gegenwärtig grosse Anstrengungen unternommen werden, den gewaltigen Verschleiss der Arbeitswerkzeuge durch verbessertes Material weiter zu reduzieren und das Verfahren auszubauen, d.h. z.B. mit Tiefendüngung, Meliorationskalkung oder der Direktsaat zu kombinieren.



Aufreisser

Starre Werkzeuge mit flachem Meissel und rundem Schar weisen einen kleineren Zugwiderstand auf als steile Werkzeuge. Nachteilig ist, dass diese Scharformen grosse Steine und Kluten aus tieferen Schichten an die Oberfläche bringen.

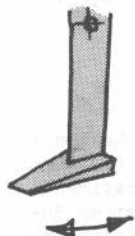
1 - 6 Schar-Modelle mit 40 - 85 cm Arbeitstiefe vorwiegend an Baumaschinen verwendet.



Petzenkirchener-Pflug

Aehnlich dem bekannten Maulwurfspflug mit vergrößerter Scharplatte.

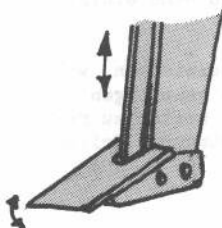
Die Sprengwirkung ist, nebst der Bodenfeuchte, abhängig von der Plattengrösse und dem Anstellwinkel (optimal 25 - 30° zur Sohle).



Hubschwenklockerer

Verkleinerter Petzenkirchener-Schar (Eindringtiefe max. 60 cm) in Fahrtrichtung über Exzenter in Pendelbewegung versetzt.

Verlangt grosse Antriebsleistung bei bescheidenem Zugkraftbedarf (Verh. 80 : 20). 2 - 4 scharige Modelle. Geeignet für Anbau an Radtraktoren.



Wippscharlockerer

Weiterentwicklung mit vergrößerter und beweglicher Scharplatte. Antrieb über Zapfwelle - Exzenter - Hubstange.

Eindringtiefe ca 80 cm. Grosser Zugkraftbedarf (Verh. 20 : 80). Im Kanton Aargau 1969 - 76 im Einsatz.

1 und 2 scharige Modelle.

Einsatz der TL im Kanton Aargau

Seit 1969 befasst sich unsere Amtsstelle, damals noch unter Leitung von Dr. U. Flury, mit dem Problem der gestörten Böden intensiv. Missernten auf den von Baumaschinen befahrenen Flächen und Terrainveränderungen machten die negativen Auswirkungen des Tiefbaubooms sichtbar.

Diese Flächen lagen zum grossen Teil innerhalb nationalstrassenbedingten Teilregulierungen, und mit deren Umlegung entstanden zwangsläufig Schwierigkeiten.

Wo die Zuteilung bereits erfolgt war, musste die nicht eingetretene Bodenverbesserung herbeigeführt werden. Man war sich darüber im Klaren, dass sich die Tieflockerung in unseren Verhältnissen nur beschränkt anwenden liess, aber auch darüber, dass mit baulichen Massnahmen wie Drainage staunasse Böden nicht verbessert werden können. Als Alternative bot sich die Möglichkeit des geldmässigen Wertausgleiches oder der jährlichen Ausfallentschädigungen.

Als erstes versuchte man, mittels gezielter Information und geeigneter Auflagen Unternehmer und Bauleitung auf die Probleme aufmerksam zu machen und weitere Schäden, notfalls durch geeignete Massnahmen wie z.B. Bewilligungsauflagen, zu vermeiden (Merkblatt).

Als zweites ging man mit dem Einsatz eines 1969 gekauften, 1-scharigen Gerätes daran, die geschädigten Flächen sukzessive mit Tieflockerung zu behandeln, bei Aufschüttungen und Deponien nach einer Setzungszeit von 3 - 5 Jahren.

Erste Einsätze im Raum Köllikon, wo, wie in weiteren Teilen des aargauischen Mittellandes, fruchtbare Lehm Böden unterschiedlicher Mächtigkeit auf durchlässigen Schottern liegen, brachten sofortigen Erfolg. Jahrelang zeichneten sich die Installationsplätze und Baupisten durch Missernten ab, den starken und tiefgehenden mechanischen Verdichtungen durch Baumaschinen war mit landwirtschaftlichen Geräten wie Tiefgrubber, Chisel etc nicht beizukommen.

Bereits 1 Jahr nach dem Einsatz des Tieflockerers waren wieder normale Bewirtschaftungsbedingungen anzutreffen, die Erträge liessen sich mit den Nachbarparzellen durchaus vergleichen.

Aehnlich war der Erfolg auch beim Lockern der Baupisten im Gasleitungsbau. Schwierigkeiten ergaben sich durchwegs in Böden mit gehemmter Sickerung unterhalb der gelockerten Zone. Auch bei der Reaktivierung zu tief verlegter alter Entwässerungen blieb der Erfolg zuweilen aus. Eine differenzierte Beurteilung drängte sich auf. Zusammen mit dem sehr wichtigen Abschnitt der Nachbehandlung gelockerter Flächen versuchten wir, die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen in einem weiteren Merkblatt für die Praxis zusammenzufassen.

In der Güterregulierung Eiken wurde die Tieflockerung erstmals voll in Einsatz genommen. In Kombination mit der herkömmlichen Entwässerung konnten

massive Kosteneinsparungen realisiert werden. Leider richtet sich das Ingenieurhonorar nach der Bausumme und nicht nach den Einsparungen, so dass die Tieflockerung, welche intensive Vorabklärungen verlangt, bei den technischen Leitern verständlicherweise nicht allzugrosse Sympathie erweckt.

Die Bewertung des Meliorationseffektes der Tieflockerung stösst ebenfalls auf Schwierigkeiten. Während für zu entwässernde Flächen die Aufbonitierung nach gängiger Praxis (3), auch bei unterschiedlichem Erfolg, erstaunlich wenig Kritik auslöst, ist man sich unter Praktikern über die Tieflockerung des öfteren uneinig. Dieses Misstrauen muss durch besonders sorgfältiges Arbeiten abgebaut werden.

In Zusammenarbeit mit der ETH, Institut für Kulturtechnik, wird versucht, die Tieflockerung nebst der Rekultivierung geschädigter Böden (4) auch für die Verbesserung von Böden entstellungsgeschichtlich bedingt gehemmter Sikkierung beizuziehen. Im Rahmen des Reusstal Forschungsprogrammes wird unter anderem die Wirkung der Tieflockerung vom IFK untersucht. Die Erläuterung der Resultate wird Gegenstand eines nächsten Vortrages sein.

Zusammenfassend sind die Einsatzmöglichkeiten unter unseren Verhältnissen wie folgt umschrieben:

- Bodenfeuchte:** Grösstes Hindernis für den Einsatz und die Einsatzplanung. Selten und nur über kurze Zeit ist der Boden bis auf Arbeitstiefe genügend abgetrocknet.
- Mittels Bohrer wird eine Probe entnommen und zwischen den Handflächen ausgerollt. Der Wassergehalt des Bodens sollte für den erfolgreichen Einsatz des TL kleiner als derjenige bei der Ausrollgrenze sein (5).
- Tongehalt:** Ein minimaler Tongehalt von ca 17 % ist für eine erfolgreiche Lockerung erforderlich. Mit höherem Tongehalt nimmt auch die Lebensdauer der Lockerung zu, vorausgesetzt, dass in ideal trockenem Boden gearbeitet werden kann. Sand-, Schluff- und Torfböden sind mit Tieflockerung nicht verbesserbar.
- Wasserabfluss:** Es ist wichtig, dass das durch die grossen Hohlräume rasch einsickernde Wasser ungehindert abfliessen kann. Gerade in tonigen Böden wird einstauendes Wasser von der Oberfläche der Aggregate kapillar aufgenommen, was zu stärkerer Vernässung und noch grösserer Verdichtungsanfälligkeit des eben gelockerten Bodens führt. Der Einbau einer Vorflut in Form eines weitmaschigen Entwässerungssystems muss immer vor der Tieflockerung erfolgen.
- Erosion:** Durch die raschere Wasserbewegung wird die Gefahr der Verlagerung von Feinerde vergrössert. Dies führt zur Verarmung des Oberbodens und gleichzeitig zur Verschlämzung der Lockerungssohle. Es ist deshalb von grösster Wichtigkeit, dass gelockerte Flächen sofort bestellt werden und eine rasche Durchwurzelung diese Schäden verhindert. Aus diesem Grunde wird auch auf die Lockerung im Spätherbst/Winter vollständig verzichtet.

Lockerungsrichtung und Gefälle: Unterhalb 3 % ist der Abfluss in der Sohle behindert, d.h. es muss ein entsprechend engeres Vorflutnetz angelegt werden. Oberhalb 5 % ist die Gefahr der Erosion gegeben, d.h. die Lockerungsrichtung muss im Gelände entsprechend angepasst werden. Es ist auch Rücksicht auf bestehende Entwässerungssysteme zu nehmen, d.h. Sauger sind möglichst rechtwinklig zu überfahren.

Fruchtwechsel: Unter allen Umständen muss der Fruchtwechsel und insbesondere die Folgefrucht der Tieflockerung angepasst werden. Beste Erfahrungen brachte bisher die anschliessende Saat einer Kunstwiese. Ungeeignet als Nachfrucht sind z.B. besonders Silomais und Zuckerrüben.

Nachteile: Lange Bracheperiode durch späte Saat und nur teilweise Bodenbedeckung und -durchwurzelung. Schwerlastige Ernteverfahren in der nassen Jahreszeit mit Gefahr der Wiederverdichtung.

Ebenso ist zu beachten, dass gewisse Kulturen empfindlich auf ein nicht gesetztes Saatbeet reagieren. In diesem Sinne hat sich die Frässaat gut bewährt.

Meliorationskalkung: Sie wurde bisher noch nicht eingesetzt, ist aber für die Verbesserung saurer Böden vorgesehen. Die Verteilung des Kalkes erfolgt dabei separat vorgängig der TL. Ein Tiefenkalkungszusatz ist in Entwicklung.

Tiefendüngung: Die Tiefendüngung besonders mit N in Form von Kalkstickstoff würde die rasche und tiefe Durchwurzelung und die Stabilisierung des durch die Tieflockerung mobilisierten Bodens erleichtern. Problematisch ist die gleichmässige Feinverteilung. Wenn diese nicht erreicht wird, besteht die Gefahr einer massiven Auswaschung. Die Feinverteilung ist auch nur soweit möglich, als der Boden durch die Lockerung genügend zerkleinert ansteht.

Ausblick

Die Tieflockerung als Meliorationsmassnahme schliesst eine wichtige Lücke im Angebot der Möglichkeiten, Böden nachhaltig zu verbessern und fruchtbar zu erhalten. Die erwähnten Einsatzgebiete werden leider laufend vergrössert durch die von der stark mechanisierten Landwirtschaft geschaffenen Bodenverdichtungen in Tiefen, die mit landwirtschaftlichen Geräten nicht mehr behandelt werden können. Sie kann aber keinesfalls zur Lösung dieses Problems beitragen. Wir müssen bei allem Optimismus erkennen, dass die Tieflockerung ein roher Eingriff bedeutet, dessen Wirkung wir unter suboptimalen Einsatzverhältnissen über längere Zeiträume ergründen müssen.

Literatur

- (1) H. Schulte-Karring, Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler
 - (2) DIN 1185 Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung, rohrlose Dränung und Unterbodenmelioration
Deutscher Normenausschuss 1973
 - (3) Bonitierungsanleitung / Grundsätze für die Bewertung von Kulturland bei Güterzusammenlegungen
Tanner, Frei, Moos, Peter
 - (4) Wiederherstellung von Kulturland, dargestellt am Beispiel der Tieflockerung
ETH-Z / IFK Bericht Nr. 57 Ch. Oggenfuss
 - (5) DIN 18122 / DNA Beuth Vertrieb Berlin Köln
-

JAHRESBERICHT 1979/1980 / RAPPORT DU PRESIDENT

La séance scientifique et statutaire annuelle s'est tenue, le 9 mars 1979 dans les murs de la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Changins en présence de plus de 50 membres, 7 communications scientifiques y ont été présentées, traitant respectivement de la chimie, de la biologie et de la cartographie des sols. Ces communications ont été rassemblées dans le bulletin no 3 de la Société Suisse de Pédologie parût le 24 avril 1979 déjà.

L'excursion annuelle dans le Jura Vaudois, a réuni une quarantaine de participants les 31 août et 1er septembre 1979. Conduite par Michel GRATIER et moi-même, cette excursion familiarisa les participants avec les sols bruns d'origine éolienne du Mt Tendre, les sols autochtones et leur stabilité dans la combe anticlinale marnocalcaire des Begnines et enfin, avec les sols bruns rubéfiés du pied du Jura. Des conférenciers invités ont, en outre, parlé de la forêt (Prof. J.L. RICHARD), de l'évolution du relief jurassien (Prof. D. AUBERT) et des colonies géantes de fourmis (D. CHERIX).

L'audience de notre société prend un essor remarquable tant à l'étranger qu'en Suisse. C'est ainsi que les 14 et 15 septembre notre société a dirigé l'excursion suisse de la Société Allemande de Pédologie. Grâce à la minutieuse préparation des conducteurs d'excursion, c'est-à-dire la Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Zurich-Reckenholz pour la partie jurassienne et l'Institut Fédéral de Recherches Forestière de Birmensdorf pour la partie pré-alpes, ces 2 journées ont connu un succès total. Je tiens à remercier ici MM.

les Prof. FREI et RICHARD et tous leurs collaborateurs du très important travail réalisé à cette occasion. Plusieurs groupes de travail, outre leur activité habituelle, ont organisé des séances spécialisées:

- le 20 avril, le groupe lysimètre, à l'occasion du séminaire régional sur l'évaporation à Zurich;
- le 24 août, une excursion du groupe classification dans le Jura soleurois et dans le moyen-pays;
- les 4-5 septembre, le nouveau groupe zoologie du sol à Zurich;
- le 30 novembre enfin, le groupe "matière organique" a discuté du thème "Valeur fertilisante des amendements organiques".

Le dynamisme de la Société est souligné par l'adhésion de 20 nouveaux membres personnels et 1 membre collectif au cours de l'exercice écoulé. Ainsi, la Société compte actuellement 123 membres personnels dont 11 étudiants et 8 membres collectifs, 79 font partie de l'AISS. Je tiens à remercier chaleureusement tous les membres qui ont contribué à ce dynamisme: auteurs de communications, responsables et participants des groupes de travail, conducteurs d'excursions et de séances, organisateurs de notre séance annuelle.

En guise de conclusion, je suis heureux de vous apprendre que notre demande de subside à la SHSN a été acceptée le 3 mars 1980 par le comité de la Section IV Fr. 1265.-- destinés aux frais d'impression du bulletin d'une part, aux frais d'excursion d'autre part, nous serons réunis après ratification par le Sénat de la SHSN. Berne, le 7 mars 1980.

SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE

Le Président: M. POCHON

BERICHTE DER ARBEITSGRUPPEN

1. KLASSIFIKATION UND NOMENKLATUR

Nachdem anlässlich der letzten Generalversammlung der von unserer Kommission erarbeitete Vorschlag zur Bezeichnung der Profilhorizonte (inkl. mögliche Alternativen) zuhanden aller BGS-Mitglieder verteilt werden konnte, ging es im vergangenen Jahr darum, Erfahrungen in der praktischen Anwendung der definierten Symbole zu sammeln.

Anlässlich einer Exkursion konnten an verschiedenen Böden im Jura und im Mittelland, ausgehend von der Makromorphologie und wenigen Labor- und Felduntersuchungen, die Definitionen der einzelnen Horizontsymbole auf ihre Zweckmässigkeit hin am gewachsenen Profil im Gelände überprüft und verglichen werden. Eine stets wertvolle Diskussion brachte an den meisten Profilen einen durchaus möglichen Bezeichnungsvorschlag mit den definierten Horizontsymbolen.

Prof. Dr. E. Frei hat seit ihrer Gründung diese Arbeitsgruppe mit viel Weitsicht und Geschick als Präsident geführt. Es war sicher nicht immer leicht, anlässlich der verschiedenen Arbeitssitzungen die von unterschiedlichen Arbeitsrichtungen herkommenden Meinungen und Ansichten über Horizontsymbole auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Wenn es trotzdem gelungen ist, gewisse einheitliche Richtlinien festzusetzen, so ist es vor allem ein Verdienst von Professor Frei. Als Präsident unserer Kommission ist er im vergangenen Jahr zurückgetreten.

Für seine unermüdliche Tätigkeit sei ihm an dieser Stelle nochmals recht herzlich gedankt. Wir sind froh, ihn auch weiterhin in der Arbeitsgruppe als Mitglied anzutreffen, um von seiner vielseitigen Erfahrung profitieren zu können.

Birmensdorf, 12. Februar 1980.

P. Lüscher

2. LYSIMETER

Ergebnisse der Umfrage über Lysimeteranlagen in der Schweiz

Insgesamt wurden zehn Institutionen in der Schweiz ermittelt, die mit Lysimetern arbeiten. Dabei werden Probleme des Wasser-, Nährstoff- und Energiehaushaltes sowie der pflanzlichen Produktion bearbeitet. Die Ergebnisse der Umfrage können beim Sekretariat der BGS bezogen werden.

Regionales Seminar über Verdunstung

durchgeführt von der Hydrologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft vom 18. - 21. April 1979 in Zürich.

Acht der zehn Institutionen waren an dieser Tagung vertreten. Neben den Fachvorträgen - das Referat von G. Braun, Münster (BRD) verdiente im Zusammenhang mit Lysimeterfragen besondere Beachtung - wurden auch Probleme des Bodenwasserhaushaltes im allgemeinen, Fragen über den Bau und den Betrieb von Lysimeteranlagen, sowie der Aussagewert von daraus gewonnenen Ergebnissen diskutiert. Die Lysimeteranlagen der Forschungsanstalt für Landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz, und der VAW, ETH, im Einzugsgebiet Rietholzbach wurden besichtigt.

Ausblick

Die Arbeitsgruppe führt im Rahmen der Jahresversammlung 1980 der SNG in Winterthur (16. - 19.10.80) eine Tagung durch mit dem Thema:

"Relevanz von Lysimeteranlagen".

Interessenten wollen sich bitte mit dem Sekretariat der BGS in Verbindung setzen.

Zürich, anfangs März 1980.

P. Germann

3. MATIERE ORGANIQUE

Notre groupe s'est réuni à deux reprises en 1979.

Lors de l'excursion annuelle de la société, nous avons eu une petite séance qui nous a permis de sélectionner un certain nombre de sujets prioritaires méritant une étude approfondie:

- A: valeur fertilisante des amendements organiques
- B: vocation des zones tourbeuses du pays
- C: rôle de la matière organique dans le maintien de la structure du sol.

Le thème A a été étudié lors d'une séance spéciale du groupe, le 30 novembre 1979. La description des travaux en cours chez l'ensemble des membres du groupe a permis de mettre en évidence quelques aspects particulièrement importants de la matière organique:

- La m.o. a un effet à court terme et un effet à long terme. Ces effets ne peuvent être mis en évidence que si les autres propriétés du sol ne constituent pas elles-mêmes des facteurs limitants. L'effet physique est plus spectaculaire que l'effet chimique. Les améliorations de rendement obtenues ne résultent le plus souvent pas de la modification d'un seul facteur de production (pas de corrélation directe), mais de l'effet global de plusieurs facteurs individuels.

- L'effet-azote des amendements organiques est nettement inférieur à l'effet des engrais minéraux azotés. Il est toutefois possible d'estimer cette efficacité sur la base d'expériences tenant compte de la nature chimique des produits et du pH du sol, et de prédire la libération de N à partir d'un substrat organique.
- La microbiologie du sol entre dans une phase où elle peut apporter de précieux renseignements au spécialiste de la fertilisation; ainsi diverses sources organiques provoquent divers développements de l'activité biologique et plus particulièrement de l'activité nitrifiante. On peut donc prédire avec quelque chance combien de N sera libéré d'un substrat organique, et en combien de temps ces mêmes apports influencent également les organismes pathogènes du sol.
- Des travaux sur la fermentation des composts permettent d'apprécier la complexité des processus engagés: les conditions physico-chimiques (aération, température, ...) changent rapidement avec le temps.

Sur la base des remarques ci-dessus, on a pu établir un catalogue des sujets étudiés, qui se distinguent entre eux par leur approche statistique, chimique, agronomique, pédologique ou microbiologique.

Comme la plupart des membres du groupe travaillent dans des institutions fédérales, soumises au trop fameux blocage du personnel, nous avons pris conscience des avantages de notre groupe de travail, qui offre un cadre idéal à des échanges scientifiques. Chacun d'entre nous a déjà bénéficié au moins une fois des précieux conseils de l'un de ses collègues. Ainsi, par exemple, nous avons pris conscience du danger qui résulte de la persistance de sols nus durant l'hiver, nous comprenons toujours mieux le phénomène de la fourniture de fertilisants à partir de substrats organiques ... Nous avons également décidé de nous signaler certains sujets intéressants et limités qui pourraient faire l'objet de travaux de semestre/diplôme.

Nyon, mars 1980.

J.A. Neyroud

4. ZOOLOGIE DU SOL

Dans le courant de 1979, onze personnes ont adhéré au Groupe d'étude en Zoologie du sol. On y trouve des représentants des institutions suivantes: Institut d'Entomologie EPF, Zurich; Instituts de Zoologie des Universités de Berne et de Neuchâtel; Musées d'Histoire naturelle de Bâle et de Lausanne; Conservation de la Faune, Lausanne; Station fédérale de Liebfeld.

Une table ronde a été tenue à Zurich les 4 et 5 septembre 1979 dans le but de répondre aux questions suivantes concernant notre domaine de recherche:

- Quels sont les problèmes de la faune du sol qui sont actuellement traités en Suisse et à l'étranger.
- Peut-on envisager d'établir un projet interdisciplinaire et interinstitutionnel (Universités, Musées, Stations de recherches agronomiques) et de coordonner ce projet.

Les personnes suivantes ont présenté des exposés: MM. C. Bader, Bâle (Acarologie du sol); C. Besuchet, Genève (Coléoptères du sol); M. Bieri, Zurich (Rapports proies-prédateurs chez les animaux du sol et de la surface du sol); G. Cuendet, Lausanne (Vers de terre); V. Delucchi, Zurich (Recherches en Zoologie du sol effectuées à l'Institut d'Entomologie EPFZ); J. Klinger, Wädenswil (Nématodes du sol); W. Matthey, Neuchâtel (Macroarthropodes du sol); W. Meier, Wädenswil (Insecticides et sol); A. Meylan, Changins (Micromammifères du sol); J. Zettel, Berne (Collembolles).

Les conditions d'une étude synécologique collective ont été définies. Une prairie pâturée de moyenne altitude en sera l'objet. La collaboration de Pédologues, de Phytosociologues, de Bactériologues et d'Analystes de systèmes sera sollicitée. La mise sur pied de ce projet (recherche d'un site favorable, planification des travaux) prendra environ une année.

Neuchâtel, le 25 février 1980.

W. Matthey

5. GRANULOMETRIE

- 1) Le bulletin 3 de la société (1979) a relaté toutes les données nouvelles proposées par le groupe à l'Assemblée générale de mars 1980 et admises par celle-ci.
Rappelons qu'il s'agissait pour la terre fine des limites de dimension des particules, de nomenclature et de représentation graphique.
- 2) Sur le plan information, ces données sont vulgarisées en Suisse allemande par le livre de MM. Jäggli et Furrer (Bodenkunde).
En Suisse romande une monographie paraissant ces jours prochains dans la "Revue Suisse d'agriculture" traite relativement en détail ces questions de granulométrie.
- 3) La question de granulométrie du squelette a été discutée:
Le groupe n'est pas encore en mesure de présenter une proposition définitive. Toutefois, nous proposons aux membres de la Société de se prononcer sur la proposition provisoire, qui n'est pas loin de répondre à notre avis aux besoins de la pédologie pratique.

- 4) Une comparaison interlaboratoire a été faite (Zollikofen, Reckenholz, Liebefeld, Changins) avec une série de 12 terres.
 - La précision de la méthode utilisée est très bonne.
 - La concordance entre laboratoires est bonne également.
Le résultat de cette confrontation est très satisfaisant.
Le mode opératoire d'une méthode de référence ainsi que le rapport de l'examen interlaboratoire sera transmis aux membres de la société intéressés par les questions de granulométrie.
 - Des échantillons de référence seront préparés.
L'élaboration d'une méthode précise d'exécution du test tactile (allemand: Fühlprobe) sera réalisé en 1980.

Changins, le 5 mars 1980.

Ph. Rod

AUTORENVERZEICHNIS

ATTINGER, W.	7
BIERI, M.	49
BOEHRINGER, J.	36
BORER, F.	7
BOUYER, Y.	42
DEFAGO, G.	50
DELUCCHI, V.	49
FREI, E.	63
GERMANN, P.	13, 85
KELLER, E. R.	57
LÜSCHER, P.	85
MAILLARD, A.	57
MARTHALER, Hp.	7
MATTEY, W.	87
MILLIOUD, D.	50
MOSIMANN, Th.	69
NEYROUD, J. A.	86
POCHON, M.	4, 42, 83
RICHARD, F.	7
ROD, Ph.	88
SALM, Ch.	77
SCHUDEL, P.	19
SCHÜEPP, H.	50
SEILER, W.	28
STICHER, H.	36