

Z81/29 II

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

Band 29

Heft II

1979

ISSN - 0343 - 107X

Schriftleitung: P. Hugenroth, Göttingen

Niederschlagverhältnisse und chemische Elementzufuhr
in westvenezuela ¹

von

U. Steinhardt ² und H. W. Fassbender ³

Einleitung

Die Niederschläge stellen eine sehr wichtige Komponente des Wasserkreislaufes in der Natur dar; mit ihnen werden u. a. chemische Stoffelemente in terrestrische Ökosysteme zugeführt. Die Transferrate des Stickstoffs, als wichtiger Nährstoff, ist früher sehr oft untersucht worden (Bartholomew und Clark, 1965; Eriksson, 1952). Die Untersuchung der Deposition von anderen Nähr- und Schadelementen hat in letzten Jahren zugenommen, sowohl in temperierten Gebieten (Ulrich et al., 1976, Likens et al. 1977; McColl und Bush, 1978) als auch in tropischen und subtropischen Bereichen (Odum, 1970; Golley et al. 1975; Klinge und Fittkau, 1972).

Im Rahmen eines Forschungsprogrammes über die Ökologie der Nebelwälder in den venezolanischen Anden wurden während eines Jahres (Nov. 1973 - Dez. 1974) die Niederschläge registriert, Wasserproben entnommen und chemisch untersucht, um die Niederschlagsverhältnisse und die Stoffdeposition zu ermitteln.

MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchungen wurden in dem Forstreservat von San Eusebio (La Carbonera) der Forstlichen Fakultät der Universität Merida in Venezuela durchgeführt. Das Unter-

¹ Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Universität Göttingen, Bispenweg 2, 3400 Göttingen-seende

² Centro de Pesquisas Agropecuarias dos Trópicos Húmidos, Belém, Brasilien, Caixa Postal 48

³ Fachbereich Forstwirtschaft der Fachhochschule Hildesheim-Holzseinden, Bispenweg 4, 3400 Göttingen-seeende.

suchungsgebiet liegt in einer Höhe von 2000 bis 2500 m NN an einem NO-Hang der Nordkordillere der Sierra de Merida ($8^{\circ}37'$ nörd. Breite, $71^{\circ}21'$ westl. Länge) (siehe Abb. 1).

Die Niederschlagsmessungen wurden mit einem Hellman-Regenschreiber durchgeführt. Daneben wurden Regenproben für die chemischen Untersuchungen in drei Reihen mit je 10 Plastikregennessern gewonnen. Die Regennesser wurden 1 - 2 Mal wöchentlich, in den Regenzeiten auch öfter, entleert. Die Wasserproben wurden bis zur chemischen Untersuchung in einer Tiefkühltruhe gelagert. Nach Auftauen der Probe wurde eine Aliquote durch langsames Verdampfen bei ca. 60°C auf das Verhältnis 1 : 10 eingengt, um einige Bestimmungen (N, P, Fe, Mn, Zn, Al) durchführen zu können. Folgende Untersuchungen wurden mit drei Wiederholungen in den chemischen Laboren der Universität in Merida durchgeführt (Methoden u. a. Fassbender u. Ahrens, 1977)

pH mit der Glaselectrode

N nach einem $\text{Se-H}_2\text{SO}_4$ -Aufschluss und Titration mit Borsäure

P als Phosphomolybdat

Na und K mit einem Zeiss-Spektrograph (PF 5)

Ca, Mg, Fe, Mn, Zn und Al mittels Atom-Absorptions-Spektrometrie

Aus den drei monatlichen Wiederholungen wurden Mischproben hergestellt, im gefrorenem Zustand transportiert und direkt im Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Universität Göttingen auf folgende Elemente untersucht (Fassbender u. Ahrens 1977)

Cl titrimetrisch als AgCl

S mit dem Auto-Analyser

Pb, Cd und Cu mittels flammenloser Atom-Absorptions-Spektrometrie

Aus den gefundenen Konzentrationen und den monatlichen Niederschlägen wurden die Zufuhrraten der chemischen Elemente errechnet.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

NIEDERSCHLAGSVERHÄLTNISSE

Der Jahresgang der Niederschläge ist in Abb. 2 dargestellt. Die geringsten Niederschläge fielen in den Monaten Februar und Juni. In der Messzeit wurden zwei Regenperioden im April/Mai und September/Oktober registriert. Der Jahresniederschlag erreichte 1576 mm. Mittelwerte aus 6-jährigen Beobachtungen an verschiedenen Meßpunkten des Reservates bestätigen eine Trockenzeit im Februar und März und zeigen eine breit angelegte Regenzeit zwischen Mai und September mit peruanischen Charakter. Der Jahresdurchschnitt liegt bei 1453 mm. In der Beobachtungszeit von einem Jahr wurden 205 Regentage registriert, dabei 21 Regenfälle mit mehr als 5 mm und darunter den Tageshöchstwert von 39,3 mm. Die Niederschlagsverteilung ist an die geographische Lage des Untersuchungsgebietes, die planetarische Windzirkulation und die Entstehung von Passatwinden, die an den Flanken der Anden mit einer starken Nebel- und Wolkenbildung aufsteigen, gebunden (siehe Abb. 1).

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG UND DEPOSITION

Die mittlere Konzentrationen der Elemente und die Zufuhraten sind in den Tab. 1 und 2 dargelegt. Die monatlichen Konzentrationen des N schwanken zwischen 0,39 und 1,11 mg/l und mit einem Mittelwert von 0,64 mg/l erreichen einen Variationskoeffizienten von 5,6 % (Abb. 3). Die Depositionsrate von $9,9 \text{ kg.na}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ liegt innerhalb der Literaturdaten. Als wichtige N-Quelle in tropischen Bereichen ist die N-Oxidation bei Gewittern anzusehen (Eriksson, 1952); im Untersuchungsgebiet trägt zu diesem N-Wert sicherlich auch die Verbrennung von überschüssigen Gasen bei der Ölgewinnung (Maracaibo-See) bei (siehe Abb. 1).

Die Phosphorwerte sind, trotz verwerfens einiger offensichtlich durch tote Insekten kontaminierter Proben, immernoch etwas durch tierische Kontamination überhöht.

Die tatsächliche P-Zufuhr dürfte weniger als $1 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ betragen.

Die Chlorkonzentrationen und die Chlorfracht der Niederschläge sind mit $4,6 \text{ mg/l}$ und $59,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ relativ hoch. In der Literatur ist nachgewiesen, daß in küstennahen Gebieten die Bildung von NaCl-Aerosolen zu hohen Depositionen der beiden Elemente beitragen können. Allerdings wurde im Untersuchungsgebiet eine dafür zu niedrige Na-Zufuhr ($3,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) gefunden. Inwieweit die Südwest-Passatwinde, die die Gebiete der Ölverarbeitenden Industrie in Trinidad, Curacao, Aruba und Venezuela streifen und z. T. in die Anden aufsteigen, Cl-Verunreinigungen in das Untersuchungsgebiet bringen, ist noch aufzuklären (siehe Abb. 1). Die Deposition der Erd-, Alkali- und Erdalkali-Metalle ergibt die Reihenfolge ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) Ca ($5,6$) > Mg ($5,2$) > Na ($3,3$) > K ($2,6$) > Al ($2,4$) (Tab. 1). Eine Interpretation dieser Reihenfolge ist schwierig. Eolische Erosion mit Bildung von Bodenstäuben und -aerosolen ist zu vermuten, insbesondere weil an der Luvseite des Untersuchungsgebietes Bereiche mit einem trockenen Klima und einer xerophitischen Vegetation vorhanden sind (Guajira-Halbinsel). Die Zufuhrraten für die Schwermetalle Cu, Pb und Zn erreichen Werte von jeweils 45 , 33 und $30 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ und sind mit den Daten von Golley et al. für Panama vergleichbar (Tab. 2). Die fehlenden Daten und Kenntnisse über das Verhalten der Schwermetalle lassen keine Hinweise über die Auswirkungen dieser Elemente auf die Ökosysteme zu.

Der pH-Wert der untersuchten Regenproben schwankt zwischen $3,8$ und $6,2$ und erreicht einen Mittelwert von $4,55$ (Abb. 4). pH-Messungen im Gebiet von Manaus (Anonimous, 1972) in Amazonien zeigen vergleichbare Werte. Die Herkunft dieser H-Ionen ist in der Dissoziation von HCl und H_2SO_4 zu vermuten. Die Depositionsrate mit $0,8 \text{ kg H} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ist vergleichbar mit der von gemäßigten Breiten (Likens, 1977, Ulrich et al., 1975), ihre Auswirkungen in tropischen Ökosystemen sollte näher verfolgt werden.

Literatur

- Anonimus, Regenwasseranalysen aus Zentralamazonien.
Amazonien, Amazoniana 3, 186-198, 1972.
- Bartholomew, W. V. y Clark, F. E. Soil nitrogen. ASA.
Madison, Wisconsin, 1965, c 15 p.
- Boyer, J. Cycles de la matière organique et des éléments
minéraux dans une cacaoyère camerounaise. Café,
Cacao, The 17, 3-23, 1973.
- Eriksson, E. Composition of atmospheric precipitation.
I Nitrogen compounds. II Sulfur, chloride,
iodine compounds. Tellus 4, 215-230, 280-303,
1952.
- Fassbender, H. W. y Ahrens, E. Laborvorschriften und
Praktikumsanleitung. Gött. Bodenk. Berichte 47,
1-88, 1977.
- Golley, F. G. et al. Mineral cycling in a tropical moist
forest ecosystem. Univ. of Georgia press.
Athens. 1975. 248 s.
- Jones, H. J. y Bromfield, A. R. Nitrogen rainfall at
Samaru, Nigeria. Nature 227, 86, 1970.
- Klinge, H. y Fittkau, E. J. Filterfunktionen im Ökosystem
des Zentralamazonischen Regenwaldes.
Mitt. Deuts. Boden. Ges. 16, 130-135, 1972.
- Likens, G. E. et al. Biogeochemistry of a forested eco-
system. Springer Verlag. New York, 1977, 146s.
- Mac Coll, J. G. y Bush, D. S.: Precipitation and through-
fall chemistry in the San Francisco Bay area.
J. Environ. Qual. 7, 352-357, 1978.
- Nye, P. H. y Greenland, D. J.: Changes in the soil after
clearing tropical forest. Plant and soil 21,
101-110, 1964.
- Odum, H. T.: A tropical rain forest. U. S. Atomic Energy
Commission. Washington. 1970, s. n.
- Thornton, I.: Nutrient content of rain water in the Gambia.
Nature 205, 1025, 1965.

Ulrich, B. et al.: Input, Output und interner Umsatz von chemischen Elementen bei einem Buchen- und einem Fichtenbestand. Verhand. Ges. Ökologie, Göttingen, 1976, 17-28.

Visser, S. A.: Chemical composition of rain water in Kampala, Uganda, and its relation to meteorological and topographical conditions. J. of geophysical Res. 66, 3754-3765, 1961.

Tabelle 1: Deposition von chemischen Elementen mit den Niederschlägen in Westvenezuela
im Vergleich mit anderen Gebieten ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)

Standort, Land, Autor	N	P	S	Cl	Na	K	Ca	Mg	Al	H
San Eusebio, Venezuela	9,90	1,10	11,5	2,940	3,26	2,60	5,60	5,23	2,43	0,81
Standard-Abweichung (\pm)	0,56	0,19	-	-	0,45	0,10	1,76	0,05	0,17	-
Santa Fe, Panama (Golley et al., 1975)	-	0,95	-	-	30,70	9,50	29,30	4,86	-	-
Adiorodouné, Elfenbeinküste (Roose, 1974)	21,20	2,30	-	-	-	5,50	30,00	7,00	-	-
Kade, Ghana (Nye, 1964)	14,00	0,42	-	-	-	17,50	12,70	11,33	-	-
Younde, Cameroun (Boyer, 1973)	12,00	1,70	-	-	-	12,00	3,80	1,50	-	-
Samaru, Nigerien (Jones y Bromfield, 1978)	4,80	-	-	-	61,11	37,20	1,00	2,95	-	-
Kampala, Uganda (Visser, 1961)	19,10	-	7,60	11,40	21,70	21,60	-	-	-	-
Zaire (Erickson, 1966)	6,4	-	4,60	3,50	1,70	2,00	3,90	1,07	-	-
Gambia, (Thorton, 1965)	35,40	0,25	-	-	8,10	4,30	2,90	-	-	-
Manaos, Brasilien (Klinge y Pittkan, 1972)	10,00	0,30	-	-	-	-	3,7	3,0	-	-
El Verde, Puerto Rico (Odum, 1970)	14,00	-	-	-	135,10	-	33,60	26,28	-	-
Berkeley, USA (Mac Coll, Bush, 1978)	2,00	0,81	14,51	3,81	6,60	1,72	2,20	0,33	-	0,06
Huober Brook, USA (Likens et al., 1977)	22,00	0,13	38,40	7,01	1,53	0,69	2,17	0,58	-	0,98
			\pm 2,50		\pm 0,12	\pm 0,19	\pm 0,21	\pm 0,07		
Solling, BRD (Ulrich, et. al., 1976)	22,60	0,30	21,10	16,00	7,80	3,70	14,40	2,40	1,10	0,80

Tabelle 8: Deposition von Schwermetallen mit den Niederschlägen in Westvenezuela
im Vergleich mit anderen Literaturdaten. ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$)

Standort, Land, Autor	Mn	Fe	Cu	Zn	Pb	Ci
San Eusebio, Venezuela	230	900	45	30,3	33,5	8,6
Standard-Abweichung (\pm)	4	101				
Santa Fe, Panama (Golley et al., 1975)	400	340	500	900	600	-
Berkeley, USA (Mac Coll and Bush, 1978)	10	70	20	80	-	-
Indiana, USA (Parker et al., 1978)	-	-	164	983	814	8,2
Solling, BRD (Ulrich et al., 1976)	200	900	233	-	527	17,1

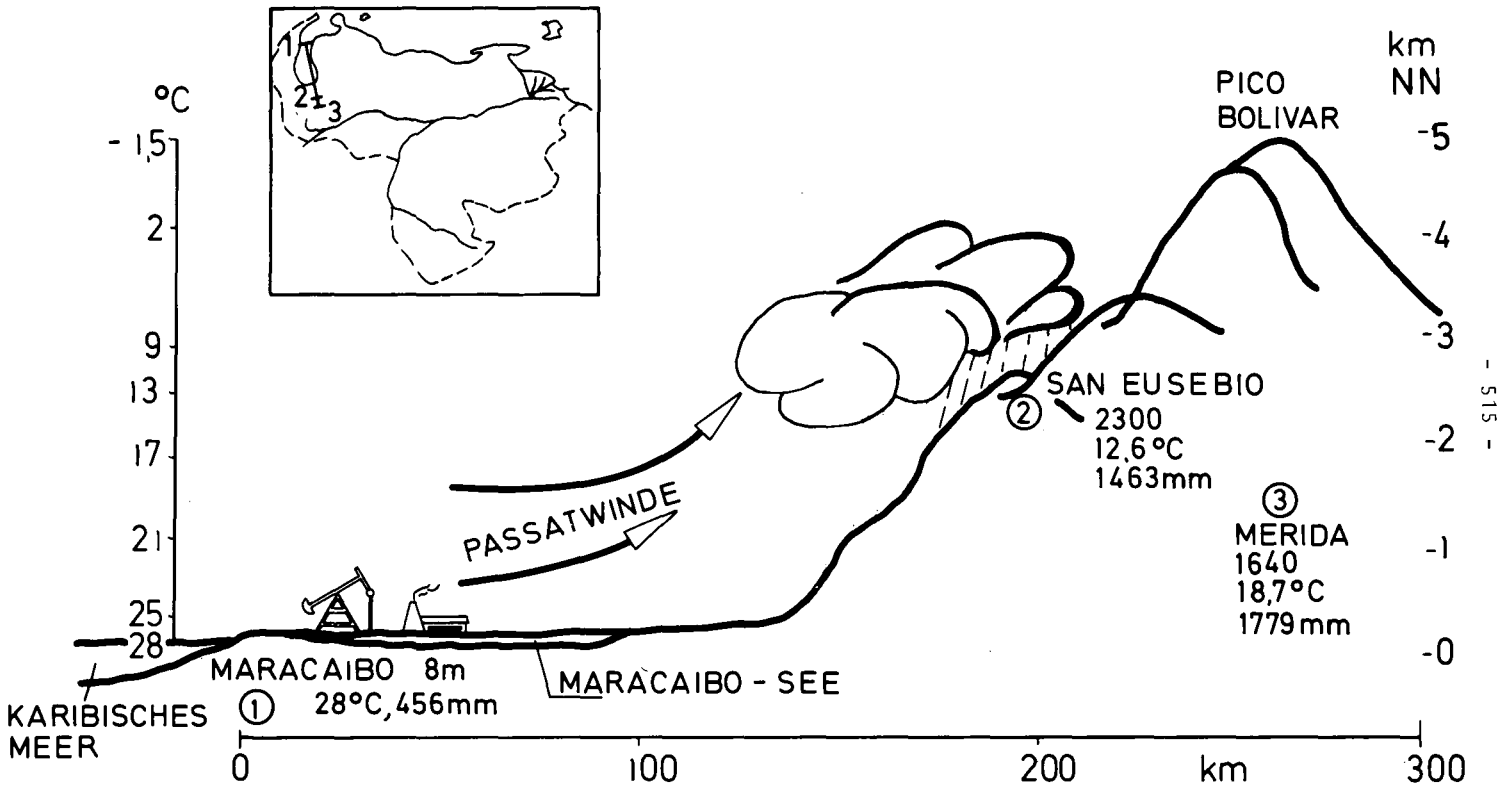
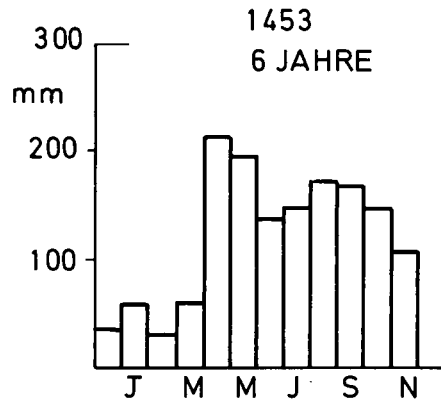
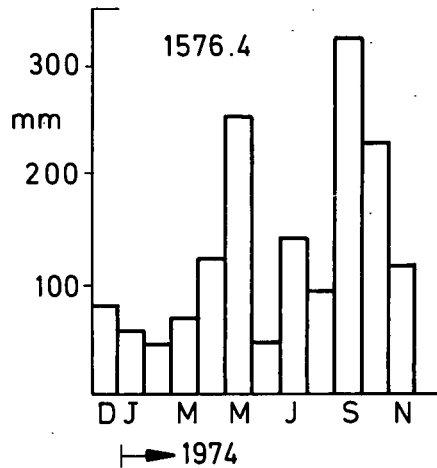


Abb. 1 : Schematische Darstellung des Arbeitsgebietes



NIEDERSCHLÄGE IM „SAN EUSEBIO“-WALD

Abb. 2

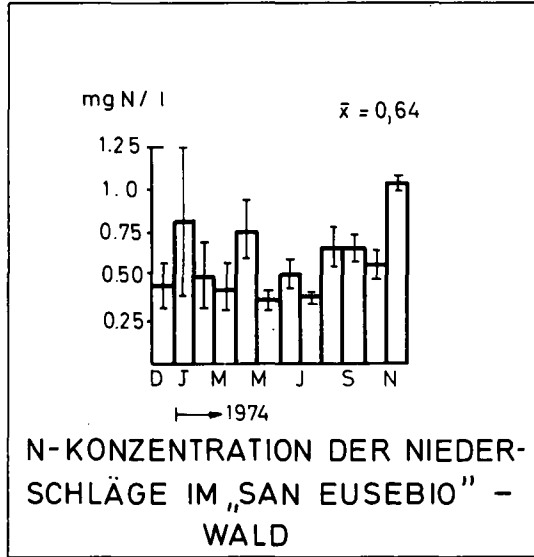
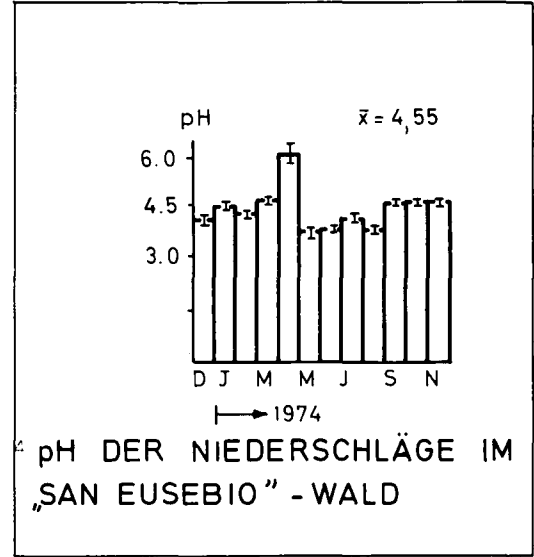


Abb. 3



Auswirkungen von Auftausalzen auf Böden entlang
von Bundesautobahnen

von

Brod, H.G.⁺ und Preußé, H.-U.⁺⁺

Mit der Anwendung von Auftausalzen im Straßenwinterdienst sind Beeinträchtigungen des Pflanzenwuchses sowie Veränderungen der boden- und wasserchemischen Kenndaten verbunden. Um deren Ausmaße festzustellen, wurden über einen Zeitraum von 3 Jahren an insgesamt 20 Untersuchungsstandorten an der BAB Gießen-Dortmund und Frankfurt-Kassel periodische Wasser- und Bodenuntersuchungen im Rhythmus von 2 bzw. 4 Wochen durchgeführt. Weiterhin wurde ein Salzsteigerungsversuch auf dem Rasenversuchsfeld Leihgestern bei Gießen angelegt, um durch gestaffelte Auftausalzapplikationen (0-2 kg/m²) Aufschluß über die potentielle Versalzung zu gewinnen.

Die bodenchemischen Untersuchungen an den Autobahnen ergaben, daß die Ausbringung von Auftausalzen einen erheblichen Einfluß auf den Salzgehalt der in Fahrbahnnähe gelegenen Böden ausübt. Die stärkste Salzbelastung tritt in den Böden der Mittel- sowie Fahrbahnseitenstreifen unmittelbar am Fahrbahnrand auf, wobei in den Wintermonaten Konzentrationsanstiege bis 38 mval Na und 28 mval Cl pro kg Boden bzw. elektrische Leitfähigkeiten bis 5,6 mS gemessen wurden.

Die Darstellung 1 zeigt die im Sättigungsextrakt ermittelten Na- und Cl-Gehalte des Oberbodens (0-15 cm) am Standort in Lützellinden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Fahrbahnrand (Probenahmetermin: Juli 1975). Wie aus der Darstellung beispielhaft für alle Untersuchungsstandorte hervorgeht, nimmt die Salzbelastung exponentiell mit zunehmender Entfernung vom Straßenplanum ab und

⁺ Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Ludwigstraße 23, 6300 Gießen (z.Z. Schering AG., 7000 Stuttgart

⁺⁺ Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Ludwigstraße 23, 6300 Gießen

wird in der Regel bereits ab 10 m durch andere Einflüsse (z.B. Düngung) überlagert. Bis zu einer Entfernung von 5 m sinkt der Salzgehalt auf 1-2 mval Na bzw. 1 mval Cl/kg Boden ab; in den Entfernungen 10-15 m von Planum schwanken die Na- und Cl-Gehalte unabhängig von der Jahreszeit nur geringfügig um 0,5 mval/kg.

Die Abnahme der Na- und Cl-Gehalte mit zunehmender Entfernung vom Fahrbahnrand trifft in abgeschwächter Form auch für die Ca-Gehalte sowie die elektrische Leitfähigkeit und die pH-Werte zu. Die in unseren Untersuchungen festgestellte Grenze der bodenchemisch nachweisbaren Auswirkungen der Auftausalze von 5-10 m vom Planum, steht zwar in Einklang mit zahlreichen Literaturangaben (DAVISON 1971, HANES et al. 1976 u.a.), kann jedoch unter bestimmten Voraussetzungen wie Trassenführung, Orographie und Anlage der Fahrbahnentwässerung unter- oder überschritten werden.

Aus unseren Untersuchungen geht weiterhin hervor, daß die Höhenlage einen erheblichen Einfluß auf die Salzbelastung der fahrbahn-nahen Böden ausübt. So lag das am ca. 400 m ü. NN gelegenen Standort Allendorf ermittelte Konzentrationsniveau der Na- und Cl-Ionen in der Entfernung 1 m etwa doppelt so hoch wie das des Standortes Lützellinden mit ca. 220 m ü. NN.

Wie am Beispiel des Standortes Allendorf (Darst. 2) zu entnehmen ist, lassen die Natriumionen in der Entfernung 1 m vom Fahrbahnrand bei insgesamt hohem Niveau jahreszeitliche Schwankungen erkennen, welche deutliche Parallelen zum Auftausalzverbrauch zeigen. Die Schwankungen sind am stärksten im Oberboden ausgeprägt, während in den unteren Bodenschichten diese Tendenz nur in abgeschwächter Form bei gelegentlich sogar gegensätzlichen Verläufen auftritt.

Die Chloridgehalte zeigen deutliche Übereinstimmungen mit den Natriumkonzentrationsverläufen; bei insgesamt niedrigerem Niveau treten jedoch größere Schwankungsbreiten auf, welche als Ausdruck der leichteren Auswaschung der Chloridionen zu werten sind. Jedoch reichten auch jährliche Niederschlagsmengen von 550 bis 800 mm nicht aus, eine vollständige Verlagerung der Salze aus den oberen Bodenschichten des fahrbahn-nahen Bereiches zu bewirken. In warmen trockenen Sommern, wie z.B. 1976, kann es sogar zu Konzentrationsanstiegen im Oberboden infolge erhöhter Evapotranspiration und der dadurch ausgelösten ascendierenden Kapillarwasserbewegung kommen.

Da zwischen den Salzen, den Ionenkonzentrationen in der Bodenlösung und den austauschbaren Ionen ein dynamisches Gleichgewicht vorhanden ist, führt die Auftausalzabringung neben einer Erhöhung des löslichen auch zu der des sorbierten Natriums. In den Böden der Mittel- und Fahrbahnseitenstreifen konnten an allen Standorten Natriumsättigungsgrade von über 15% (max. 41%) vermittelt werden. Diese Ergebnisse weisen zusammen mit pH-Werten zwischen 6,9 und 8,3 auf eine zunehmende Alkalisierung der fahrbahnnahe Böden hin.

Mit der Sorption von Na-Ionen an den Austauschern ist die Desorption einer äquivalenten Menge anderer Ionen und deren Auswaschung verbunden. Die Analysenwerte der Dränwässer aus dem Autobahnbereich weisen auf eine hohe Verlagerungsrate von Calcium sowie Magnesium und Kalium hin, so daß bei unzureichendem Nachlieferungsvermögen des Bodens in näherer Zukunft mit einer Verarmung an diesen Ionen zu rechnen ist.

Die im Rahmen des Salzsteigerungsversuches auf dem Rasenversuchsfeld vorgenommenen Auftausalzapplikationen zeigten erwartungsgemäß erhebliche Auswirkungen auf die Konzentrationen sowie das Verhältnis der untersuchten Ionen in den Böden der Versuchspartellen. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Auftausalze waren die Na- und Cl-Konzentrationen in besonderem Maße betroffen, jedoch konnten ebenfalls Veränderungen der Ca- und Mg-Konzentrationen nachgewiesen werden.

Wie aus Darstellung 3 hervorgeht, war vor allem im 1. Untersuchungsjahr (1975/76) ein den Salzapplikationen entsprechender Anstieg der Na-Konzentrationen im Oberboden zu beobachten, obwohl im November 76 die Salzstreuung fortgesetzt wurde. Letztere äußerte sich erst im März 77 in einem erneuten Konzentrationsanstieg, wobei die Maximalwerte des vorangegangenen Sommers jedoch nicht erreicht wurden. Da im Winter 1977/78 keine Salzapplikationen vorgenommen wurden, setzte sich der ab Spätsommer 1977 zu verzeichnende Trend der Na-Konzentrationen im Oberboden bis April 1978 fort, ohne jedoch das Ausgangsniveau von Oktober 1975 zu erreichen. In den tieferen Bodenschichten setzten sich die im Oberboden beobachteten Konzentrationsverläufe mit zeitlicher Verschiebung sowie in abgeschwächter Form fort.

Die Konzentrationen sowie die Ganglinienverläufe der Cl-Ionen

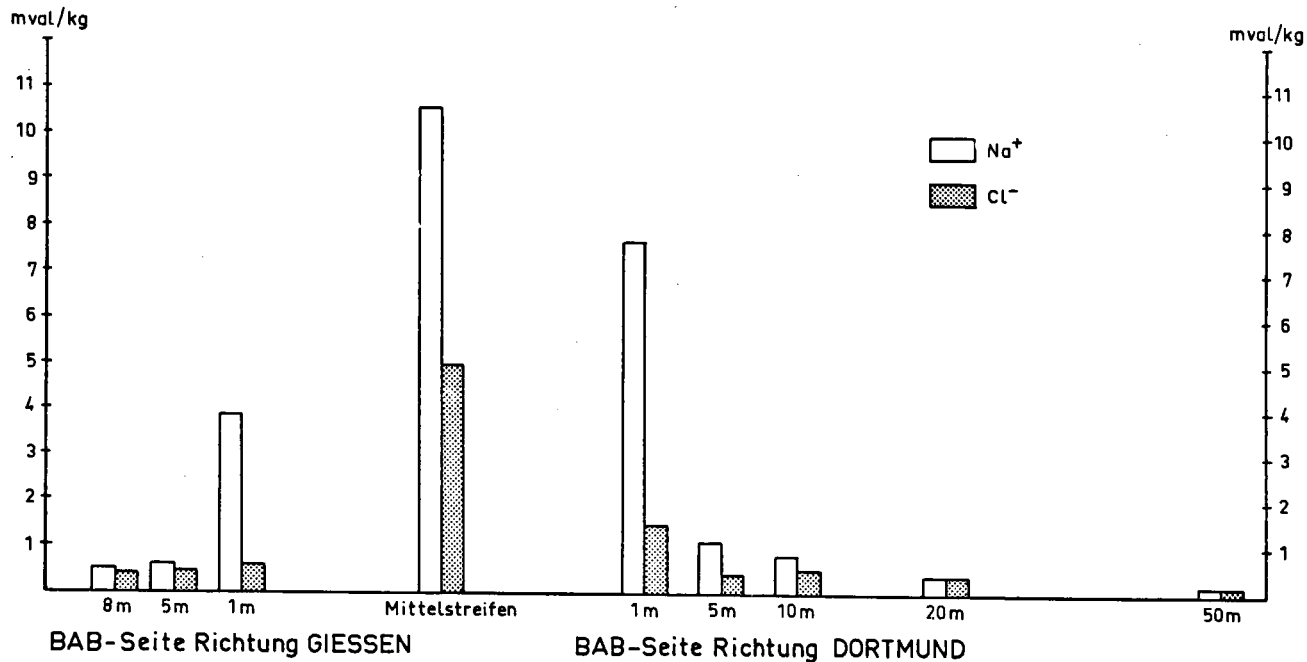
zeigten weitgehende Übereinstimmungen mit denen der Na-Ionen; demgegenüber führten die Salzapplikationen zu einer vergleichsweise geringen Zunahme der Ca-, Mg- und K-Ionen in der Bodenlösung. Die Konzentrationsanstiege erfolgten in Relation zur ausgebrachten Salzmenge, wobei im Oberboden die Unterschiede zwischen den Salzstufen besonders deutlich zum Ausdruck kamen.

Die Zunahme des löslichen Natriums verursachte einen Anstieg des sorbierten Natriums (bis zu 46%), welcher zu Lasten des sorbierten Calciums und Magnesiums sowie des Wasserstoffes und Aluminiums ging. Daraus resultierten zum einen eine verstärkte Verlagerung der Ca- und Mg-Ionen in tiefere Bodenschichten, zum anderen sinkende pH-Werte des Oberbodens infolge der H-Anreicherung in der Bodenlösung. Die Höhe des Salzgehaltes im Boden sowie die Na-Sättigung wiesen bereits nach der 1. Streuperiode bei Salzapplikationen von 1 und 2 kg/m² auf die Entwicklung eines Salznatriumbodens hin.

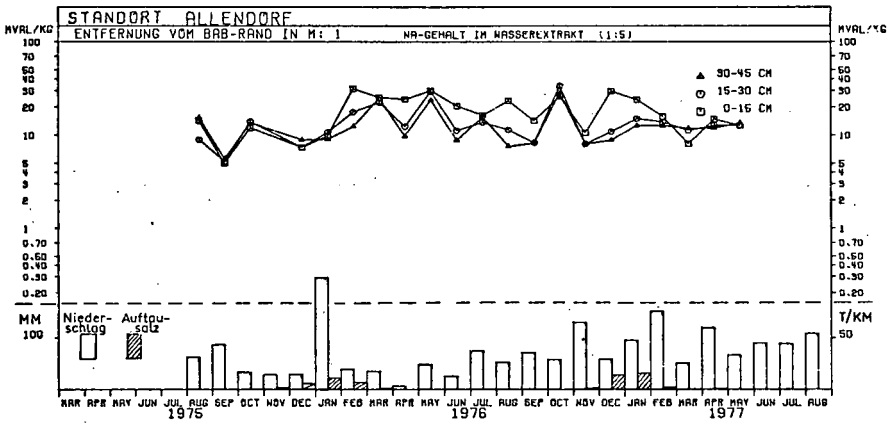
Anschließend läßt sich feststellen, daß eine wiederholte Salzapplikation auch in semihumiden Klimaten eine steigende Bodenversalzung und Alkalisierung zur Folge hat, da auch niederschlagsreichere Perioden keine vollständige Auswaschung bewirken können. Für die Straßenrandvegetation bedeutet dies eine Reduzierung des Nährstoffangebotes, deren Folge eine Selektion salztoleranter Pflanzenarten auf den auftausalzgefährdeten Vegetationsflächen der Straßenrandzonen ist (DAVISON 1971, SEYBOLD 1973). Weiterhin ist mit der Anwendung von Auftausalzen im Straßenwinterdienst eine Belastung des Oberflächen- und Grundwassers (BROD 1979) verbunden, deren Ausmaß in gesundheitlicher und ökonomischer Hinsicht noch nicht abzusehen ist.

Literaturhinweise:

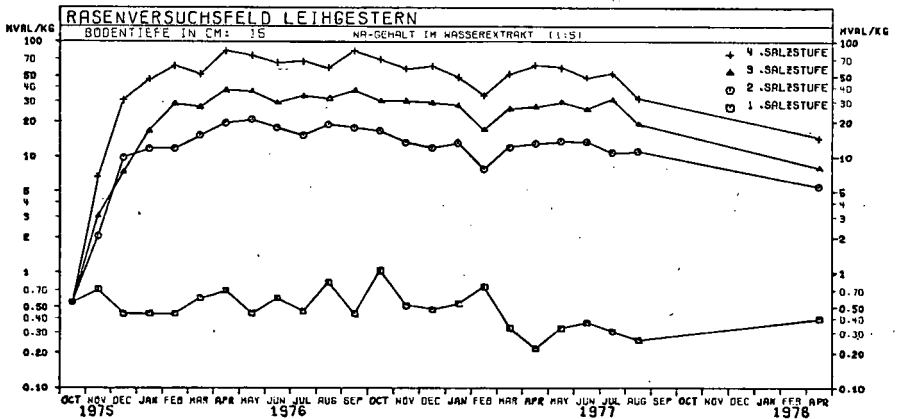
- BROD, H.G. : Auswirkungen von Auftausalzen auf Boden, Oberflächen- und Grundwasser entlang von Bundesautobahnen. Teil I+II. Z.f. Vegetationstechnik 2; 93-107 (1979)
- DAVISON, A.W. : The effects of de-icing salt on roadside verges. J.Appl. Ecol. 8; 555-561 (1971)
- HANES, R.E. et al. : Effects of de-icing salts on plant biota and soil (Experimental phase). Nat.Coop.Highw. Res. Prog. Rep. 170; 88. S. (1976)
- SEYBOLD, S. : Der Salzschwaden. Gött.Flor.Rundbr. 7; 70-72 (1973)



Darst. 1 : Na- und Cl-Gehalte im Oberboden (Sättigungsextrakt) in Abhängigkeit von der Entfernung zur Autobahn; Probenahmetermin Juli 1975, Standort Lützellinden



Darst. 2 : Na-Gehalte der Schichten 0-15, 15-30 und 30-45 cm im 1:5 Wasserextrakt (Standort Allendorf: Entfernung 1 m vom Fahrbahnrand)



Darst. 3 : Na-Gehalte des Oberbodens (0-15 cm) im 1:5 Wasserextrakt.

Fluorinduzierte Degradierung des Bodens

(Kurzfassung ^{1/})

von

Janina Polomski, H. Flühler und P. Blaser

Das Problem der Fluorbelastung von Vegetation und Boden stellt sich vor allem in der Umgebung von Aluminiumhütten, Phosphatdüngerefabriken und keramischen Produktionsstätten. Fluorhaltige Luftverunreinigungen gelangen auf verschiedenen Wegen und in verschiedener Form auf den Boden (Abb. 1). Dazu gehören die Sedimentation fluorhaltiger Stäube, die Auswaschung der Atmosphäre durch Regen oder der Fluoreintrag in der jährlich anfallenden, fluorkontaminierten Streu.

Es stellt sich die Frage

- inwiefern das in diesen Komponenten enthaltene Fluor mobilisierbar ist
- inwiefern Fluoridionen am Bodengerüst irreversibel adsorbiert oder aus der Bodenlösung ausgefällt, also inaktiviert werden
- in welchem Ausmass diese Ionen im Wasser gelöst und somit mobil bleiben
- und nicht zuletzt in welchem Ausmass das chemisch aggressive Element andere Bodenkomponenten beeinflusst.

Diese Fragen wurden bisher wenig beachtet, da andere Aspekte der Fluorbelastung, nämlich die akuten Schädigungen an Pflanzen im Vordergrund standen. Die Meinung, dass Fluor im Boden, vor allem in kalkhaltigen Böden immobilisiert wird, ist verbreitet. Die Löslichkeit fluorhaltigen Immissionskomponenten

1/ Die experimentellen Einzelheiten sind in folgenden zwei Arbeiten beschrieben:

- Polomski, Janina, H. Flühler und P. Blaser:
Fluoride induced mobilization and leaching of organic matter, iron and aluminium (eingereicht).
- Polomski, Janina, H. Flühler und P. Blaser:
Fluoride mobility in soils (in Vorbereitung).

variiert erheblich (Tab. 1). Fluorhaltige Stäube können also relativ leicht mobilisiert werden. Der wasserlösliche Fluorgehalt beträgt in der Regel einige zehn ppm F (also $\mu\text{g F/g Boden}$). In den Karbonatböden der näheren Umgebung einer Aluminiumhütte im Walliser Rhonetal beträgt er bis zu 300 ppm F, also ein Vielfaches der Löslichkeit von CaF_2 .

Die Gleichgewichtbeziehungen zwischen dem Fluorgehalt in der Bodenlösung und der adsorbierten oder ausgefällten Fluormenge kann durch die sogenannten "Adsorptions-Isothermen" charakterisiert werden (Abb. 2). In kalkhaltigen Böden wird ein grösserer Fluoranteil festgelegt als im saueren, staubig-tonigen Material, einer Braunerde (LIEBEFELD sauer, pH 4.2). Diese Adsorptions-Isothermen wurden in einem Batchexperiment bestimmt, in welchem luftgetrocknete Bodenproben mit NaF-Lösungen während 15 h geschüttelt wurden. In einer anderen Versuchsserie wurden die gleichen Bodenmaterialien durch Perkolation (0,2 cm/h) mit NaF-Lösung equilibriert. Im Falle des sauren staubigen Tones LIEBEFELD führen Schütteln und Perkolation zu einer annähernd gleichgrossen "Fluordesorption". Das heisst, dass die Differenz zwischen den Fluormengen im Zu- und Wegfluss denjenigen Mengen entsprechen, die man aufgrund der Adsorptions-Isotherme bei der F-Konzentration des Zuflusses im Gleichgewicht erwarten würde. In den Bodenmaterialien der beiden Rendzinen, SIERRE und SCHITTERWALD hingegen wird während den Perkolationsversuchen (mit 500 ml Fluorlösung pro 50 g Boden) deutlich weniger Fluor adsorbiert beziehungsweise ausgefällt als im entsprechenden Batchexperiment. Das "Adsorptionsgleichgewicht" wird bei dieser Perkolationsgeschwindigkeit also nicht erreicht. Fluor bleibt in den kalkhaltigen Böden offenbar wesentlich mobiler als man aufgrund der Adsorptions-Isothermen und aufgrund publizierter Daten und Meinungen erwarten würde.

Fluor in der Bodenlösung wird nicht nur adsorbiert und ausgefällt, sondern hat auch die Fähigkeit, andere, feste Bodenkomponenten zu mobilisieren. Wir haben die fluorinduzierte Auswaschung von organischem Kohlenstoff (TOC), Aluminium und Eisen untersucht. Die Mobilisierungsrate dieser drei Boden-

komponenten hängt mitunter auch von der Fluorkonzentration der Perkulationslösung ab (Abb. 3). Die ausgewaschenen Mengen werden als Anteil der anfänglich vorhandenen Mengen ausgedrückt. Fluorkonzentrationen von 50-200 ppm, wie sie in fluorbelasteten Böden auftreten, mobilisieren beträchtliche Mengen an organischer Substanz und Aluminium und in kleinerem Ausmass Eisen. Die Intensität der Auswaschung ist selbstverständlich bodenspezifisch.

In einer weiteren Versuchsserie wurden die erwähnten Bodenmaterialien zuerst mit Wasser und anschliessend mit einer 200 ppm F NaF-Lösung perkoliert. Der untere Säulenteil bezeichnet die mit Wasser ausgewaschenen Mengen, der obere Säulenteil bezieht sich auf die zusätzliche Auswaschung durch die fluorhaltige Lösung. (Abb.4).

Folgende Ergebnisse scheinen uns wichtig:

- Das in Blättern und Nadeln gebundene Fluor ist leicht mobilisierbar. Die kontaminierte Streu ist möglicherweise eine biologisch wesentliche Komponente des Fluoreintrages in den Boden.
- Die maximale Adsorption der untersuchten Böden variiert stark. Sie reicht von 5432 ppm F bis zu 95 320 ppm F.
- Fluor induziert einen substantiellen Auswaschungsverlust an organischem Material. Zusammen mit dem organischen Material erscheinen auch grössere Mengen von Aluminium und Eisen in der Bodenlösung. Diese Vorgänge sind für verschiedene physikalische und chemische Bodeneigenschaften und vielleicht auch für die Bodenlebewelt und letztlich für die Pflanzen erheblich.
- Diese Ergebnisse basieren auf Laborversuchen. Die Frage nach der Bedeutung und dem Ausmass dieser Vorgänge draussen im Bodenprofil bleibt vorläufig unbeantwortet. Die aus der Literatur übernommene Beurteilung der Rolle und des Verhaltens von Fluor im Boden scheint uns einseitig und revisionsbedürftig.

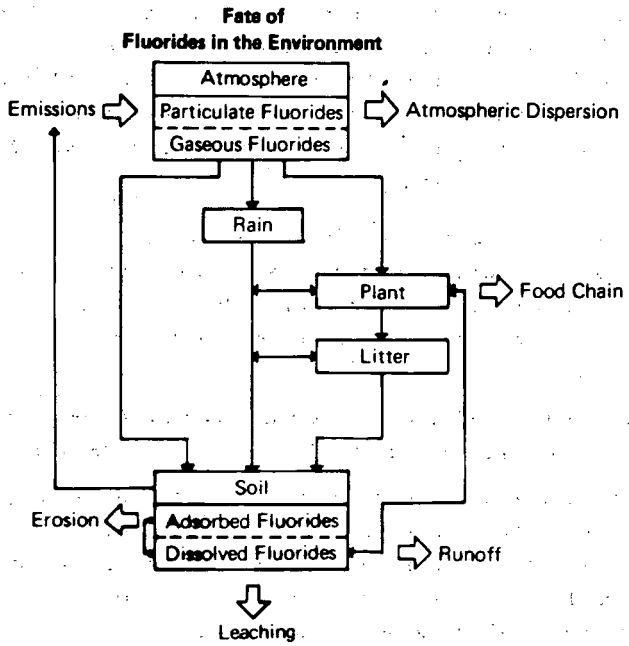


Abb.1

Tabelle 1

Löslichkeit einiger der wichtigsten fluorhaltigen Immissionsstoffen [g/100 ml kaltes Wasser]

NaF	– Natriumfluorid	4,22 ^a
Na ₂ SiF ₆	– Natriumfluorosilicat	0,652 ^a
AlF ₃	– Aluminiumfluorid	0,559 ^a
Na ₃ AlF ₆	– Kryolith	0,039 ^b
CaF ₂	– Calciumfluorid	0,0016 ^a
Mit Wasser extrahiertes Fluor von Föhrennadeln (Anfangskonzentration 1938 ppm F)		1410 ppm F ^c

^a Handbook of Chemistry and Physics, 57th Edition

^b Fluorides, 1971 National Academy of Sciences, Washington, D.C.,
USA, 295 p.

^c Experimental bestimmt.

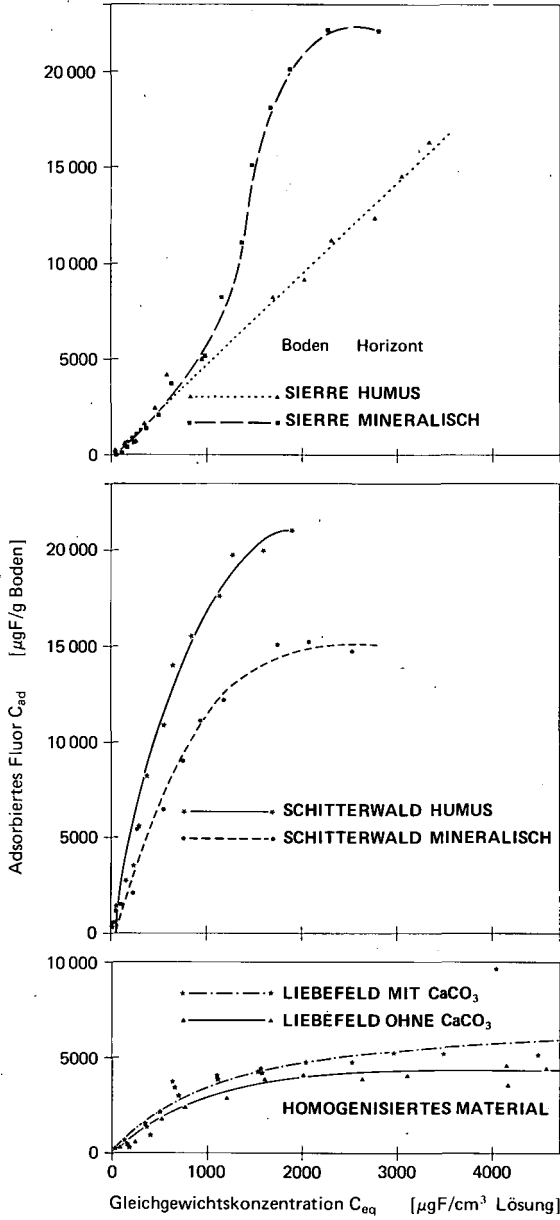


Abb. 2
Fluor-Adsorptionsisothermen von drei verschiedenen Böden

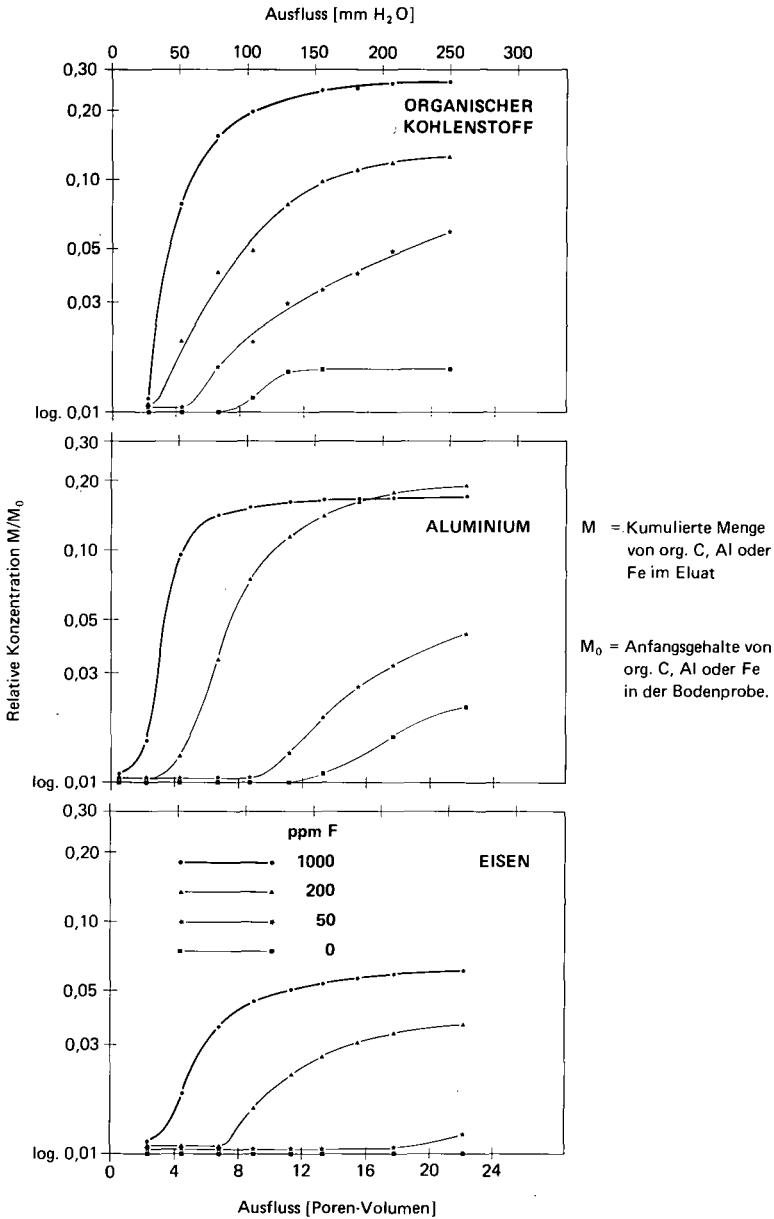


Abbildung 3
Kinetik und Ausmass der org. C, Al und Fe-Auswaschung aus dem LIEBEFELD-SAUER-Boden unter der Einwirkung der Fluor-Lösung.

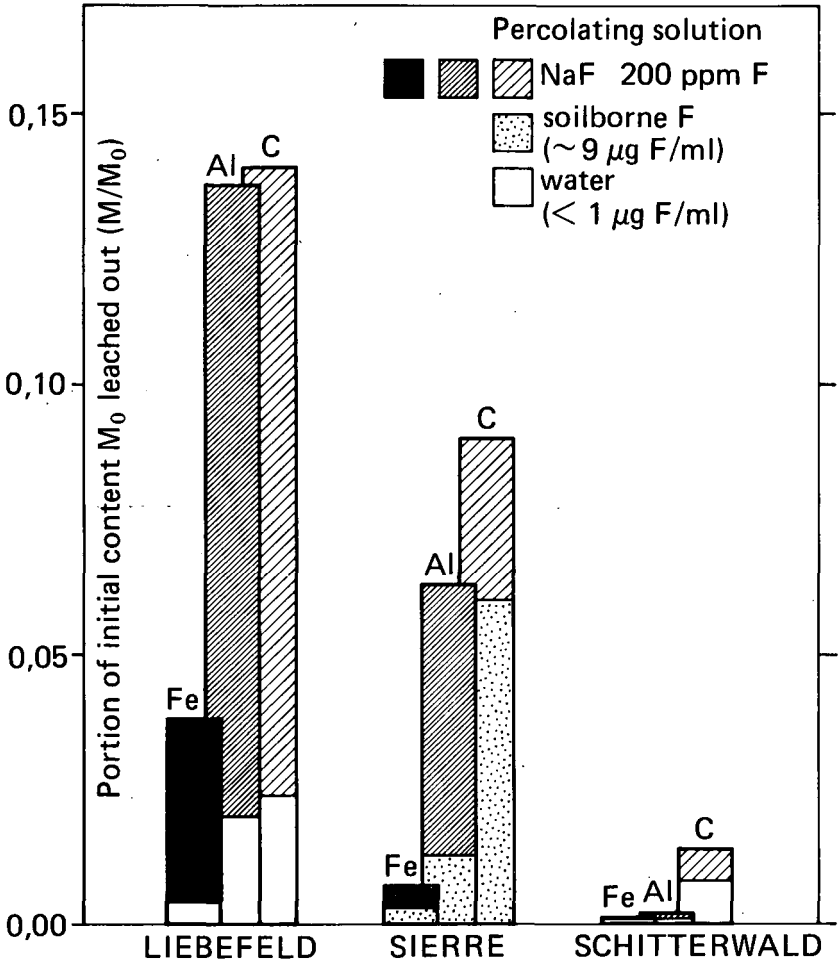


Fig.4

Einfluß der Redoxbedingungen auf die Löslichkeit von
Schwermetallen in Böden und Sedimenten

von

U. Herms und G. Brümmer[†]

Eine Reihe von Untersuchungen zeigt, daß die lösliche Fraktion von Schwermetallen in Böden und Sedimenten - und damit die ökologisch relevante Fraktion - vor allem vom pH-Wert, aber auch vom Stoffbestand beeinflusst wird. Über den Einfluß der Redoxbedingungen auf die Löslichkeit von Schwermetallen liegen jedoch kaum exakte Untersuchungen vor, obwohl starke Änderungen des Redoxzustandes in vielen schwermetallbelasteten Böden auftreten können (z.B. in Rieselfeldern, Reisböden, Auen- und Unterwasserböden). Vor allem in Unterwasserböden von schwermetallbelasteten Fließgewässern liegen oft reduzierende Bedingungen vor. Eine bessere Kenntnis der mit variierenden Redoxbedingungen einhergehenden Veränderungen der Schwermetalllöslichkeit in Böden und Sedimenten erschien deshalb wünschenswert, so daß die im folgenden beschriebenen Modelluntersuchungen durchgeführt wurden.

Material und Methoden:

Vor Beginn der Modellversuche wurden Proben aus den A_p-Horizonten von fünf unbelasteten Böden (Kalkmarsch, Parabraunerde, Braunerde, Rosterde und Podsol) und aus einem marinen Schlick mit je 100 ppm Cu, Zn und Pb sowie 10 ppm Cd versetzt. Um die zugegebenen Schwermetalle in bodeneigene Bindungsformen zu überführen, erfolgte eine achtwöchige Vorinkubation der Proben. Anschließend wurden definierte Anteile dieser Proben im Verhältnis 1 : 3 in Wasser aufgeschlämmt und mit NaOH bzw. HCl auf konstantgehaltene pH-Werte von 3, 4, 5, 6, 7 und 8 eingestellt. Zur Charakterisierung der in den Proben vorhandenen Redoxbedingungen wurde das Redoxpotential in den Suspensionen gemessen. Mit Hilfe einer selbstgebauten automatischen Titrationsanlage konnten in den Suspensionen durch gezielte Belüftung von unterschiedlicher Intensität verschiedene Redoxpotentialstufen in Abständen von 100 mV innerhalb des Bereiches zwischen

[†]Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr.40-60, 2300 Kiel

oxidierenden und reduzierenden Bedingungen eingestellt und mit einer Schwankungsbreite von etwa ± 30 mV konstantgehalten werden.

Nach zweiwöchiger Konstanz der gewählten E_h - und pH-Bedingungen wurden die Gleichgewichtslösungen abgesaugt und auf ihre Gehalte an organischer Substanz (nasse Veraschung mit $KMnO_4$ im alkalischen Bereich; Anonym, 1975) sowie - nach Aufschluß mit HNO_3 - inversvoltammetrisch und atomabsorptionsspektrometrisch auf ihre Lösungskonzentrationen an Cu, Zn, Cd, Pb und Fe untersucht.

Ergebnisse und Diskussion:

Anhand ausgewählter Beispiele sollen im folgenden die wesentlichen Beziehungen zwischen den Redoxbedingungen sowie Reaktionsverhältnissen der Bodensuspensionen und dem Löslichkeitsverhalten der Schwermetalle dargestellt werden.

1. Einfluß des pH-Wertes

In Abb. 1 sind die in den Gleichgewichtslösungen von Proben aus dem A_p -Horizont einer Kalkmarsch bei pH 3-8 unter vollständig oxidierenden sowie stark reduzierenden Verhältnissen gemessenen Gehalte an Zn, Cd, Pb und Cu dargestellt. Nur die Cu-Gehalte weisen in den Lösungen der reduzierten Proben bei pH 6 - 8 deutlich niedrigere Werte auf als unter oxidierenden Bedingungen. Bei den anderen Elementen zeigt sich dagegen kein deutlicher Redoxeinfluß auf die Gehalte in den Lösungen. Die Elemente Zn, Cd und Pb weisen vielmehr unabhängig von den Redoxbedingungen im wesentlichen ein vom pH-Wert abhängiges Löslichkeitsverhalten auf (siehe HERMS und BRÜMMER, 1978a). Ausgehend von pH 3 nehmen die Zn- und Cd-Gehalte der Lösungen mit steigenden pH-Werten stark ab. Auch Pb und Cu weisen zunächst mit sinkender Azidität abnehmende Lösungskonzentrationen auf, zeigen bei pH 5 - 7 ein Löslichkeitsminimum und gehen dann bei höheren pH-Werten infolge zunehmender Löslichkeit organischer Schwermetallkomplexe wieder verstärkt in Lösung.

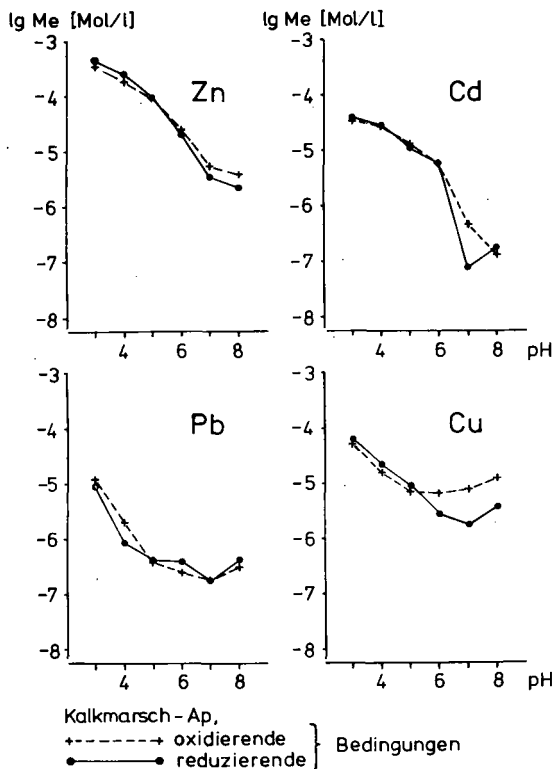


Abb. 1: Einfluß von pH-Wert und Redoxbedingungen auf die Zn-, Cd-, Pb- und Cu-Gehalte in Gleichgewichtslösungen von Proben aus dem A_p-Horizont einer Kalkmarsch

2. Einfluß löslicher organischer Komplexbildner

Die Mobilisierung von Schwermetallen bei schwach saurer bis alkalischer Reaktion durch lösliche organische Komplexbildner ist in den Lösungen von Proben mit hohen Gehalten an organischer Substanz (A_p-Horizont einer Rosterde, Abb. 2) wesentlich stärker ausgeprägt als in den Proben aus der Kalkmarsch. Unter oxidierenden Bedingungen steigen mit zunehmendem pH-Wert die Lösungsgehalte an Pb und Cu oberhalb von pH 6 bzw. 5 deutlich an, die von Zn und Cd dagegen erst bei pH 8.

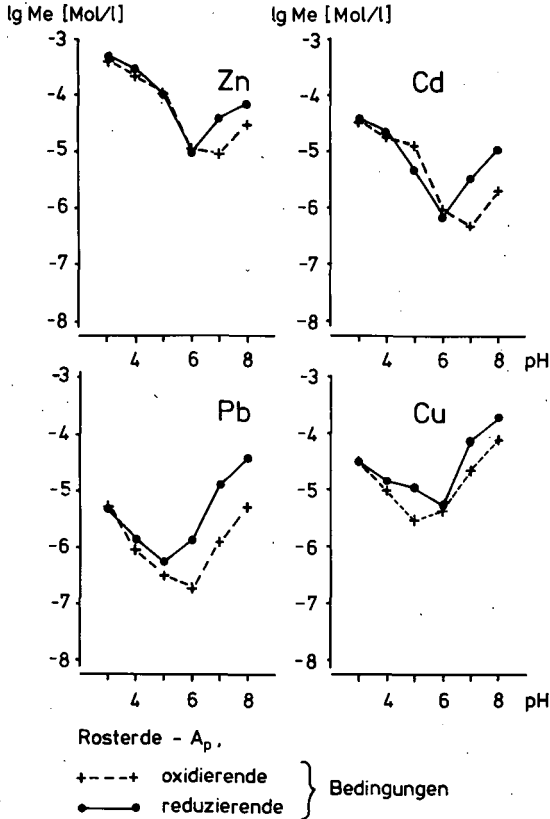


Abb. 2: Einfluß von pH-Wert und Redoxbedingungen auf die Zn-, Cd-, Pb- und Cu-Gehalte in Gleichgewichtslösungen von Proben aus dem A_p-Horizont einer Rosterde

Unter s t a r k r e d u z i e r e n d e n Verhältnissen findet eine verstärkte Mobilisierung aller vier Schwermetalle statt (Abb.2). Der Anstieg der Lösungskonzentrationen beginnt in der Regel bereits eine pH-Stufe tiefer als im oxidierenden Milieu und führt dazu, daß bei pH 7 (6) - 8 die Lösungsgehalte reduzierter Proben an Zn, Cd, Pb und Cu wesentlich höher sind als die oxidierter Proben. Auch diese Mobilisierung ist auf eine Bildung löslicher organischer Schwermetallkomplexe zurückzuführen, die im reduzierenden Milieu verstärkt stattfindet (HERMS und BRÜMMER, 1978b).

Im E_h -Bereich zwischen vollständig oxidierenden und stark reduzierenden Bedingungen sind ebenfalls deutliche Veränderungen in der Zusammensetzung, Löslichkeit und Komplexierungskraft organischer Substanzen zu erwarten. Nach AOMINE (1962) tritt in Böden unter oxidierenden Bedingungen ein mehr oder weniger vollständiger mikrobieller Abbau zersetzbarer organischer Substanzen ein. Mit sinkendem Redoxpotential werden dann bei schwach reduzierenden Bedingungen verstärkt organische Säuren wie Essigsäure, Buttersäure, Citronensäure, Milchsäure u.a. gebildet, die z.T. durch Chelatbildung zu erhöhten Schwermetallgehalten in der Lösung führen können. Unter stark reduzierenden Bedingungen werden diese Säuren dann durch mikrobielle Tätigkeit wieder abgebaut und organische Substanzen anderer Zusammensetzung wie z.B. Mercaptane u.a. (FRENEY und STEVENSON, 1966) aufgebaut.

Diese Metabolik spiegelt sich in geringem Maße auch in den Gehalten der Bodenlösungen an organischer Substanz wider. Wie Abb. 3 zeigt, steigen die Gehalte an organischer Substanz in den Lösungen von Rosterde-Proben vor allem bei pH 6 und 7 mit sinkenden Redoxpotentialen zunächst an und nehmen dann mit weiterer Erniedrigung der E_h -Werte wieder ab. Ähnliche Beziehungen wurden für alle Bodenproben festgestellt.

Die von den Redoxbedingungen abhängige Metabolik organischer Substanzen beeinflusst in starkem Maße die Löslichkeit der Schwermetalle, wie anhand der in Abb. 4 dargestellten Cu-Gehalte in den Gleichgewichtslösungen der Rosterde-Proben ersichtlich ist. Vor allem bei pH 6 - 8 - im Bereich höherer Löslichkeit organischer Schwermetall-Komplexe - zeigen die Cu-Gehalte der Lösungen bei schwach reduzierenden Bedingungen infolge erhöhter Bildung organischer Komplexbildner ein deutliches Maximum. Mit weiter sinkenden Redoxpotentialen und abnehmenden Mengen an gelöster organischer Substanz gehen auch die Cu-Gehalte der Lösungen wieder zurück. Bei sehr tiefen E_h -Werten findet jedoch ein erneuter Anstieg der Gehalte an Cu - wie auch der anderen Schwermetalle - in der Lösung statt (vgl. Cu-Lösungskonzentration bei pH 7 und 8 in Abb. 4), obwohl die Gehalte an gelöster organischer Substanz keine Zunahme zeigen. Unter sehr stark reduzierenden Bedingungen entstehen damit offenbar organische Substanzen anderer Zusammensetzung und wesentlich größerer Komplexierungskraft als bei höheren E_h -Werten. Möglicherweise werden verstärkt lösliche organische Komplexe mit Sulfhydrylgruppen gebildet (FRENEY und STEVENSON, 1966).

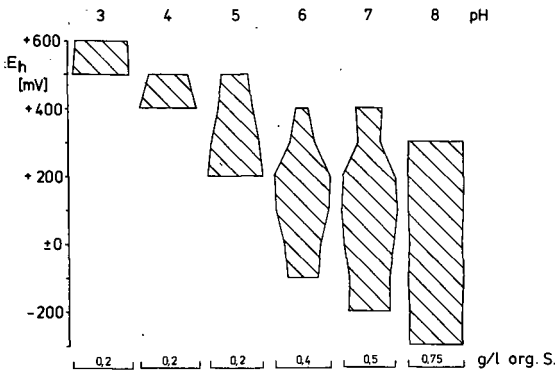


Abb. 3

Rosterde-A_p

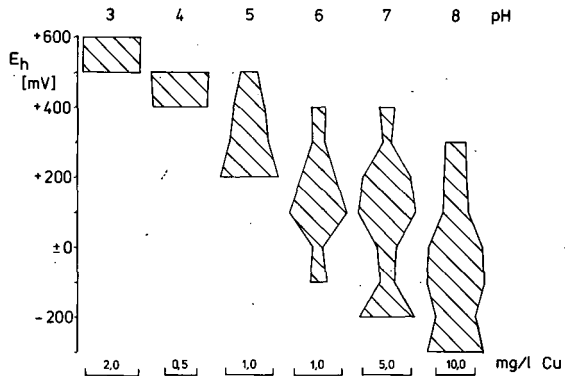


Abb. 4

Rosterde-A_p

Abb. 3 und 4: Gehalte an organischer Substanz und Cu in Gleichgewichtslösungen von Proben aus dem A_p-Horizont einer Rosterde bei unterschiedlichen pH-Werten und Redoxpotentialen

Die unter stark reduzierenden Bedingungen auftretenden organischen Schwermetallkomplexe können z.T. so stabil sein, daß die Schwermetalle aus ihnen nicht einmal durch Sulfide vollständig auszufällen sind (HERMS und BRÜMMER, 1978b). Auch in den unter reduzierenden Bedingungen sehr sulfidreichen Proben des marinen Schlicks (Abb.5) steigen die Schwermetallgehalte der Lösungen von pH 7 zu pH 8 - entgegen der mit zunehmendem pH stark abnehmenden Löslichkeit der Schwermetallsulfide - z.T. wieder beträchtlich an.

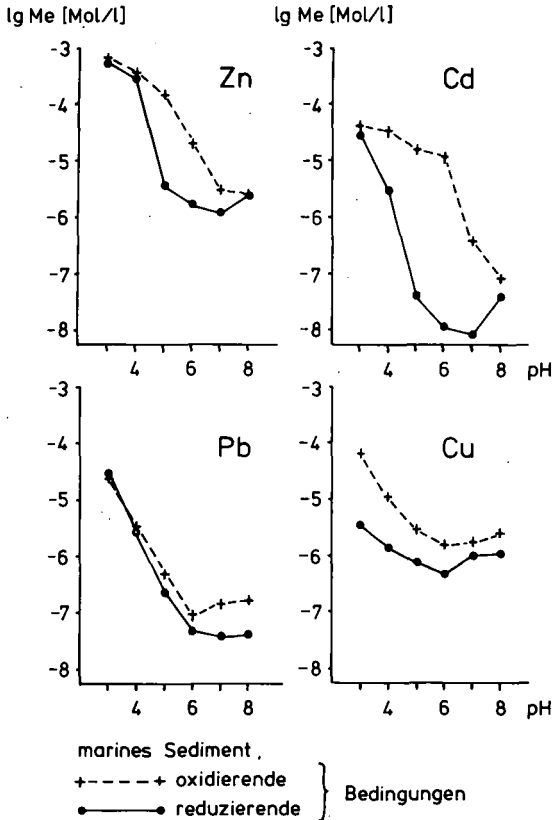


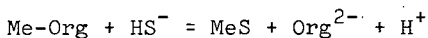
Abb. 5: Einfluß von pH-Wert und Redoxbedingungen auf die Zn-, Cd-, Pb- und Cu-Gehalte in Gleichgewichtslösungen von Proben aus einem marinen Schlick

3. Einfluß von Sulfiden

Insgesamt liegen die Schwermetallgehalte der Lösungen anaerob inkubierter, sulfidreicher Schlickproben - anders als bei schwefelarmen Bodenproben (vgl. Abb. 1 und 2) - durchweg unter denen aerob inkubierter, sulfidfreier Schlickproben (Abb. 5). Die Cu-Gehalte der Lösungen sind bei allen pH-Werten beträchtlich verringert, die Pb-Gehalte vor allem bei pH 6 - 8 - im Bereich starker Sulfidbildung. Die Zn-Löslichkeit geht bei pH 5 - 7 ebenfalls deutlich zurück. Die größten Differenzen zeigt das Cd, dessen Löslichkeit bei pH 4 - 8 sehr stark erniedrigt ist. Bei pH 5 und 6 liegen

die Cd-Gehalte der Lösungen oxidiertes Proben fast um das tausenfache über denen reduzierter Schlickproben. Damit sinkt der E_h -Einfluß auf die Schwermetalllöslichkeit in diesen Proben in der Reihenfolge $Cd > Cu > Zn > Pb$.

Die Abnahme der Schwermetalllöslichkeit in sulfidreichen Proben dürfte vor allem durch die Bildung unlöslicher Schwermetallsulfide bedingt sein. Vor allem bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion wird jedoch die Sulfidfällung durch die Mobilisierung von Schwermetallen durch organische Komplexbildner überlagert:



Die Löslichkeit der Schwermetalle wird damit sowohl durch die für die verschiedenen Elemente charakteristische Stabilität organischer Metallkomplexe als auch die (Un-)Löslichkeit ihrer Sulfide bestimmt. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Wechselwirkungen ist in einer früheren Arbeit erfolgt (HERMS und BRÜMMER, 1978b).

4. Beziehungen zwischen der Fe(III)-Reduktion und der Schwermetalllöslichkeit

Neben der Sulfidbildung scheint noch ein weiterer - mit der Reduktion von Fe(III)-Oxiden verknüpfter - redoxabhängiger Mechanismus auf die Schwermetallgehalte der Lösungen einwirken zu können.

In den Abb. 6 und 7 sind die bei definierten pH- und E_h -Werten gemessenen Cd- und Cu-Gehalte in den Lösungen des marinen Schlickes dargestellt. Die gestrichelten Linien geben jeweils die für anorganische Systeme berechneten E_h - und pH-abhängigen Stabilitätsbereiche von CdS und CuS an. Aus den Abbildungen ist ersichtlich, daß die Lösungsgehalte von Cd und Cu schon bei Redoxpotentialen weit oberhalb des Fällungsbereiches von CdS und CuS deutlich zurückgehen.

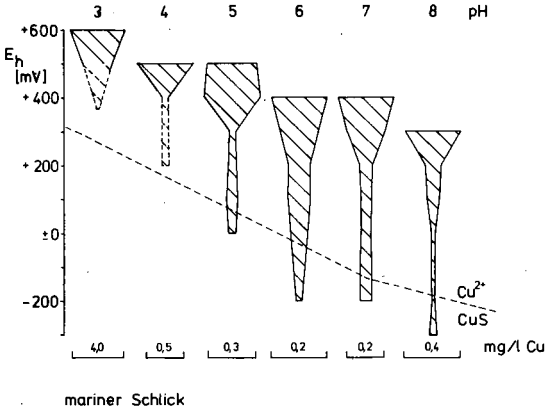


Abb. 6

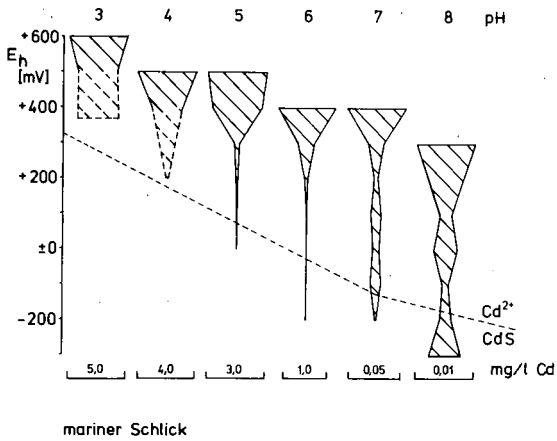


Abb. 7

Abb. 6 und 7: Cu- und Cd-Gehalte in Gleichgewichtslösungen von Proben aus einem marinen Schlick bei unterschiedlichen pH-Werten und Redoxpotentialen (Sulfidbildungsgrenze berechnet für eine Schwefelaktivität von 10^{-1} mol/l und die gemessenen Cu- und Cd-Gehalte der Lösungen)

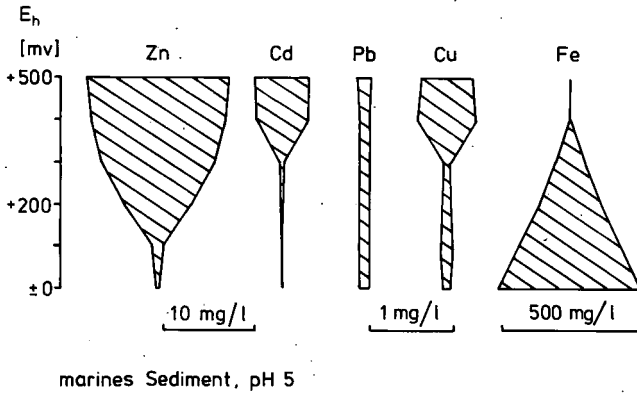


Abb. 8: Einfluß unterschiedlicher Redoxpotentiale auf die Zn-, Cd-, Pb-, Cu- und Fe-Gehalte in Gleichgewichtslösungen von Proben aus einem marinen Schlick bei pH 5 und E_h -Werten von +500 bis \pm 0 mV

Abb. 8 zeigt am Beispiel von Proben aus dem marinen Schlick, daß mit dem Auftreten von Fe in den Gleichgewichtslösungen deren Gehalte an Cd und Cu sehr stark abnehmen. Ein Rückgang der Zn-Gehalte findet dagegen erst bei höheren Fe^{2+} -Gehalten statt, während die Pb-Gehalte keine Veränderungen zeigen. Damit ist die bereits erwähnte Reihenfolge in der Redoxabhängigkeit der Schwermetalle (siehe Absatz 3) auch aus diesen Ergebnissen abzuleiten. Die Abnahme der Schwermetallgehalte mit zunehmenden Fe^{2+} -Gehalten könnte auf eine verstärkte Sorption von Schwermetallionen an durch Reduktionsvorgänge aktivierten Oberflächen von Fe-Oxiden oder auf einen Einbau zweiwertiger Schwermetallionen in neugebildete Fe^{II} - Fe^{III} -Oxide zurückzuführen sein.

Insgesamt können sehr unterschiedliche pH- und E_h -abhängige Einflußgrößen auf die Schwermetalllöslichkeit in Böden und Sedimenten einwirken. Der tatsächliche Schwermetallgehalt der Bodenlösungen ist stets als die Resultierende aus dem Miteinander- oder auch Gegeneinanderwirken der oben beschriebenen Einflußgrößen zu betrachten. Die Schwermetalllöslichkeit kann deshalb in Böden mit unterschiedlichem Stoffbestand trotz gleicher E_h - und pH-Bedingungen in Abhängigkeit von der Art und Intensität der Löslichkeitsbestimmenden Mechanismen sehr unterschiedlich sein.

Zusammenfassung:

Die Ergebnisse von Modellversuchen zeigen, daß in Böden mit hohen Gehalten an organischer Substanz mikrobiell gebildete, lösliche organische Komplexbildner zu einem Anstieg der Cu-, Zn-, Cd- und Pb-Gehalte in der Bodenlösung führen können. Vor allem unter reduzierenden Bedingungen kann hierdurch bei schwach saurer bis alkalischer Reaktion eine erhöhte Schwermetallmobilisierung stattfinden.

Mit beginnender Fe(III)-Reduktion und ansteigenden Fe^{2+} -Gehalten in der Bodenlösung nehmen die Lösungskonzentrationen an Cu, Zn und Cd deutlich ab. Als Ursache hierfür erscheint eine Sorption der Schwermetalle an Oberflächen von Fe-Oxiden, die durch Reduktionsvorgänge aktiviert wurden, oder eine Copräzipitation durch neugebildete Fe(II)-Fe(III)-Oxide als wahrscheinlich.

In Gegenwart von Sulfiden nimmt die Schwermetalllöslichkeit in der Regel beträchtlich ab. Infolge der Bildung löslicher organischer Metallkomplexe weisen die Bodenlösungen jedoch - vor allem bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion - auch in einem sulfidreichen Milieu höhere Schwermetallgehalte auf, als für die Löslichkeit der Schwermetallsulfide in anorganischen Systemen unter vergleichbaren E_h -pH-Bedingungen kennzeichnend ist.

Literatur:

- Anonym: Fachgruppe Wasserchemie in der Gesellschaft Deutscher Chemiker: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Verlag Chemie, GmbH, Weinheim/Bergstr., 1975
- AOMINE, S.: A review of research on redox potentials of paddy soils in Japan. Soil Sci. 94, 6-13, 1962
- FRENEY, J.R. und STEVENSON, F.J.: Organic sulfur transformations in soils. Soil Sci. 101, 307-316, 1966
- HERMS, U. und BRÜMMER, G.: Löslichkeit von Schwermetallen in Siedlungsabfällen und Böden in Abhängigkeit von pH-Wert, Redoxbedingungen und Stoffbestand. Mitt.Dtsch.Bodenkundl. Gesellsch. 27, 23-34, 1978a
- HERMS, U. und BRÜMMER, G.: Einfluß organischer Substanz auf die Löslichkeit von Schwermetallen. Mitt.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 27, 181-192, 1978b

Schwermetall-Bilanzen und-Umsätze in
südwestdeutschen Kleinlandschaften
aus Sedimentgesteinen.

von

Schlichting, E.⁺ und Müller, D.⁺

In fünf Kleinlandschaften mit in der Folge l_e -Schiefertone > b_{α} -Tonstein > km_1 -Mergelton > l_{α} -Sandstein > km_4 -Sandstein sinken - den lithogenen Schwermetall (SM) -Gehalten der Böden (Tab.1) wurde untersucht, ob deren SM-Umsätze und -Bilanzen sich wesentlich unterscheiden.

Zur Erfassung des Umsatzes wurden Freiland-Niederschläge (Regenmesser), Bodensickerwässer (keramische Kerzen in 40cm und 80cm Tiefe), Quellen und Abflüsse (Wehre und Meßpegel) regelmäßig beprobt und die SM-Gehalte in Lösung und Schweb (>0,45µm) mittels AAS bestimmt.

Die in Tab.2 für zwei Einzugsgebiete dargestellten Daten zeigen - außer unerwartet hohen Mn-Gehalten im Niederschlag und einem möglicherweise durch die größere Quellferne bedingten höheren Schwebanteil im Austrag beim b_{α} -Gebiet - höhere Austräge im l_e -Gebiet. Diese sind aber mehr auf den dort höheren Abfluß als auf dessen Konzentrationen (Ausnahme Zn und Cd) und diese mehr auf höhere Vorräte als auf deren Mobilität zurückzuführen. Auch zwischen den anderen Einzugsgebieten unterscheiden sich die Abflußkonzentrationen weniger als erwartet, offenbar weil umgekehrt zu den Vorräten deren Mobilität (geprüft an $CaCl$ -extrahierten Anteilen) sinkt.

Die Daten lassen ferner erkennen, daß die Böden dieser Einzugsgebiete (zumindest derzeit) als Senken (besonders für Cd und Pb) wirken, das aber nicht durchgängig, da die häufigste Konzentrationsabfolge an verschiedenen Fluß-Stationen in der Abb. (Niederschlag < Bodenlösung (40cm) > Bodenlösung (80cm) >> Quellen < Abfluß (Ausnahme: Pb im Niederschlag)) auf eine Mobilisierung im Solum und eine Immobilisierung im Untergrund und/oder Gewässer deutet.

Die - negativen - Profilbilanzen zeigen jedoch, daß lange Zeit die Quellfunktion überwogen haben muß, und die aus Bilanzen und geschätzten Sickerwassermengen rekonstruierten mittleren Abflußkonzentrationen in der Vergangenheit sind meist höher als die derzeitigen.

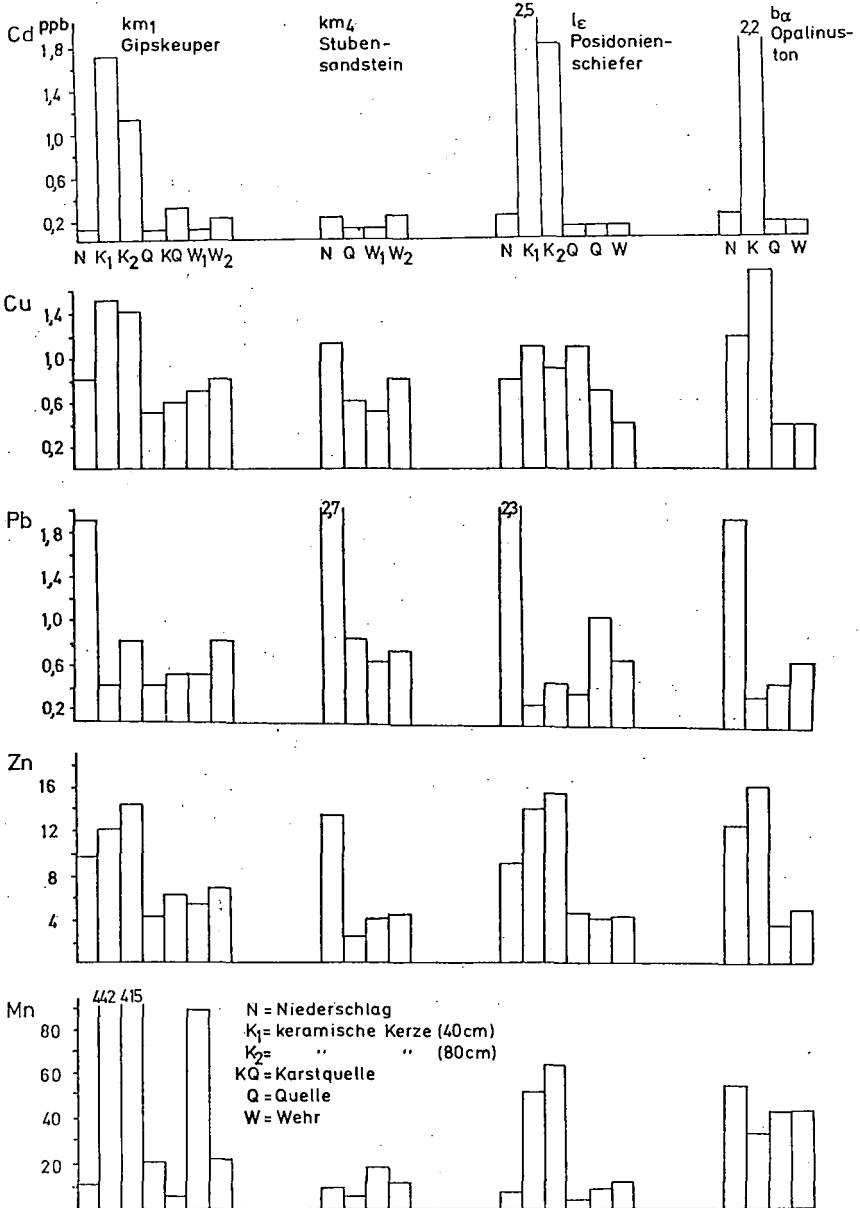
Tab.1 Schwermetallvorräte in Gestein und Solum (g/to)

Petrographie		Cd	Cu	Pb	Zn	Mn
km ₁ -Mergelton (Gipskeuper)	Solum	0,08 - 0,11	21 - 25	16 - 22	55 - 57	732 - 789
	Gestein	0,11 - 0,21	25	15 - 47	47 - 67	720 - 1030
km ₄ -Sandstein (Stubensandstein)	Solum	0,06 - 0,08	5 - 6	11 - 15	18 - 21	323 - 743
	Gestein	0,06 - 0,10	5 - 6	5 - 13	23 - 29	240 - 840
l _α -Sandstein (Angulatensandstein)	Solum	0,12	10	31	44	(1360)
	Gestein	0,07	12	14	62	340
l _ε -Schieferton (Posidonienschiefer)	Solum	0,63 - 0,94	69 - 79	13 - 16	153 - 159	1087 - 1250
	Gestein	1,10 - 1,56	57 - 91	12 - 13	157 - 198	830 - 1400
b _α -Tonstein (Opalinuston)	Solum	0,07 - 0,13	15	18 - 21	100 - 106	586 - 689
	Gestein	0,04 - 0,08	16 - 21	15 - 20	105 - 148	530 - 660

Tab.2 Eintrag von Spurenelementen mit dem Niederschlag (N) und Austrag mit dem Abfluß (A) im hydrologischen Jahr 1978

Einzugsgebiet Kohlbrunnen (1g)								Einzugsgebiet Spundgraben (2g)						
N = 1112 mm A = 404 mm								N = 773 mm A = 197 mm						
	µg/l N (ppb)	µg/l A		Ein- trag (g/ha)	Aus- trag (g/ha)	Austrag vom		µg/l N (ppb)	µg/l A		Ein- trag (g/ha)	Aus- trag (g/ha)	Austrag vom	
		a) Lösung	b) Schweb			Eintrag (%)	Vorrat (%)		a) Lösung	b) Schweb			Eintrag (%)	Vorrat (%)
Cd	0,3	a) 0,1	0,18	3,9	0,7	179	0,16	0,3	a) 0,06	0,10	2,0	0,2	100	0,28
		b) 0,03							b) 0,04					
Cu	2,0	a) 0,7	1,1	22,2	4,5	212	0,01	3,0	a) 0,5	1,2	23,2	2,4	97	0,04
		b) 0,4							b) 0,7					
Pb	7,5	a) 0,7	1,1	34,0	4,5	54	0,05	5,5	a) 0,7	2,0	42,5	4,0	94	0,03
		b) 0,4							b) 1,3					
Zn	9,1	a) 12,6	15,1	101,2	61,0	603	0,07	15,2	a) 5,5	12,6	117,5	24,3	211	0,05
		b) 2,5							b) 7,1					
Mn	7,3	a) 15,6	18,3	31,2	73,9	910	0,01	28,2	a) 44,0	127,2	218,0	250,6	1150	0,04
		b) 2,7							b) 83,2					

Abb. Mittlere Gehalte an Schwermetallen in Niederschlägen, Sickerwässern, Quellen und Vorflutern (Lösungsfracht in $\mu\text{g/l}$)



ISSN-0343-107X

Geochemische Ausgangsgehalte von Schwermetallen in
Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer

von

LICHTFUSS, R. und BRÜMMER, G.⁺

Böden und Sedimente spielen in der Ökosphäre eine wesentliche Rolle bei der Regulierung von Stoffkreisläufen. Vor allem rezente aquatische Sedimente von Flüssen, die durch Industrie- und Wohngebiete fließen, wirken hierbei als Puffer für viele Schadstoffe, insbesondere für Schwermetalle. Bei anhaltender Zufuhr von Schwermetallen in ein Fließgewässer kommt es infolge der Pufferwirkung der Feststoffe zu einer kontinuierlichen Erhöhung der Gehalte dieser Elemente in den Sedimenten bis zu einem Vielfachen der natürlichen Ausgangsgehalte (FÖRSTNER und MÜLLER, 1974; DE GROOT et al., 1973; LICHTFUSS, 1977; LICHTFUSS und BRÜMMER, 1977). Für die Quantifizierung des Belastungsgrades von fluvialen Ökosystemen mit Schwermetallen ist die Ermittlung der g e o c h e m i s c h e n A u s g a n g s g e h a l t e in den Sedimenten eine wesentliche Voraussetzung. Neben r e g i o n a l e n U n t e r s c h i e d e n in der geochemischen Zusammensetzung muß hierbei die Abhängigkeit der natürlichen Schwermetallgehalte von der K o r n g r ö ß e n v e r t e i l u n g der Sedimente berücksichtigt werden.

Regionale Unterschiede der geochemischen Ausgangsgehalte

Am häufigsten wird für die Berechnung der Anreicherungs-faktoren von Schwermetallen in belasteten Sedimenten der sogenannte Tongesteinstandard nach TUREKIAN und WEDEPOHL (1961) als geogene Bezugsbasis verwendet. Die Schwermetallgehalte des Tongesteinstandards stellen Mittelwerte der Gehalte von verschiedenen Schiefer-tonen dar. Es ist davon auszugehen, daß diese alten Sedimente durch anthropogene Einflüsse nicht verändert und die Schwermetallgehalte dieser Gesteine ausschließlich natürlicher Herkunft

⁺Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 2300 Kiel

sind. Die globale Gültigkeit des Schiefer-tonstandards wird jedoch dadurch eingeschränkt, daß die natürlichen Ausgangsgehalte von Schwermetallen in Sedimenten regional sehr unterschiedlich sein können in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der Böden und Gesteine in den Sedimentliefergebieten. Die Gehalte des Schiefer-tonstandards selbst wurden aus Einzelwerten ermittelt, die großen Schwankungen unterlegen sind. So wird für Kupfer z.B. ein Gehalt von 45 ppm angegeben, der aus 6 Werten zwischen 18 und 73 ppm gemittelt worden ist.

Bei der Verwendung der Schwermetallgehalte von fossilen Sedimenten aus tiefer gelegenen Schichten als praezivilisatorische Basis (FÖRSTNER und MÜLLER, 1974; FÖRSTNER und REINECK, 1974) können die regionalen natürlichen Besonderheiten der Geochemie rezenter Sedimente eher berücksichtigt werden. Dies gilt auch für alte Marsch- und Auenböden, die seit der Industrialisierung nicht mehr überflutet worden sind (SALOMONS und DE GROOT, 1977). Es ist allerdings nicht auszuschließen, daß die natürlichen Schwermetallgehalte in fossilen Sedimenten und in Böden durch verschiedene Umlagerungsvorgänge verändert worden sind. Vor allem Böden können durch lösungschemischen Austrag an verschiedenen Elementen verarmt sein, die in den Sedimenten in natürlicher Weise angereichert vorliegen.

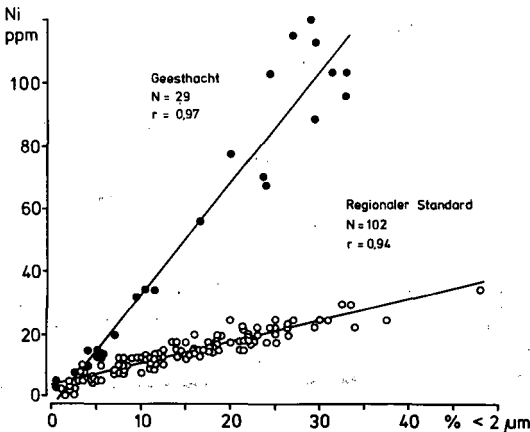
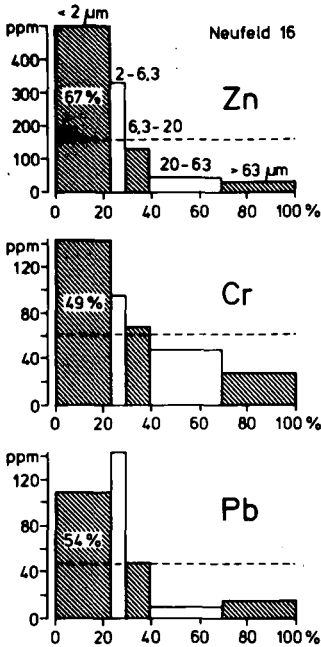


Abb.1. Beziehungen zwischen den Nickelgehalten und den Gehalten an der Fraktion <2 µm von Elbe-Sedimenten aus dem Untersuchungsgebiet Geesthacht und von nicht oder kaum belasteten Sedimenten schleswig-holsteinischer Flüsse (regionale Standardsedimente)

Die Erhebung der Schwermetallgehalte in schleswig-holsteinischen Flußsedimenten (LICHTFUSS, 1977; Analysenmethode: LICHTFUSS und BRÜMMER, 1978) zeigte, daß es regional noch rezente Sedimente gibt, die trotz der globalen Dispersion von Schwermetallen nicht oder kaum nachweisbar mit diesen Elementen belastet sind und somit regional als Bezugsbasis für die Berechnung von Anreicherungs-faktoren geeignet sind. Von insgesamt 23 Untersuchungsgebieten in der Elbe, Trave, Eider und Schwentine und im Nordseewatt sind je nach Element zwischen ein (z.B. Zn) und 8 Gebiete (z.B. Ni und Co) als nicht oder nicht nachweisbar belastet einzustufen.

Abhängigkeit der geochemischen Ausgangsgehalte von der Korngrößen-
verteilung der Sedimente

Innerhalb abgrenzbarer Untersuchungsgebiete weisen fluviale Sedi-
mente in der Regel eine enge positive lineare Beziehung zwischen
ihren Gehalten an Ton und Schwerme-
tallen auf (Abb. 1). Für den Ver-
gleich der Schwermetallgehalte in
den Sedimenten verschiedener Gebie-
te untereinander oder mit denen des
regionalen Sedimentstandards muß der
Einfluß des Faktors Körnung elimi-
niert werden.



ihren Gehalten an Ton und Schwerme-
tallen auf (Abb. 1). Für den Ver-
gleich der Schwermetallgehalte in
den Sedimenten verschiedener Gebie-
te untereinander oder mit denen des
regionalen Sedimentstandards muß der
Einfluß des Faktors Körnung elimi-
niert werden.

Zur Standardisierung dieser Eigen-
schaft wird von vielen Autoren in An-
lehnung an FÖRSTNER und MÜLLER (1974a)
die Fraktion <2 µm jeweils einer oder
weniger Sedimentproben aus einzelnen
Untersuchungsgebieten abgeschlämmt
und auf ihre Gehalte an Schwermetallen
untersucht. Für die Spurenelementbe-
stimmung ist zwar die Tonfraktion von
wesentlicher Bedeutung, da vor allem
in dieser Fraktion die Sedimentkom-
ponenten enthalten sind, die eine
hohe Bindungskapazität für Schwer-

Abb. 2. Gehalte an Zn, Cr und Pb in den verschiedenen Körnungsfractionen einer wenig belasteten Sedimentprobe aus Neufeld (Elbe-Mündungsgebiet). Abszisse unten: Anteile der Körnungsfractionen an der gesamten Probe. Gestrichelte Linien: Gesamtgehalte der nicht-fractionierten Probe

metalle besitzen. Jedoch auch in den gröberen, vor allem in den Schluff-Fraktionen können noch beträchtliche Mengen an Schwermetallen gebunden sein (Abb. 2). In der Regel nehmen die Gehalte in den Fraktionen erwartungsgemäß mit zunehmender Korngröße kontinuierlich ab (vgl. Zn und Cr in Abb. 2). Es kommt jedoch auch vor, daß die Feinschluff-Fraktion einen höheren Schwermetallgehalt aufweist als die Tonfraktion, wie z.B. in Abb. 2 die Verteilung von Pb auf die verschiedenen Fraktionen einer wenig belasteten Sedimentprobe aus Neufeld (Elbembündung) zeigt. Die Anwendbarkeit der Methode, nur die Tonfraktion auf Schwermetalle zu untersuchen, wird insbesondere dadurch eingeschränkt, daß mit der Abschlämzung der Tonfraktion zum Teil weniger als 50 % und vor allem unterschiedliche Mengen der einzelnen Elemente erfaßt werden. So sind in der Tonfraktion der Neufelder Probe (Abb. 2) 67 % des gesamten Zn, 54 % des Pb und nur 49 % des gesamten Cr enthalten. Hinzu kommt, daß zwischen nicht belasteten und belasteten Proben offenbar ebenfalls Unterschiede bestehen. Eine aus dem Untersuchungsgebiet Geesthacht (Elbemitte) stammende belastete Sedimentprobe zeigte für die meisten Schwermetalle einen Anteil von nur etwa 40 % in der Tonfraktion. Diese Befunde erfordern eine Standardisierung der Körnung, bei der alle Körnungsfractionen integriert sind.

Eine solche Standardisierung ist möglich, wenn aus den Regressionsgleichungen der Beziehung zwischen den Schwermetallgehalten und den Tongehalten (Abb. 1 und Tab. 1) für einen definierten Tongehalt die mittleren Schwermetallgehalte errechnet werden (vgl. auch DE GROOT et al., 1973). In Abb. 1 stehen die offenen Kreise für die Ni-Gehalte von 102 nicht belasteten Standardsedimentproben mit unterschiedlichem Tongehalt aus 8 verschiedenen Untersuchungsgebieten (s.o.). Aus der hoch signifikanten Beziehung zwischen Ni- und Tongehalt kann man schließen, daß das Sedimentmaterial schleswig-holsteinischer Flüsse geochemisch relativ einheitlich ist. Für den in der Regel zugrunde gelegten Tongehalt von 25 % ergibt sich damit ein Ni-Ausgangsgehalt von 21 ppm im Vergleich zu 85 ppm in den belasteten Sedimenten von Geesthacht.

Tabelle 1 zeigt die Regressionsgleichungen für die geochemischen Ausgangsgehalte aller untersuchten Elemente zusammen mit der jeweiligen Anzahl der Proben, den Korrelationskoeffizienten und den für 25 % Ton errechneten mittleren Ausgangsgehalten.

Tab.1. Regressionsgleichungen für die Beziehungen zwischen den Gehalten an Schwermetallen und der Fraktion <2 µm von nicht oder kaum belasteten Sedimenten schleswig-holsteinischer Flüsse sowie für 25 % Ton errechnete Schwermetallgehalte dieser regionalen Standardsedimente

	N	r	Reg.- Koeff.	Kon- stante	Standard(25 % <2 µm) (ppm)	
Zink	15	0,96 ⁺	3,232	13,6	94	+ 6,4 ⁺⁺
Chrom	76	0,78 ⁺	1,439	22,9	59	+ 3,6
Blei	27	0,85 ⁺	0,757	11,3	30	+ 1,8
Nickel	102	0,94 ⁺	0,690	3,3	21	+ 0,6
Kupfer	27	0,90 ⁺	0,353	6,7	15,6	+ 0,7
Arsen	64	0,80 ⁺	0,402	-0,2	9,8	+ 1,0
Kobalt	102	0,90 ⁺	0,210	2,4	7,7	+ 0,3

⁺Signifikant bei p = 0,0001

⁺⁺Konfidenzintervall (5 % Irrtumswahrscheinlichkeit)

Tab. 2. Schwermetallgehalte (ppm) des regionalen geochemischen Sedimentstandards für schleswig-holsteinische Fließgewässer (bezogen auf 25 % Ton) im Vergleich zu den Gehalten verschiedener fossiler Sedimente und des Schiefer-tonstandards

	Regio- naler Stan- dard (SH)	Rhein- Polder (15.- 16. Jhd.)	Rhein see	Boden- see	Michi- gan See	Washing- ton See	Nord- see	Schiefer- ton
Zn	94	93	115	124	129	60	100	95
Cr	59	77	47	50	77	-	60	90
Pb	30	31	30	19	40	20	20	20
Ni	21	33	-	55	54	-	30	68
Cu	15,6	21	51	30	44	15	20	45
As	9,8	12,2	-	-	11	10	-	13
Co	7,7	-	-	17	-	-	10	19

Quellen: Rhein-Polder (SALOMONS und DE GROOT, 1977)
 Rhein (FÖRSTNER und MÜLLER, 1974a)
 Bodensee (FÖRSTNER und MÜLLER, 1974b)
 Michigan See, Washington See (zit. bei FÖRSTNER, 1976)
 Nordsee (FÖRSTNER und REINECK, 1974)
 Schiefer-ton (TUREKIAN und WEDEPOHL, 1961)

Vergleich der von verschiedenen Autoren ermittelten geochemischen Ausgangsgehalte

Die mittleren Gehalte des regionalen Sedimentstandards schleswig-holsteinischer Fließgewässer sind in Tabelle 2 den von anderen Autoren durch die Analyse fossiler Sedimente oder alter Polderböden ermittelten Ausgangsgehalten sowie den Gehalten des Schiefer-tonstandards gegenübergestellt.

Insgesamt liegen die Werte zwar in einer vergleichbaren Größenordnung, für einzelne Elemente sind jedoch beträchtliche Unterschiede festzustellen. Am ehesten sind die Gehalte des regionalen schleswig-holsteinischen Standards mit den von SALOMONS und DE GROOT (1977) ermittelten Schwermetallgehalten in 400 Jahre alten Rhein-polderböden zu vergleichen. Auch die Schwermetallgehalte von fossilen Nordseesedimenten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Werten des regionalen Standards. Der Vergleich zum oft als Basis zugrunde gelegten Schiefer-tonstandard (TUREKIAN und WEDEPOHL, 1961) zeigt, daß lediglich die Zn-Gehalte gleich groß sind. Be-trächtliche Abweichungen sind vor allem für die Gehalte an Cr, Ni, Cu und Co festzustellen.

Literatur

- FÖRSTNER, U. (1976): Lake sediments as indicators of heavy-metal pollution. *Naturwiss.* 63, 465-470
- FÖRSTNER, U. und MÜLLER, G. (1974a): *Schwermetalle in Flüssen und Seen.* Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 225 S.
- FÖRSTNER, U. und MÜLLER, G. (1974b): Schwermetallanreicherungen in datierten Sedimentkernen aus dem Bodensee und aus dem Tegernsee. *Min.Petr.Mitt.* 21, 145-163
- FÖRSTNER, U. und REINECK, H.E. (1974): Die Anreicherung von Spurenelementen in den rezenten Sedimenten eines Profilkerns aus der Deutschen Bucht. *Senckenbergiana marit.* 6, 175-184
- GROOT, A.J. DE, ALLERSMA, J.E. und DRIEL, W.van (1973): Zware metalen in fluvia-tiele en marine ecosystemen. *Sympos. Waterloopkunde in dienst van industrie en milieu*, 24.-25. Mai 1973; Publikatie no. 110 N, Sekt. 5, 27. S.
- LICHTFUSS, R. (1977): Schwermetalle in den Sedimenten schleswig-holsteinischer Fließgewässer - Untersuchungen zu Gesamtgehalten und Bindungsformen. *Diss. Kiel*, 133 S.
- LICHTFUSS, R. und BRÜMMER, G. (1977): Schwermetallbelastung von Elbe-Sedimenten. *Naturwiss.* 64, 122-125
- LICHTFUSS, R. und BRÜMMER, G. (1978): Röntgenfluoreszenzanalyse von umweltrelevanten Spurenelementen in Sedimenten und Böden. *Chem.Geol.* 21, 51-61
- SALOMONS, W. und GROOT, A.J. DE (1977): Pollution history of trace metals in sediments, as affected by the Rhine River. *Waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory.* No. 184
- TUREKIAN, K.K. und WEDEPOHL, K.H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.* 72, 175-192

Quantitäts-Intensitäts-Beziehungen von Cadmium,
Zink und Nickel in Böden unterschiedlichen Stoff-
bestandes

von

Gerth, J. und Brümmer, G.[†]

Von den mit Siedlungsabfällen und anderen anthropogenen Emissionen in die Ökosphäre gelangenden Schwermetallen weisen vor allem Cadmium, Zink und Nickel eine relativ hohe Löslichkeit in Böden und Sedimenten auf. Da insbesondere die gelösten Anteile der Schwermetalle ökologisch wirksam sind, kommt deshalb diesen drei Elementen eine besondere Bedeutung zu. Cadmium wird zwar in der Regel nur in geringer Menge emittiert, kann aber bereits bei geringen Lösungskonzentrationen stark toxisch wirken. Zink löst dagegen erst bei relativ hohen Lösungskonzentrationen Schäden aus, wird aber auch in einer vergleichsweise großen Menge emittiert. Nickel liegt in der Toxizität wie auch in den emittierten Mengen zwischen dem Cadmium und dem Zink.

Das Verhalten der Schwermetalle in Böden kann durch das Verhältnis von adsorbierten zu gelösten Anteilen und damit durch Quantitäts-Intensitäts-Beziehungen beschrieben werden. Q/I-Beziehungen bieten den großen Vorteil, daß die adsorbierten Metallmengen in Abhängigkeit von den Metallkonzentrationen in der Gleichgewichtslösung in einer Adsorptionsisotherme zusammengefaßt darstellbar sind.

Diese Arbeit hat zum Ziel, das Adsorptions- und Löslichkeitsverhalten der Elemente Cadmium, Zink und Nickel in Böden unterschiedlichen Stoffbestandes mit Hilfe von Quantitäts-Intensitäts-Beziehungen zu kennzeichnen und in Abhängigkeit vom Einfluß einzelner Bodeneigenschaften und Bodenkomponenten darzustellen.

[†]Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr.40-60, 2300 Kiel

Material und Methoden

Für die Ermittlung der Adsorptionsisothermen wurden je Element bis zu 14 Lösungen unterschiedlicher Metallkonzentration mit Bodenmaterial homogenisiert. Die Lösungen enthielten zwischen 1 und 1000 mg Me/l (pH 4) und waren mit entsprechenden Radioisotopen markiert. Das Verhältnis von Boden zu Lösung wurde möglichst eng gewählt, um in etwa natürlichen Verhältnissen zu entsprechen. In der Regel betrug das Verhältnis 1:1, bei stark tonhaltigen Böden 1:1,5. Die Gleichgewichtseinstellung dauerte bis zu 48 h. Die Suspensionen wurden anschließend filtriert, die Gleichgewichtskonzentration in der klaren Lösung durch Flüssigszintillationsmessung bestimmt und die im Boden adsorbierte Metallmenge durch Differenzbildung ermittelt.

Die untersuchten Böden, die alle ackerbaulich genutzt werden, umfassen eine Kalkmarsch, zwei Lessivés, zwei Braunerden, eine Rosterde und einen Podsol. Neben den A_p -Horizonten wurden auch die Unterböden untersucht. Mit der Auswahl dieser Böden ergibt sich ein weites Spektrum unterschiedlicher Stoffbestände.

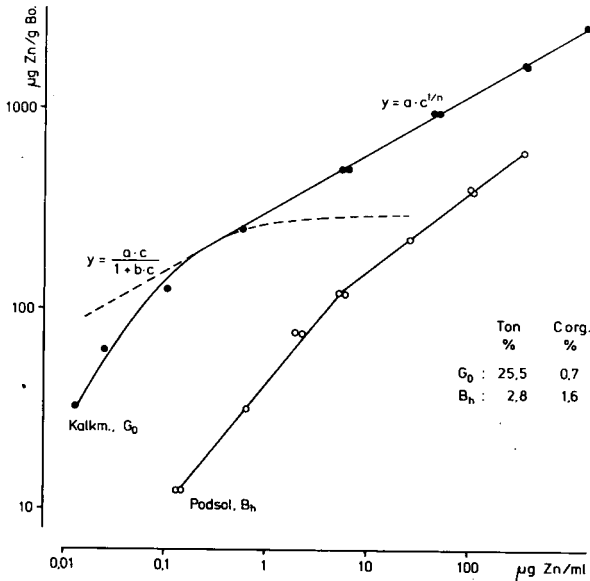


Abb.1: Zink-Adsorptionsisothermen für Bodenproben aus dem G_0 -Horizont einer Kalkmarsch und aus dem B_0 -Horizont eines Podsols (Erklärungen im Text)

Ergebnisse und Diskussion

1. Allgemeine Form der Cd-, Zn- und Ni-Adsorptionsisothermen

In Abb. 1 sind die Zn-Adsorptionsisothermen für Proben aus dem G₀-Horizont einer Kalkmarsch und aus dem B_h-Horizont eines Podsolis dargestellt. Die Q/I-Beziehung für die Kalkmarsch-Proben wird im Bereich höherer Konzentrationen durch eine im doppelt-logarithmischen Maßstab lineare Freundlich'sche Adsorptionsisotherme beschrieben:

$$y/m = a \cdot c^{1/n}$$

y/m = adsorbierte Stoffmenge pro Gewichtseinheit Boden;

a, 1/n = Konstante; c = Stoffkonzentration in der Gleichgewichtslösung.

Der Bereich niedriger Konzentrationen kann dagegen besser durch eine Langmuir'sche Adsorptionsisotherme gekennzeichnet werden:

$$y/m = \frac{a \cdot c}{1+b \cdot c}$$

a, b = Konstante.

Vor allem bei Bodenproben mit höheren Ton- und Fe-Oxid-Gehalten ist die Langmuir'sche Isotherme am besten im Bereich geringer Zn-Adsorption und -Löslichkeit angepaßt.

Bei Proben aus einem schwach adsorbierenden Podsol-B_h-Horizont weist die Q/I-Beziehung für Zink zwei lineare, in der Steigung unterschiedliche Abschnitte auf, die durch zwei Freundlich'sche Isothermen beschrieben werden können (Abb. 1).

Die Q/I-Beziehungen für Cd und Ni sind ebenfalls durch zwei unterschiedliche Kurvenbereiche gekennzeichnet, wobei jedoch auch der bei niedriger Konzentration steil ansteigende Abschnitt stets linear ist (vgl. STREET et al., 1977). Da die Steigung der Adsorptionsisothermen ein Maß für die Stärke der Bindung darstellt, deuten die Steigungsunterschiede in den beiden Abschnitten auf verschiedenartige Bindungsmechanismen bei der Adsorption hin (STREET et al., 1977). Wahrscheinlich kennzeichnet der untere, steil verlaufende Abschnitt den Bereich einer *s p e z i f i s c h e n* Adsorption, während der obere, flacher ansteigende Kurventeil auf eine *u n s p e z i f i s c h e* Bindung hindeutet (vgl. TILLER et al., 1979).

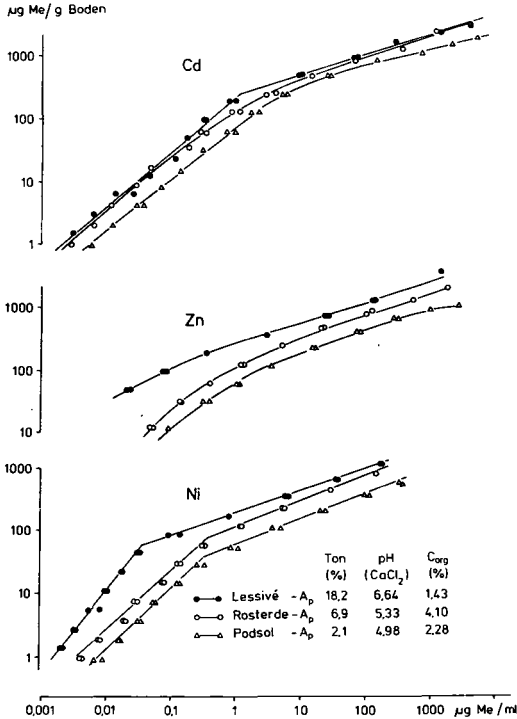


Abb.2: Cd-, Zn- und Ni-Adsorptionsisothermen für Bodenproben aus A_p-Horizonten eines Lessivés, einer Rosterde und eines Podsols

2. Vergleichende Betrachtung von Cd-, Zn- und Ni-Adsorptionsisothermen verschiedener Böden

Durch vergleichende Betrachtungen von Adsorptionsisothermen sich stofflich stark unterscheidender Böden werden Einflüsse einzelner Bodenkomponenten auf die Adsorption deutlich. In Abb. 2 sind die Cd-, Zn- und Ni-Adsorptionsisothermen der A_p-Horizonte eines Lessivés, einer Rosterde und eines Podsols dargestellt. Aus dem Verlauf der Adsorptionsisothermen ist ersichtlich, daß diese Böden in Abhängigkeit von ihrem Stoffbestand beträchtliche Unterschiede im Adsorptionsvermögen für Zink und Nickel aufweisen, aber nur relativ geringe für Cadmium. Der A_p-Horizont des Lessivés besitzt einen viel höheren pH-Wert und Tongehalt als der Rosterde-A_p, der trotz seines höheren Gehaltes an organischer Substanz sehr viel weniger Zn und Ni adsorbiert. Der A_p-Horizont des Podsols weist

den niedrigsten pH-Wert und den geringsten Tongehalt auf und zeigt damit die geringste Zn- und Ni-Adsorption. Die Cd-Adsorption wird offenbar nicht nur vom Tongehalt und pH-Wert, sondern in besonderem Maße auch vom Gehalt an organischer Substanz beeinflusst (vgl. LEVI-MINZI et al., 1976). So weisen die Humusgehalte in den A_p -Horizonten des Podsol und der Rosterde höhere Werte auf als im A_p -Horizont des Lessivés und sind damit offenbar als Ursache dafür anzusehen, daß die Cd-Adsorption aller drei Böden geringere Unterschiede aufweist als die Zn- und Ni-Adsorption.

3. Cd-, Zn- und Ni-Adsorption bei konstanter Metall-Löslichkeit

Durch die Auswahl der Böden bedingt besteht zwischen den pH-Werten und Tongehalten der untersuchten Bodenproben eine enge positive Korrelation. Damit ist nicht ohne weiteres ersichtlich, welche der beiden Größen den entscheidenden Einfluß bei der Adsorption ausübt. Aus den Ergebnissen statistischer Analysen wird jedoch deutlich, daß der pH-Wert der Böden die engste Beziehung zur adsorbierten Metallmenge aufweist. Dies ist auch aus den in Tabelle 1 aufgeführten Gehalten an adsorbiertem Cd, Zn und Ni ersichtlich, die für konstante Metallkonzentrationen in der Gleichgewichtslösung von $0,1 \mu\text{g/ml}$ aus den Adsorptionsisothermen für drei von insgesamt sieben untersuchten Böden zusammengestellt wurden. Die gewählte Lösungskonzentration von $0,1 \mu\text{g Metall/ml}$ liegt - bis auf einzelne Ausnahmen - bei allen Bodenproben auf dem steil verlaufenden Abschnitt der Adsorptionsisothermen, der vermutlich die spezifische Adsorption beschreibt und die ökologisch relevanten Adsorptionsreaktionen kennzeichnet.

Beim Lessivé ist die Zn- und Ni-Adsorption im Oberboden recht hoch (Tab. 1) und zeigt damit, daß die organische Substanz auch die Zn- und Ni-Adsorption stark fördert. Im B_{vt} -Horizont nehmen die adsorbierten Mengen beider Elemente ab und steigen dann mit zunehmendem pH zum C_{ca} -Horizont hin sehr stark an. Die für die Adsorption entscheidende Größe ist der pH-Wert, da der Tongehalt mit zunehmender Bodentiefe sogar geringfügig abnimmt. Die Gehalte an adsorbiertem Cd liegen insgesamt viel tiefer und steigen weniger stark mit zunehmendem pH des Bodens an. Bei der Braunerde mit deutlich niedrigeren pH-Werten ist der Unterschied zwischen den Gehalten an adsorbiertem Zn und Ni einerseits und Cd andererseits weniger stark ausgeprägt, im stark sauren Podsol bei pH-Werten um und unter 5 dagegen nicht mehr vorhanden. Die Gehalte an adsorbiertem Metall

in den verschiedenen Horizonten des Podsolis spiegeln sehr deutlich die unterschiedliche Sorptionskapazität vor allem in Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz wider.

Tab. 1: Adsorbierte Cd-, Zn- und Ni-Mengen bei 0,1 µg Me/ml Bodenlösung

Boden	Horizont Tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	C _{org} (%)	Ton (%)	µg Me/g Boden		
					Cd	Zn	Ni
Lessivé	A _p 0-27	6,64	1,43	18,2	27,5	100,0	89,1
	B _{vt} - 49	6,69	0,43	25,5	22,9	50,1	50,1
	SB _{vt} - 85	6,74	0,25	23,7	25,1	31,6	39,8
	SB _v C - 105	7,07	0,19	22,4	34,6	50,1	70,8
	C _{Ca} - 120	7,80	0,03	17,1	39,8	199,5	158,5
Braunerde	A _p 0- 20	5,52	1,84	10,3	15,8	20,0	20,0
	B _{v1} - 40	5,34	0,71	8,0	7,9	12,6	6,3
	B _{v2} - 60	5,38	0,29	7,1	2,5	6,3	7,9
Podsol	A _p 0- 32	4,98	2,28	2,1	10,0	10,0	11,2
	E - 42	5,03	0,42	1,4	4,8	3,2	7,9
	B _h - 48	4,54	1,62	2,0	10,5	8,9	10,0
	B _{fe} - 60	4,61	0,67	5,0	2,0	2,0	2,5
	C - 80	4,74	0,36	2,9	0,4	0,5	0,5

In Abb. 3 ist die Abhängigkeit der Cd-, Zn- und Ni-Adsorption bei 0,1 µg Me/l Gleichgewichtslösung vom pH-Wert des Bodens für alle untersuchten Böden zusammengefaßt dargestellt. Die drei Kurven haben bis zu einem pH von 6 einen nahezu gemeinsamen Verlauf. Während die Zn- und Ni-Adsorption bei höheren pH-Werten sehr stark ansteigt und damit einer logarithmischen Funktion folgt, werden die Cd-Werte am besten durch eine relativ schwach ansteigende Gerade approximiert.

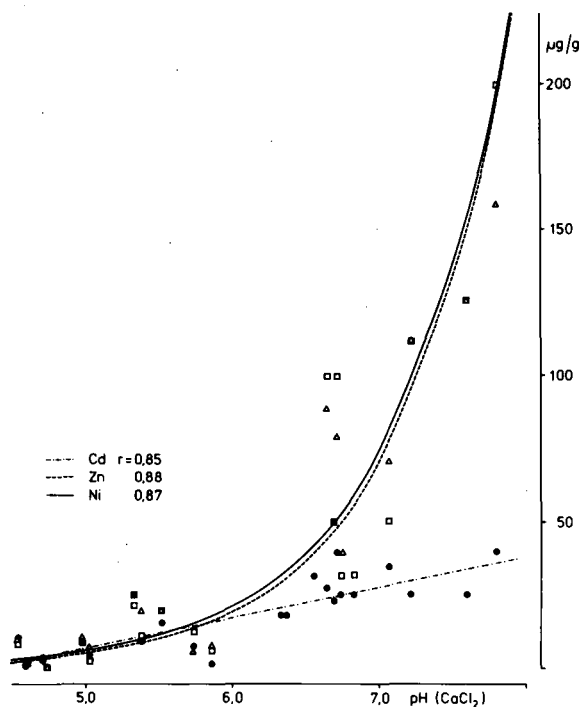
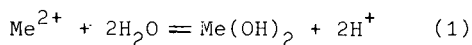


Abb. 3: Beziehung zwischen dem Gehalt an adsorbiertem Cd, Zn und Ni (bei konstanter Lösungskonzentration von 0,1 µg Me/ml) und dem pH-Wert der untersuchten Bodenproben (● Cd, □ Zn, △ Ni)

Die im Vergleich zu den Gehalten an adsorbiertem Zn und Ni bei pH-Werten über 6 deutlich niedrigeren Cd-Gehalte sind wahrscheinlich ursächlich mit pH-abhängigen Adsorptionsvorgängen verknüpft. Hierfür wird vor allem die Adsorption von Hydroxo-Metall-Komplexen oder auch die Fällung von Metallhydroxiden an hydroxylierten Oberflächen von Bodenpartikeln als entscheidend angesehen (HODGSON et al., 1964; KALBASI et.al., 1978). Die Entstehung der Metallhydroxide erfolgt nach der Gleichung



Die pK-Werte dieser Reaktion betragen für

Ni 12,2, Zn 12,3 und Cd 14,3,

so daß die Bildung von Cd-Hydroxid erst bei deutlich höheren pH-Werten einsetzt als die von Ni- und Zn-Hydroxid. Dieser Unterschied

in den chemischen Eigenschaften der drei Metalle könnte das annähernd vergleichbare und in starkem Maße pH-abhängige Adsorptionsverhalten von Ni und Zn sowie die abweichende, weniger stark pH-abhängige Adsorption von Cd erklären.

Für die Bildung der Hydroxo-Metall-Ionen, die nach der Gleichung

$$\text{Me}^{2+} + \text{H}_2\text{O} = \text{MeOH}^+ + \text{H}^+ \quad (2)$$

stattfindet, liegt nur für das Zink ein verlässlicher pK-Wert vor (9,66). Möglicherweise gleichen sich auch in diesem Fall die pK-Werte für Ni und Zn, während der entsprechende Wert für Cd wiederum höher liegen könnte. Weitere Hinweise zum Adsorptionsmechanismus ergeben sich aus dem pH-abhängigen Löslichkeitsverhalten der drei Metalle.

4. Cd-, Zn- und Ni-Löslichkeit bei konstanter Menge an adsorbierten Metallen

In Abb. 4 sind die im Gleichgewicht mit einer adsorbierten Metallmenge von 1 $\mu\text{mol/g}$ Boden in der Gleichgewichtslösung vorhandenen Cd-, Zn- und Ni-Konzentrationen (mol/l) als negative Logarithmen in Abhängigkeit vom pH dargestellt. Der gewählte konstante Gehalt an adsorbierten Metallen liegt wiederum bei allen Bodenproben im Bereich des steil ansteigenden Abschnittes der Adsorptionsisothermen (vgl. Abb. 1 und 2). Die im oberen Teil von Abbildung 4 dargestellten Regressionsgeraden für die pH-abhängige Ni-, Cd- und Zn-Löslichkeit wurden für Horizonte mit viel organischer Substanz berechnet (A_p -, B_h -Horizonte). Die im unteren Teil der Abbildung liegenden Geraden beziehen sich dagegen auf Unterboden-Horizonte mit sehr geringen Gehalten an organischer Substanz (E -, B_{fe} -, B_v -, B_{vt} -, C -Horizonte).

Die Beziehung zwischen der Cd-Löslichkeit und der Bodenreaktion weist für die humusreichen Horizonte von allen berechneten Geraden die geringste Steigung (0,35) auf. Damit ist der pH-Einfluß auf die Cd-Löslichkeit in den A_p - und B_h -Horizonten am geringsten.

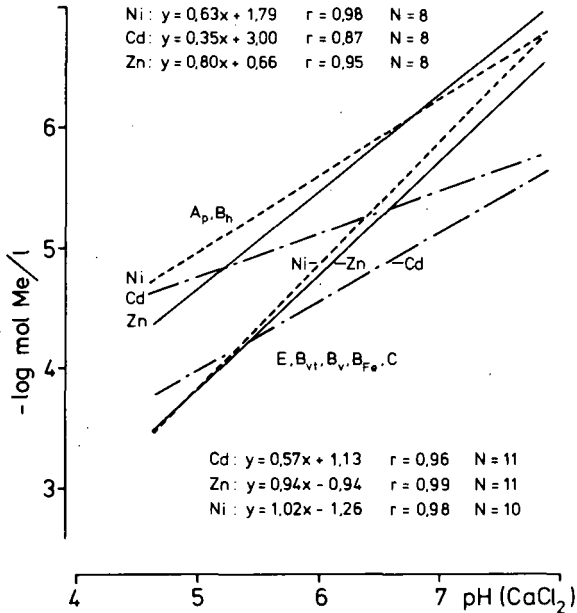


Abb. 4: Beziehung zwischen der Cd-, Zn- und Ni-Löslichkeit (bei konstantem Gehalt an adsorbierten Metallen von $1 \mu\text{mol/g}$ Boden) und dem pH-Wert der untersuchten Bodenproben (Erklärung im Text)

In diesen Horizonten beeinflusst offenbar die organische Substanz des Bodens in starkem Maße die Cd-Löslichkeit und wirkt bei niedrigen pH-Werten löslichkeitssenkend und bei hohen pH-Werten löslichkeitserhöhend. Die Gehalte an Nickel und Zink in den Gleichgewichtslösungen werden dagegen weitaus stärker vom pH-Wert beeinflusst. Die Steigungen für die berechneten Geraden der A_p - und B_h -Horizonte betragen $0,63$ (Ni) und $0,80$ (Zn).

Bei den für die humusarmen Unterboden-Horizonte ermittelten Geraden weist die Steigung bei allen drei Metallen einen höheren Wert auf. Für die Cd-Gerade ergibt sich eine Steigung von $0,57$, die bei den Zn- und Ni-Geraden nahezu 1 ($0,94$ bzw. $1,02$, Abb. 4) beträgt.

Nach der in Gleichung (2) beschriebenen Reaktion wird für die Adsorption eines durch hydrolytische Vorgänge in der Lösung oder an der Oberfläche der Adsorbenten gebildeten Hydroxo-Metallions ein H^+ -Ion freigesetzt. Damit weist dann eine Beziehung zwischen den negativen Logarithmen der Lösungskonzentrationen (in mol/l) und dem pH-Wert eine Steigung von 1 auf, wie sie für Zn und Ni in der humusarmen Unterboden-Horizonten gefunden wurde. Diese Ergebnisse deuten damit auf einen entscheidenden Einfluß der pH-abhängigen Hydroxo-Metallionen-Bildung auf die Zn- und Ni-Adsorption hin. Beim Cadmium ist dagegen vermutlich erst bei höheren pH-Werten mit einem stärkeren Hydrolyse-Einfluß auf die Adsorption zu rechnen (vgl. Abschnitt 3).

5. Cd-, Zn- und Ni-Adsorption bei hohen Metallkonzentrationen

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Bodenmerkmale auf die Schwermetall-Adsorption bei hohen Lösungskonzentrationen, die durch den flach verlaufenden Abschnitt der Adsorptionsisothermen beschrieben werden, wurden die bei 10 $\mu\text{g/ml}$ Bodenlösung adsorbierten Metallmengen mit Bodendaten korrelationsstatistisch verrechnet. Dabei erweist sich der pH-Wert des Bodens auch bei diesen Lösungskonzentrationen als wichtigste Einflußgröße für die Schwermetall-Adsorption. Außerdem ist die Kationenaustauschkapazität des Bodens von signifikanter Bedeutung. Der obere Abschnitt der Adsorptionsisothermen scheint damit vorwiegend Adsorptionsreaktionen unspezifischer Art, die wahrscheinlich mehr allgemeinen Kationenaustauschreaktionen vergleichbar sind, zu beschreiben.

Zusammenfassung

Die Adsorptionsisothermen der Elemente Cadmium, Zink und Nickel weisen zwei deutlich unterscheidbare Abschnitte verschiedener Steigung auf, die auf Adsorptionsvorgänge unterschiedlicher Spezifität hindeuten. Die Adsorption aller drei Elemente unterliegt vor allem dem Einfluß des pH-Wertes. Bei pH 4,5 - 6,0 werden bei gleichen Lösungskonzentrationen (0,1 $\mu\text{g/ml}$) auch etwa gleiche Mengen an Cd, Zn und Ni adsorbiert (in $\mu\text{g/g}$ Boden). Bei pH-Werten zwischen 6 und 8 steigt jedoch die Zn- und Ni-Adsorption

gegenüber der Cd-Adsorption stark an. Die Bedeutung von Hydrolyse-Reaktionen dieser drei Elemente für die Adsorption wird diskutiert.

Die aus den Adsorptionsisothermen für konstante Mengen an adsorbierten Metallen (1 $\mu\text{mol/g}$ Boden) ermittelten Cd-, Zn- und Ni-Lösungskonzentrationen weisen ebenfalls eine enge Beziehung zur Bodenreaktion auf.

Von den verschiedenen Bodenkomponenten beeinflusst vor allem die organische Substanz die Löslichkeit der Schwermetalle - beim Cadmium stärker als beim Nickel und Zink. In A_p - und B_h -Horizonten wirkt die organische Substanz im Vergleich zu humusarmen Unterboden-Horizonten bei niedrigen pH-Werten löslichkeitssenkend und bei hohen pH-Werten löslichkeitserhöhend.

Bei hohen Metallkonzentrationen in der Bodenlösung erweist sich neben der Bodenreaktion die Kationenaustauschkapazität als wesentliche Einflußgröße für die Schwermetall-Adsorption.

Literatur

- HODGSON, J.F., TILLER, K.G. und FELLOWS, M.: The role of hydrolysis in the reaction of heavy metals with soil-forming materials. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28, 42-46, 1964
- KALBASI, M., RACZ, G.J. und LOEWEN-RUDGERS, L.A.: Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminium oxides. Soil Sci. 125, 146-150, 1978
- LEVI-MINZI, R., SOLDATINI, G.F. und RIFFALDI, R.: Cadmium adsorption by soils. J. Soil Sci. 27, 10-15, 1976
- STREET, J.J., LINDSAY, W.L. und SABEY, B.R.: Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. J. Environ. Qual. 6, 72-77, 1977
- TILLER, K.G., NAYYAR, V.K. und CLAYTON, P.M.: Specific and non-specific sorption of cadmium by soil clays as influenced by zinc and calcium. Aust. J. Soil Res. 17, 17-28, 1979

Flüssebilanzen und aktuelle Änderungsraten der
Schwermetall-Vorräte in Wald-Ökosystemen des Sollings

von
R. Mayer⁺) und H. Heinrichs

Zusammenfassung

Die Inventur der Schwermetalle Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd und Pb wurde für ein Buchen- und ein Fichtenwald-Ökosystem im Solling auf der Grundlage gemessener Konzentrationen in der Vegetation und im Boden und deren Trockenmassen pro Hektar berechnet. Die Metallvorräte in den einzelnen Kompartimenten werden mit den gemessenen Schwermetallflüssen verglichen, die mit den Niederschlägen über und unter dem Kronendach, mit dem Sickerwasserstrom unter der Wurzelzone, mit dem Streufall und mit dem jährlichen Biomassezuwachs gekoppelt sind. Das Verhältnis zwischen den Elementvorräten im Auflagehumus und im jährlichen Streufall zeigt eine abnehmende Tendenz zur Freisetzung der Elemente bei der Zersetzung organischer Substanz (OTM) in der Reihenfolge:

$Mn > OTM > Ni > Cd > Cu > Cr \approx Zn > Co \approx Fe \approx Pb$

Die Flüssebilanz ist für beide Ökosysteme positiv (Input Output) im Falle von Cr, Fe, Cu, Cd und Pb; sie ist nahezu ausgeglichen bei Ni und Zn, negativ bei Mn und Co.

⁺) Institut für Bodenkunde und Waldernährung
der Universität Göttingen, Büsingenweg 2, D-3400 Göttingen

Die Schwermetallvorräte im Mineralboden werden durch Sickerwasser-Austrag und Einbau in die Biomasse bei allen Elementen mit Ausnahme von Zn (unter Buche), Cd und Pb abgebaut. Dementsprechend wird eine Abnahme der Metallkonzentrationen mit zunehmender Bodentiefe bei Pb festgestellt, eine Zunahme im Falle von Ni, Co, Cr, Zn, (Cu), Mn und Fe. Aus diesen Befunden wird gefolgert, daß der Niederschlags-Input von Cd und Zn während der Meßperiode höher war als in früheren Jahren, der Input von Pb dagegen niedriger. Ein Zusammenhang mit dem Inkrafttreten des Benzin-Blei-Gesetzes wird gesehen.

Große Mengen an Mn und Co gehen dem Mineralboden durch Verwitterung von Silicaten und Oxiden und Auswaschung mit dem Sickerwasser verloren. Bei der heute gemessenen Flüssebilanz würde es 50 bis 70 Jahre dauern, um die Verluste an Mn und Co in den Böden zu erklären. Die Meßdaten zeigen, daß die Schwermetall-Bilanz von Wald-Ökosystemen in Mitteleuropa, die in Bergregionen liegen und hohen Niederschlägen und häufigem Nebel ausgesetzt sind, stark beeinflusst sind durch Elementzufuhren aus der Atmosphäre als Folge anthropogener Luftverunreinigungen und deren Transport über große Entfernungen. Die Konzentrationen von Cu und Pb im Auflagehumus der untersuchten Ökosysteme haben ein Niveau erreicht, bei dem eine Schädigung der Boden-Mikroorganismen und eine Hemmung des Streuabbaus zu erwarten sind.

Umsatz von Spurenelementen in der Bärhalde und ihren Ökosystemen

von

H.W. Zöttl, K. Stahr und Fr. Hädrich ⁺

Im Rahmen des DFG-Schwerpunkts "Geochemie umweltrelevanter Spurenstoffe" untersuchen wir seit 5 Jahren die Elementverteilung und -dynamik einer minimal immissionsbelasteten Mittelgebirgslandschaft. Es ist die Talanfängsmulde an der Bärhalde im kühl-feuchten Hochschwarzwald, die überwiegend Fichtenforsten trägt (nähere Beschreibung in ZÖTTL, STAHR und KEILEN, 1977a; KEILEN, 1978).

Über die Verteilungsmuster von Spurenelementen in der Pedosphäre dieses Gebiets wurde bereits berichtet (ZÖTTL, STAHR und KEILEN, 1977b). Nachfolgend sei nun der als Wassereinzugsgebiet in sich geschlossene Untersuchungsraum bilanzmäßig betrachtet. Weiterhin sind die Umsätze in einigen repräsentativen Ökosystemen und die Bewegungen zwischen diesen zu behandeln.

Meßdaten liegen für insgesamt zwei Untersuchungsjahre vor. Für diese Ausführungen ist das Meßjahr Mai 1977 - April 1978 zugrunde gelegt. Meßanlagen und Methoden sind beschrieben in STAHR, ZÖTTL und HÄDRICH (1978).

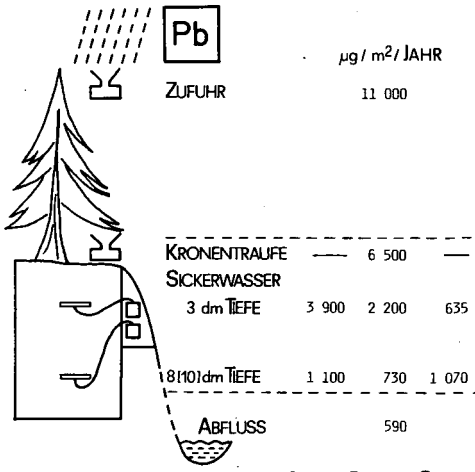
Tabelle 1 stellt die analysierten 16 Elemente mit ihren Werten für Eintrag und Austrag vor. Die dargelegten Jahressummen des Eintrags basieren auf ca. 50 im Meßjahr gewonnenen Einzelproben von jeweils drei Meßstellen. Input- wie Outputmengen der verschiedenen Elemente erstrecken sich über den Bereich von 4 Zehnerpotenzen. Dabei tritt zwischen Haupt- und Spurenelementen keine eindeutige Zäsur auf. Einige Spurenelemente wie Mn, Pb oder Zn erreichen bereits die Größenordnung der Hauptelemente Al, Fe oder P. Nach

⁺) Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstr.17, D-7800 Freiburg i.Br.

Tab. 1. Bärhalde: Elementbilanz Mai 77 - April 78

Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^2$

Element	Zufuhr	Gewinn	
		Verlust	Austrag
Be	30	-	560
Cd	450	+	140
Co	560	+	430
Cu	1 800	+	700
Mn	7 000	-	43 000
Ni	3 400	+	1 700
Pb	11 000	+	590
Zn	21 000	+	7 600
<hr/>			
Al	30 000	-	175 000
Fe	30 000	-	200 000
Ca	400 000	-	1 700 000
Mg	66 000	-	303 000
Na	170 000	-	1 700 000
K	200 000	-	540 000
P	30 000	+	12 000
Si	45 000	-	3 340 000



BÄRHALDE:

BRAUN-PODSOL OCKER-ERDE

Abb. 1

Pb-Umsätze
im Meßjahr

Mai 77 - April 78

allen unseren Meßdaten beruht der Input durchweg auf Fernimmission.

Die Austragsmengen errechnen sich aus der Summierung der an einem Meßwehr wöchentlich genommenen Proben des Abflußwassers der Kleinlandschaft. Gegenüber dem Eintrag sind deutliche Verschiebungen erkennbar, wengleich die Spanne der Werte nur unwesentlich zugenommen hat. Insgesamt liegen die Werte für den Output um eine Zehnerpotenz höher als für den Input. Unter den Hauptelementen dominieren Si, Ca und Na. Mit Ausnahme von Mn und Be werden alle untersuchten Spurenelemente in geringerer Menge ausgetragen als eingetragen. Durch dieses Verhalten entsteht beim Austrag eine deutliche Zäsur zwischen Haupt- und Spurenelementen, die lediglich von Mn überbrückt wird.

Für die einzelnen Elemente liegen verschiedenartige Verhaltensweisen im Umsatzgeschehen vor. Sie lassen sich erkennen, wenn man die Flüsse in den Ökosystemen analysiert. In Abb. 1 - 5 läßt sich für drei ausgewählte Ökosysteme verfolgen die Veränderung der Elementmengen nach dem Durchgang durch das Kronendach, den humushaltigen Oberboden und den durchwurzelten Mineralboden. Die Entwicklung der Sickerwasserwerte beleuchtet die Verschiebungen beim Durchtritt durch die Pedosphäre. Ein Vergleich der Werte für das Sickerwasser des Unterbodens mit den Werten des "Abfluß" ist nur sehr bedingt zulässig, da es sich hier um den integralen Gebietsabfluß handelt, der sich aus den Abflüssen aller Ökosysteme zusammensetzt.

Bei Blei (Abb. 1) ist der Input trotz sehr niedriger Verkehrsbelastung des Untersuchungsgebietes ziemlich hoch. Deutlich wird die Bindung des immitierten Pb im Kronendach der Fichtenbestände und im Humus. Trotz etwas niedrigerer pH-Werte binden die mächtigen Humuslagen des Podsol offenbar deutlich mehr Pb als der Oberboden der Braunerde. Auch an den pedogenen Oxiden wird viel Pb festgelegt, was aus der hohen Differenz der Sickerwasserwerte in 3 gegenüber 8 bzw. 10 dm Tiefe bei Braunerde und Podsol deutlich wird. Dieser Bindungsmechanismus spielt im Oberboden der Ockererde vermutlich die dominierende Rolle. Die höheren Pb-Werte im Unterboden der Ockererde dürften nicht auf Mobilisierung sondern auf unvollständige Immobilisierung der zugeführten Mengen aus den hangaufwärts gelegenen Stagnogleyen zurückzuführen sein. Der geringe Wert für den Abfluß ist durch besonders starke Sorption in den Moorböden und Gleyen des Untersuchungsgebietes zu erklären.

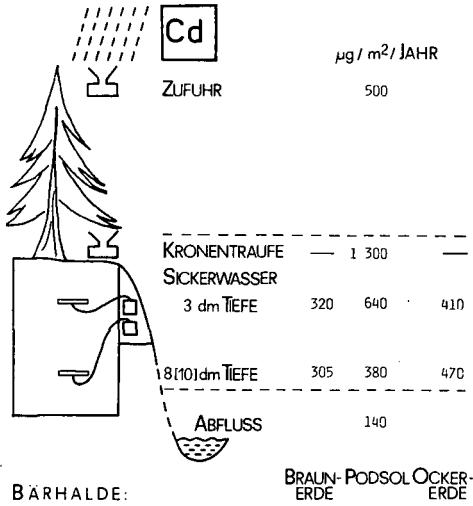


Abb. 2

Cd-Umsätze
im Meßjahr
Mai 77 - April 78

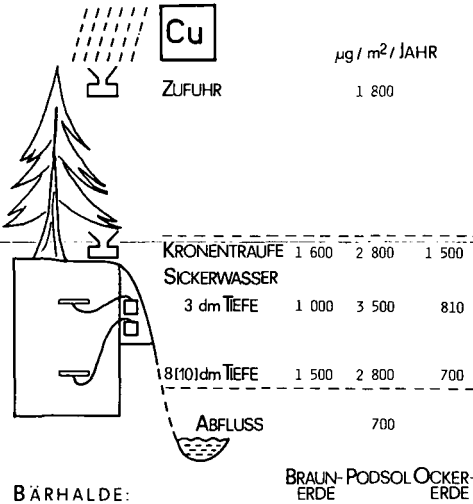


Abb. 3

Cu-Umsätze
im Meßjahr
Mai 77 - April 78

Auch bei Cadmium (Abb. 2) ist der Input in Anbetracht der Industrieferne des Untersuchungsgebietes ziemlich hoch. Auf dem Weg durch den Kronenraum erhöht sich die Cd-Menge durch Aus- oder Abwaschen auf das Dreifache. In der Bodenlösung wird relativ wenig transportiert. Die stärkste Bindung erfolgt im Oberboden - zunehmend mit steigendem pH-Wert und höherem Humusgehalt. Diese Festlegung bewirkt bei Braunerde und Podsol geringere Mengen im Unterboden. Die bei Ockererde höheren Werte im unteren Teil des Bodenprofils lassen sich wiederum durch laterale Zufuhr erklären. Der Austrag aus dem Untersuchungsgebiet ist ziemlich gering; hier ist (ähnlich wie bei Pb) eine starke Festlegung in den hydromorphen Böden mit anmoorigen bzw. Torfhorizonten anzunehmen. Derartige Böden machen immerhin rund die Hälfte der Fläche des Einzugsgebietes aus.

Kupfer (Abb. 3) wird nach unseren Daten in meßbarer Menge immitiert, andererseits auch in nennenswerter Menge aus dem Boden von der Vegetation aufgenommen. Die niedrigeren Werte im Sickerwasser des Unterbodens gegenüber dem Oberboden lassen die Cu-Festlegung im Humus und den Eisenoxiden erkennen. Diese oxidische Festlegung spielt vor allem in der Ockererde eine bedeutende Rolle, wo auch lateral zugeführtes Cu zusätzlich gebunden wird. Im stark sauren Podsol erfolgt offenbar eine starke Cu-Freisetzung bei der Verwitterung. Die umgesetzten Mengen sind im Podsol-Ökosystem weit höher als in allen anderen. Der Gebietsaustrag liegt ziemlich niedrig. Im Untersuchungsgebiet wird in den Podsolen und Braunerden der Oberhänge relativ viel Cu mobilisiert, umgesetzt und lateral verfrachtet. Die humusreichen Böden der Unterhänge und Senken sowie die Oxidationshorizonte der Ockererden legen Cu aber wieder weitgehend fest.

Die bisher besprochenen Elemente zeigten ein Verhaltensmuster, das durch verschieden starke Festlegung der immitierten Mengen in den Ökosystemen des Untersuchungsgebietes charakterisiert ist.

Beryllium (Abb. 4) verhält sich völlig anders. Beim Durchgang durch den Kronenraum verändern sich die Mengen kaum. Es findet also weder eine stärkere Adsorption an den Nadeln, noch eine deutliche Auswaschung statt. Letzteres ist verständlich, da Be keine Nährelementfunktion hat und kaum in den Biokreislauf eintritt. Die im Mineralboden transferierten Mengen sind um ein Viel-

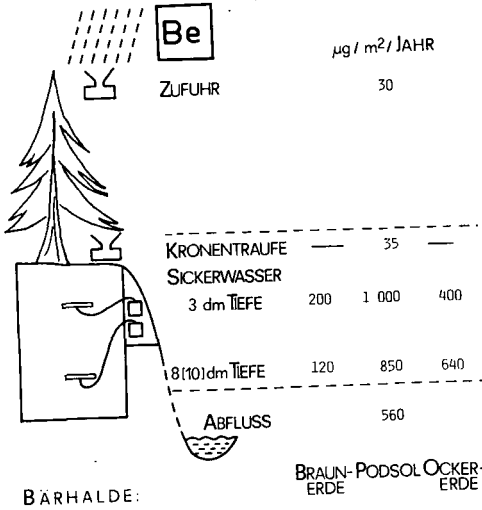


Abb. 4

Be-Umsätze
im Meßjahr

Mai 77 - April 78

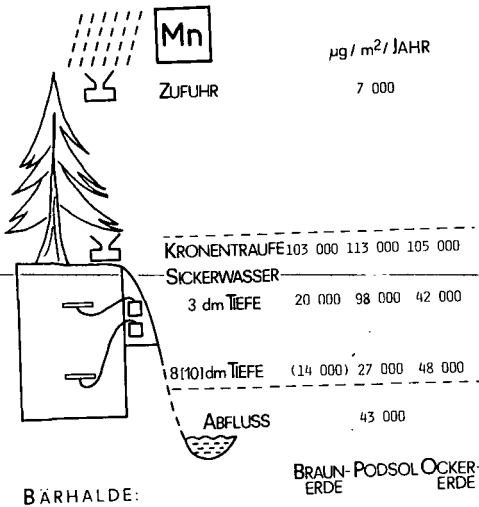


Abb. 5

Mn-Umsätze
im Meßjahr

Mai 77 - April 78

faches höher als die im Traufwasser festgestellten. Die Werte liegen in der Braunerde beim Dreifachen, im Podsol sogar beim Zwanzigfachen. Be wird (ähnlich wie Al) besonders in den sehr sauren Böden stark mobilisiert. Allerdings tritt bei Braunerden und Podsolen auf dem Weg in den Unterboden wieder eine gewisse Festlegung ein. Bei der Ockererde liegen die Mengen im Unterbodensickerwasser weit höher als im Oberboden, was wir durch lateralen Zuzug erklären. Der Gebietsaustrag beträgt etwa das Zwanzigfache des Eintrags. Dies ist bedingt durch die starke Mobilisierung in den sehr sauren Podsolen und durch eine fehlende Festlegung in den hydromorphen Böden am Hangfuß und in der Senke.

Als letztes Element sei noch Mangan (Abb. 5) erwähnt, das relativ wenig immittiert wird und infolge seiner Funktion als Nährelement sowie seiner Redoxanfälligkeit ein komplizierteres Umsatzverhalten zeigt. Mn zeigt in der Kronentraufe eine Erhöhung auf das Fünfzehnfache des Inputs - erklärlich durch die starke Einbeziehung dieses Elements in den Biokreislauf und seine relativ leichte Mobilisierbarkeit. Die Mn-Mengen im Bodensickerwasser liegen weit niedriger als im Traufwasser. Sorption am Humus und Entzug durch die Pflanzenwurzeln dürften die Ursache sein. Die Sickerwässer der stark sauren Podsole zeigen deutlich höhere Werte als die Braunerde. Im Unterboden der Ockererde sind die höheren Mn-Mengen wiederum durch lateralen Zuzug erklärbar. Der Gebietsaustrag beträgt beinahe das Achtfache der Zufuhr.

Betrachtet man nochmals die Bilanz des untersuchten Wassereinzugsgebietes für alle analysierten 16 Elemente (Tab.1), so sind die Elemente mit Gewinnen weit überwiegend Spurenelemente. Bei ihnen spielt die Immission, die Festlegung an organischer Substanz, Oxiden und Tonmineralen und häufig auch die Aufnahme in den Biokreislauf eine bedeutende Rolle. Die Elemente mit Verlusten zeigen im Verhalten ein Dominieren der Nachlieferung durch Verwitterung, Freisetzung bei Mineralisierung von organischer Substanz und pH- bzw. E_h -abhängige Löslichkeiten.

Es ist anzumerken, daß die hier aufgrund von Umsatzmessungen aufgezeigten Tendenzen zu Gewinnen oder Verlusten in der Gebietsbilanz bei einigen Elementen nicht mit den Ergebnissen von Bilanzierungen (KEILEN, 1978) aufgrund des Vergleiches von Gestein und Solum übereinstimmen. Offensichtlich hat das

aktuelle Immissionsgeschehen die Verhältnisse gegenüber früheren Epochen teilweise deutlich verändert.

Es ist problematisch, aufgrund der vorgetragenen Ergebnisse Prognosen zu wagen, wie sich künftig etwa erhöhte Immissionen auswirken würden. Jedoch läßt sich generell folgern, daß bei Elementen mit Verlusttendenz sich die Austräge erhöhen würden. Wo heute bereits Gewinne zu verzeichnen sind, dürften sich diese mindestens für eine gewisse Zeit noch weiter erhöhen.

Wir danken den zahlreichen Hilfskräften bei der oft sehr strapaziösen Gelände-
arbeit, vor allem den Herren Best, Gauer und Menge; der chem.techn.Ass.
Frau Oswald für die zuverlässige analytische Arbeit; der Deutschen For-
schungsgemeinschaft und der Wissenschaftlichen Gesellschaft in Freiburg i. Br.
für finanzielle Förderung.

LITERATUR

- KEILEN, K., 1978. Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bär-
haldegranitgebiet. Freiburger Bodenkundl. Abh. 8, 1-278.
- STAHR, K., H. W. ZÖTTL und Fr. HÄDRICH, 1978. Spurenelementtransport
(Be, Cd, Cu, Pb) in verschiedenen Ökosystemen eines kleinen
Wassereinzugsgebiets im Schwarzwald. 11. Intern. Kongress
Bodenkunde (Edmonton) 1, 296-297.
- ZÖTTL, H. W., K. STAHR und K. KEILEN, 1977a: Bodenentwicklung und
Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranits
(südl. Hochschwarzwald). Allg. Forst- u. Jagdz. 148, 185-197.
- ZÖTTL, H. W., K. STAHR und K. KEILEN, 1977b. Spurenelementverteilung
in einer Bodengesellschaft im Bärhaldegranitgebiet (Südschwarz-
wald). Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 25, 143-148.

ISSN-0343-107X

Freisetzung und Mobilität von Spurenelementen in Braunerden
und Podsolen des Bärhaldegranitgebietes

von

A. Ghanem, K. Keilen u. K. Stahr⁺⁾

Freisetzung und Mobilität von Elementen wird vor allem durch die jeweilige Verteilung des einzelnen Elementes auf die verschiedenen Bindungsformen bestimmt. Nur die Kenntnis des auf die einzelnen Bindungsformen entfallenden Anteils läßt auch bei Schadensfällen quantifizierbare Vorhersagen über das Verhalten umweltrelevanter Elemente im Boden zu (SCHLICHTING, 1979, SHUMAN, 1979).

Während die Bestimmung der in der Bodenlösung gelösten Fraktion noch relativ unproblematisch ist - die Lösung muß evtl. nur eingengt oder angereichert werden, um deutlich über die Nachweisgrenze zu gelangen - , gestaltet sich die Bestimmung der austauschbar, organisch und oxidisch gebundenen Fraktion wesentlich schwieriger. Bei den meisten bekannten Extraktionsverfahren ist die Selektivität für die Bindungsformen der Spurenelemente noch nicht bekannt. Daneben treten durch unreine Chemikalien oder hohe Salzkonzentrationen bedingte Störungen bei der eigentlichen Bestimmung auf (SEEKAMP, 1976). Auch ist die Trennschärfe der Extraktionsmittel bezüglich bestimmter Bindungsformen sehr unterschiedlich.

Nach HILDEBRAND (1974) erfaßt AEDTE vor allem die organisch gebundene Blei-Fraktion. NaOH-Lösungen sollen nach GRIMME und WIECHMANN (1969) den organisch gebundenen Eisenanteil extrahieren. Nach KEILEN, STAHR und ZÖTTL (1978) korrelieren die NaOH- und NH_4OH -löslichen Elemente C, Fe, Al und Mn sehr eng miteinander. Daraus kann man schließen, daß der NH_4OH -

⁺⁾ Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Bertoldstr.17
D 7800 Freiburg

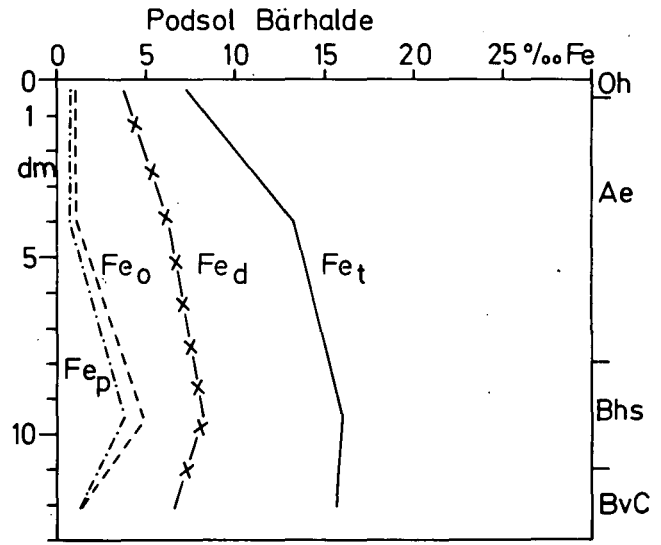
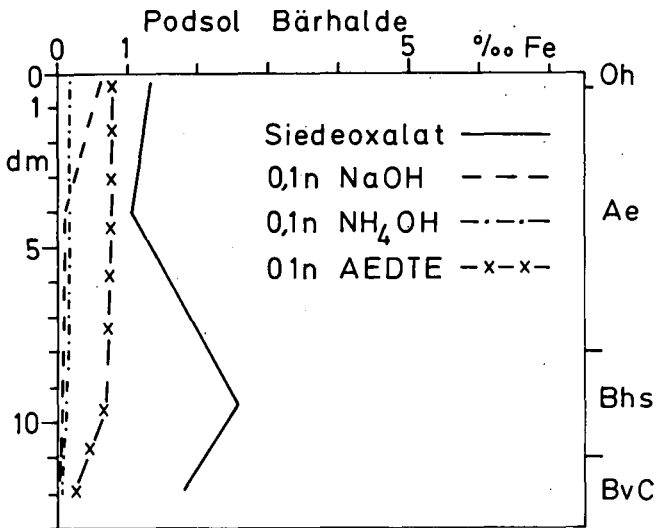
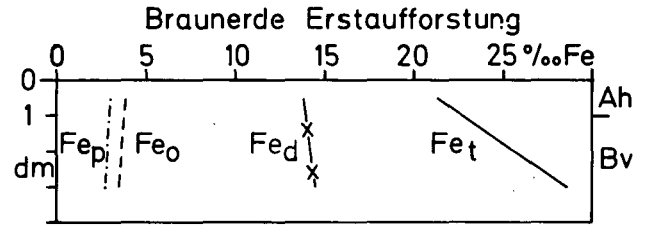
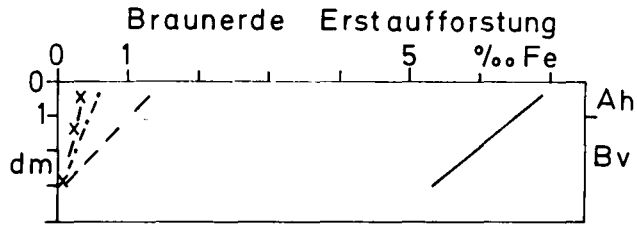


Abb. 1: Mobile Eisenfraktionen im Vergleich mit der konventionellen Eisenfraktionierung (verschiedener Maßstab). Die sechs Proben stammen aus zwei Profilen des Bärhaldegranitgebietes (KEILEN, 1978). Alle Angaben in ‰ = g/kg 105° C getrocknete Feinerde.

Extrakt etwa die gleichen Bindungsformen in ähnlichen Verhältnissen erfaßt wie der NaOH-Extrakt. Der Siedeoxalatauszug soll vor allem die oxidisch gebundene Fraktion extrahieren (SCHWERTMANN und FISCHER, mündliche Mitteilung 1978).

Um zu überprüfen, inwieweit diese Extraktionsmittel gleiche oder verschiedene Bindungsformen extrahieren, wurden an verschiedenen Bodenproben einer Braunerde und eines Eisenhumuspodsols die mit dem Siedeoxalat-, 0.1n AEDTE-, 0.1n NaOH- und 0.1n NH_4OH -Extrakt extrahierten Elemente verglichen. Der Vergleich soll sich hier auf die Elemente Fe, Mn, Pb und Cd beschränken. Die Messungen erstreckten sich auch auf weitere Spurenelemente, wie später dargestellt werden soll.

Abb. 1 zeigt die mit den untersuchten Extraktionsmitteln erhaltenen Fe-Konzentrationen im Vergleich zu der konventionellen Fe-Fraktionierung. Danach liegt das Maximum des extrahierten Fe in der Braunerde bei allen Methoden im Ah. Das siedeoxalatlösliche Fe entspricht im Ah etwa dem 10-, im Bv dem 100-fachen des AEDTE-, NaOH- und NH_4OH -löslichen Fe. Da bei allen Extraktionsmethoden die Fe-Konzentration vom Ah zum Bv abnimmt, kann man daraus schließen, daß - wie zu erwarten, - entsprechend dem Maximum des Humusgehaltes und der Verwitterungsintensität - AEDTE, NaOH und NH_4OH vor allem die organisch und Siedeoxalat vor allem die oxidisch gebundene Fraktion erfaßt. Die mit NaOH-, NH_4OH - und AEDTE extrahierte Fe-Menge liegt relativ nahe beieinander, ein Hinweis auf ähnliches Extraktionsverhalten bezüglich Fe. Na-Pyrophosphat extrahiert ca. 5 x mehr Fe als AEDTE oder NaOH oder NH_4OH . Dies bedeutet, daß ersteres mehr als nur das organisch gebundene Fe extrahiert oder die anderen drei Extraktionsmittel dieses nicht vollständig. Siedeoxalat liegt in seiner Ausbeute zwischen Oxalat- und Dithionith-Auszug. Der Podsol "Bärhalde" zeigt erwartungsgemäß ein Minimum des siedeoxalatlöslichen Fe im Ae-, ein Maximum im Bhs-Horizont. Die Tiefenfunktionen des AEDTE-, NH_4OH und NaOH-Auszugs haben ihr Maximum im Oh. Im Bhs ist - im Gegensatz zum pyrophosphatlöslichen Fe - kein Anstieg zu erkennen. In den humosen Horizonten Ah der Braunerde und Oh des Podsols extrahiert NaOH deutlich mehr Fe als NH_4OH , in den weniger humosen Mineralbodenhorizonten

ist die extrahierte Fe-Menge hingegen fast gleich. Im Vergleich extrahieren NaOH und NH_4OH deutlich weniger Fe als AEDTE oder Siedeoxalat.

Die Tiefenfunktionen der Manganfraktionen verlaufen ähnlich wie die des Fe (Abb.2). Das NaOH- und NH_4OH -lösliche Mangan entspricht in der Größenordnung etwa dem pyrophosphatlöslichem mit einem Maximum im Ah der Braunerde. Das Maximum des siedeoxalatlöslichen Mn liegt im Bv. Da das AEDTE-lösliche Mn ebenfalls vom Ah zum Bv hin anstieg, ist zu vermuten, daß AEDTE evtl. auch in gewissem Umfang oxidisches Mn löst. Im Oberboden des

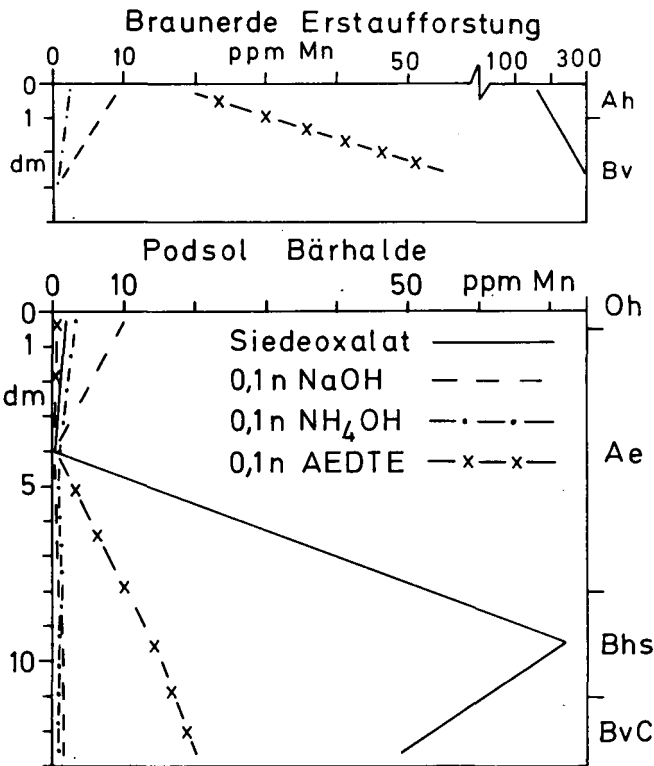


Abb.2: Mobile Manganfraktionen von sechs Proben aus zwei Profilen des Bärhaldegranitgebietes.

Alle Angaben in ppm = $\text{mg/kg } 105^\circ\text{C}$ getrocknete Feinerde

Podsol "Bärhalde" ist das nicht silikatisch gebundene Mn weitestgehend verlagert (KEILEN, 1978). Daher ist die extrahierte Mn-Menge in allen Extrakten nur sehr gering und in ähnlicher Größenordnung. Im Unterboden hat das oxalat-lösliche Mn im Bhs ein deutliches Maximum. AEDTE extrahiert im Unterboden ebenfalls wesentlich mehr Mn. Demgegenüber zeigen das NaOH- und NH_4OH -lösliche Mn kaum eine Differenzierung zwischen Auswaschungs- und Anreicherungs-horizonten. Dies spricht dafür, daß NaOH und NH_4OH kaum das oxidische Mn angreifen.

Vergleicht man die mit den untersuchten Extrakten erhaltenen Mengen an den Spurenelementen Pb und Cd mit denen an Fe und Mn, so ergeben sich deutliche Unterschiede. Nach Abb. 3 ist AEDTE das Extraktionsmittel mit der größten Ausbeute an Pb, relativ nahe gefolgt vom Siedeoxyalatauszug. NaOH und NH_4OH extrahieren deutlich weniger Pb, wobei NaOH wieder in den humosen Horizonten mehr Pb extrahiert als NH_4OH . In den weniger humosen Mineralbodenhorizonten ist die Ausbeute an Pb zwischen NaOH und NH_4OH wieder weitgehend gleich. Der Verlauf der Tiefenfunktionen der Pb-Gehalte der untersuchten Extrakte ist in der Braunerde sehr ähnlich mit jeweils einem Maximum im Ah. Dieses Maximum zeigt sowohl der Humus als auch das oxalatlösliche Fe, nicht aber das oxalatlösliche Mn. Somit ist in der Braunerde eine Bindung des Pb sowohl an den Humus als auch an Fe-oxide zu vermuten. Für den Podsol "Bärhalde" gilt ähnliches. Auch hier extrahiert AEDTE im Oh deutlich mehr Pb als die anderen Extraktionsmittel, wiederum relativ nahe gefolgt vom Siedeoxyalat. NaOH und NH_4OH zeigen zwar ebenfalls die gleiche Tiefenfunktion, extrahieren jedoch wesentlich weniger Pb. Da das Siedeoxyalat im Bhs deutlich mehr Pb als AEDTE erbringt, ist zu vermuten, daß hier ein gewisser Anteil des Pb aus oxidischer Bindung freigesetzt wird. Aus dem Verlauf der Tiefenfunktionen der Pb-Gehalte der untersuchten Extrakte ist zu schließen, daß sowohl in der Braunerde als auch im Podsol Pb vor allem in organischer Bindung vorliegt. Nur im Bhs des Podsol dürfte die oxidische Bindung des Pb eine größere Rolle spielen.

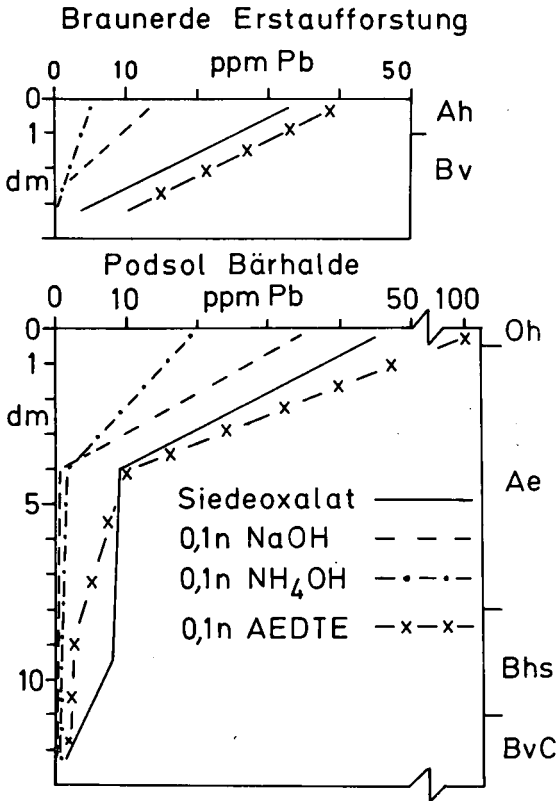


Abb. 3: Mobile Bleifractionen von sechs Proben aus zwei Profilen des Bärhaldegranitgebietes.
Alle Angaben in ppm = mg/kg 105° C getrocknete Feinerde

Cd (Abb. 4) zeigt etwa denselben Kurvenverlauf der Tiefenfunktionen wie Pb. Auch hier extrahiert AEDTE in der Braunerde mehr Cd als Siedeoxyalat. NaOH und NH₄OH erbringen wie bei Pb nur etwa die Hälfte der Ausbeute mit AEDTE und Siedeoxyalat. Die Tiefenfunktion ist wiederum bei allen Extrakten ähnlich. Im Vergleich zu Pb ist der Anstieg von Bv zum Ah wesentlich geringer. Dies ist auf geringere Immissionen oder größere Mobilität von Cd im Vergleich zum Pb zurückzuführen. Beim Podsol "Bärhalde" liegt das Maximum der Cd-Gehalte in allen Extrakten im Oh. Dem Minimum der Cd-Gehalte im Ae

steht eine erhöhte Ausbeute im Bhs gegenüber.

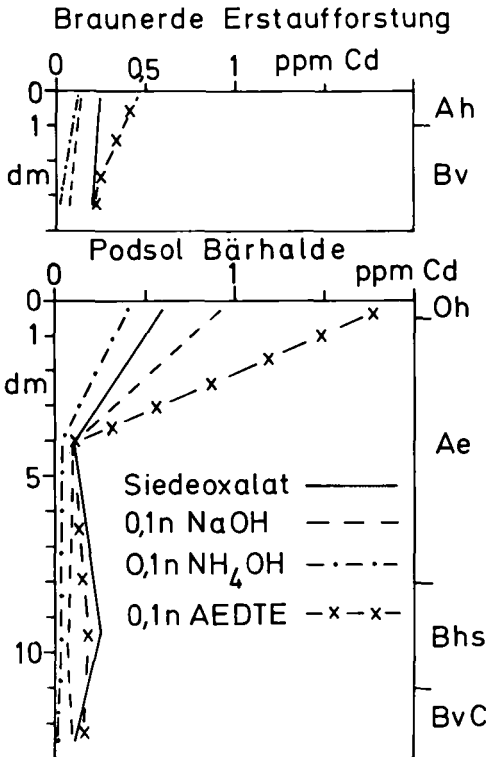


Abb. 4: Mobile Cadmiumfraktionen von sechs Proben aus zwei Profilen des Bärhaldegranitgebietes.
Alle Angaben in ppm = mg/kg 105⁰ C getrocknete Feinerde

AEDTE extrahiert - genauso wie bei Pb - in allen Horizonten mit Ausnahme des Bhs mehr Cd als Siedeoalat. Danach ist zu vermuten, daß auch Cd in geringem Umfang im Bhs in oxidischer Form vorliegt. Die Differenz Siedeoalat zu AEDTE-lösliches Cd im Bhs ist prozentual wesentlich geringer als bei Pb. Auch hierin dokumentiert sich eine höhere Mobilität des Cd im Vergleich zum Pb.

Zusammenfassend ist folgendes festzustellen:

Alle untersuchten Extrakte sind zur Erfassung einer "mobilen" Fraktion von Fe, Mn, Pb und Cd geeignet. Die erhaltenen Tiefenfunktionen zeigen alle einen sehr ähnlichen Verlauf, so daß jede Methode qualitativ zu ähnlichen Interpretationsergebnissen führen sollte. Die Interpretation von Tiefenfunktionen mobiler Anteile erlaubt nur dann eine Zuordnung zu Bindungsformen, wenn alle untersuchten Elemente denselben pedogenetischen Prozessen unterliegen. Sofern von außen Eingriffe in die Umverteilung der Elemente stattgefunden haben, sind solche Interpretationen nur noch unter Vorbehalt möglich. Die hier verwendeten Bodenproben wurden deshalb ausgewählt, weil sie sich hinsichtlich ihrer Entwicklung und ihres Mineralbestandes deutlich unterscheiden. Die Darstellung als Tiefenfunktion erleichtert den internen Vergleich. Quantitativ erbringen die AEDTE- und Siedeoxalatextraktion deutlich größere Ausbeuten an den untersuchten Elementen als der 0,1 n NaOH- und 0,1 n NH_4OH -Extrakt. Quantitativ erbrachte der NaOH- und NH_4OH -Extrakt in den Mineralbodenhorizonten gleiche Mengen an den untersuchten Elementen. Nur in den stark humosen Horizonten war der NaOH-Extrakt ergiebiger. Allen untersuchten Extraktionsmethoden ist der relativ große analytische Aufwand gemeinsam. Auch ist auf Grund von Matrixeffekten - mit Ausnahme des NH_4OH -Extraktes - nicht jedes Element in allen Extrakten bestimmbar. Deshalb erscheint es uns sinnvoll, bei Analyse methodisch schwieriger Spurenelemente an NH_4OH -Auszug festzuhalten. Keine der Methoden befriedigt hinsichtlich ihrer spezifischen Aussage vollständig. Nach unserer derzeitigen Kenntnis erbringt der Siedeoxalat-extrakt die bestmögliche Annäherung für oxidische-, der NH_4OH -Auszug entsprechend für organisch gebundene Spurenelemente. Beschränkt man jedoch die Anwendung dieser Methoden auf Fälle von größerer Relevanz, so liefern alle hier getesteten Extraktionsmittel brauchbare Ergebnisse zur Vorhersage des pedogenetischen Verhaltens besonders von Schwermetallen in Schadensfällen.

LITERATUR

GRIMME, H. und H. WIECHMANN, 1969: Eine Methode zur Extraktion organisch gebundenen Eisens aus Böden. - Z.Pflanzenern. Düng. Bodenk. 122, 268-279, Weinheim.

- HILDEBRAND, E., 1974: Die Bindung von Immissionsblei in Böden. -
Freiburger Bodenkdl. Abh. 4, 147 S., Freiburg i. Br.
- KEILEN, K., 1978: Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bär-
haldegranitgebiet (Südschwarzwald). Freiburger Bodenkdl. Abh. 8,
278 S., Freiburg i. Br.
- KEILEN, K., K. STAHR und H. W. ZÖTTL, 1978: "Mobile Fraktionen" von
Spurenelementen in Böden des Bärhaldegranitgebietes. - Zeitschr.
Pflanzenern. Bodenk. 141, 583-596, Weinheim.
- SCHLICHTING, E., 1979: Schwermetallkonzentrierungen in Naturstandorten.
- Daten und Dokumente zum Umweltschutz, 23, 21-27, Univ.
Hohenheim.
- SEEKAMP, G., 1976: Umsatz von Schwermetallen in Wald-Ökosystemen.
- Gött. Bodenk. Ber. 46, 129 S., Göttingen.
- SHUMAN, L. M., 1979: Zinc, manganese and copper in soil fractions. - Soil
Science 127, 10-17, Baltimore.

Nährelementspiegel und Spurenelementverteilung in Fichtenbeständen
des Grundgebirgs-Schwarzwaldes

von

Ferraz, J. und H.W. Zöttl⁺

Für den Grundgebirgs-Schwarzwald fehlen, im Gegensatz zum Buntsandstein-Schwarzwald, Daten über die Mineralstoffernährung der Fichtenbestände. Auch gibt es keine flächendeckenden Angaben über die Belastung durch Schad-elemente.

Wir untersuchten daher die Nährelementversorgung und die Verteilung von Cd, Pb, Be und Co in 47 Fichtenbeständen, die das Gebiet südlich Waldkirch-Triberg abdecken (Abb.1). Die Höhenlagen erstrecken sich von 450 bis 1250 m ü. NN. Die meisten Bestände liegen zwischen 800 und 1200 m, also im natürlichen Verbreitungsgebiet der Fichte. Es wurden absichtlich Bestände in sehr verschiedenen Höhenlagen ausgewählt, um auch den Einfluß dieses Standortsfaktors auf die Nährelementausstattung der Fichten zu erkennen. Außerdem konnte so ein ziemlich umfassendes Bild des Einflusses von Immissionen gewonnen werden. Alle Bestände stocken auf Böden ohne stärkeren Hydromorphiegrad (im wesentlichen Braunerde und deren Subtypen), entwickelt auf Kristallinschutt (überwiegend Gneis und Granit). Aufgrund des relativ einheitlichen Grundgesteins ist der Einfluß der anderen Standortsfaktoren auf die Nährelementversorgung und das Wachstum der Fichte besser zu ermitteln. Alle Werte basieren auf Analysen von Mischproben des ersten und vierten Nadeljahrgangs von 10 Bäumen pro Bestand bzw. aus der obersten Streulage L₁. Folgende Analysenmethoden wurden angewandt:

⁺ Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre
der Universität Freiburg, Bertoldstr. 17, D-7800 Freiburg i. Br.

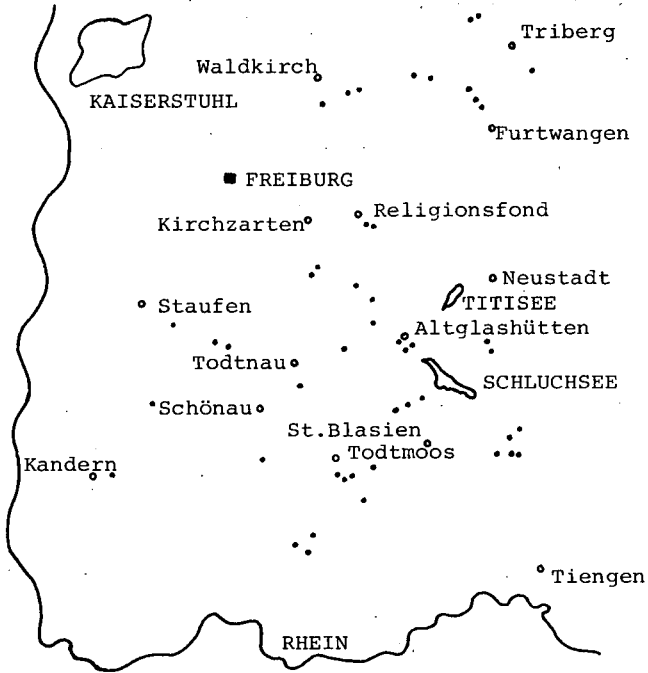


Abb. 1: Lage der Forstämter und der untersuchten Fichtenbestände im Südschwarzwald

	1-jährige Nadeln			4-jährige Nadeln		
	Min.	Max.	Modalw.	Min.	Max.	Modalw.
N	11.4	15.8	13.5	10.1	13.5	10.9
P	1.3	2.2	2.1	0.8	2.4	1.3
K	3.6	8.1	6.0	3.3	6.4	5.1
Ca	1.5	6.5	3.3	1.1	13.3	3.1
Mg	0.9	2.0	1.2	0.3	1.5	0.5
Angaben in mg/g NTS						
Mn	224	1832	700	96	2080	620
Fe	34	100	47	45	103	60
Cu	1.5	9.5	3.0	1.4	6.3	2.4
Zn	15	56	30	6	41	16
B	13	37		8	40	
Angaben in µg/g NTS						

Tab. 1: Nährelementgehalte in der Nadel Trockensubstanz (NTS) von Fichtenbeständen im Südschwarzwald

N nach Kjeldahl; K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cd, Pb, Be und Co nach Veraschung bei 500°C und HCl/HNO₃-Aufschluß am AAS gemessen; P und B kolorimetrisch.

Über die durchgeführten Bodenanalysen wird hier nicht berichtet.

Die Stickstoff-Gehalte (Tab. 1) liegen teilweise im Bereich des latenten Mangels (ZÖTTL, 1964). Mangelsymptome sind nicht zu beobachten. In der Höhenlage zwischen 900 und 1100 m findet man einen signifikanten positiven Zusammenhang ($r = 0.49$) zwischen dem N-Gehalt der einjährigen Nadeln und der Oberhöhe der Bestände im Alter 50. Außerdem besteht eine schwache positive Korrelation zwischen den N-Spiegelwerten und dem Höhenzuwachs in den letzten 5 Jahren.

Die Versorgung mit Phosphor ist auf allen Untersuchungsstandorten sehr gut.

Auch die Kalium-Versorgung ist überwiegend gut; allerdings finden sich einzelne Standorte mit K-Gehalten unter 5.0 mg/g. Dies erklärt auch die gefundene positive Korrelation zwischen K-Versorgung und Oberhöhenzuwachs für das Alter 40 bis 50 der Bestände.

Die Calcium-Versorgung ist allgemein ausreichend. Die 4-jährigen Nadeln haben höhere Gehalte infolge altersabhängiger Akkumulation. Diese wird in Beständen nicht beobachtet, deren Ca-Versorgung sich dem Mangelbereich nähert.

Die Magnesium-Versorgung ist ausreichend. Die Nadeln des 4. Jahrgangs haben durchweg geringere Gehalte als die des ersten. Da die Mg-Gehalte mit zunehmendem Nadelalter sonst eher ansteigen, bedeutet unser Befund eine angespannte Versorgungslage bei Mg auf einigen Standorten.

Der Mangan-Gehalt der Nadeln ist meist sehr hoch und schwankt in sehr weiten Grenzen. Es lassen sich keine Gesetzmäßigkeiten erkennen oder standortsbedingte Unterschiede aufzeigen.

Bei Eisen zeigen die meist höheren Werte in den 4-jährigen Nadeln eine mit dem Nadelalter zunehmende Akkumulation. Die Versorgung ist überall ausreichend.

Trotz der teilweise niedrigen Zink-Gehalte wurden keine Mangelsymptome beobachtet. Die 4-jährigen Nadeln haben deutlich niedrige Gehalte als die

einjährigen.

Die Bor-Werte liegen an der Grenze des Mangelbereiches. Mangelsymptome treten aber nicht auf.

Zu den Spurenelementen ohne Nährelementfunktion läßt sich folgendes sagen:

Cadmium: Es ist bekannt, daß Cd-Emissionen zunehmen. Beim Absatz von Cd-haltigen Staubpartikeln auf der Nadeloberfläche kann Cd je nach Löslichkeitsgrad von den Nadeln absorbiert werden. Der Cd-Gehalt nicht kontaminierter landwirtschaftlicher Nutzpflanzen liegt im Durchschnitt bei 0,3 ug/g (PURVES, 1977). Unsere Fichtennadeln (1. Jahrgang) haben mit 0,03 bis 0,17 ug/g sehr niedrige Gehalte (Tab.2). Die Cd-Werte der 4-jährigen Nadeln sind noch niedriger als die der 1-jährigen. Da jüngere Nadeln wegen ihrer exponierteren Position in der Baumkrone mehr den Immissionen ausgesetzt sind, ist zu erwarten, daß auch höhere Cd-Gehalte in den Nadeln des 1. Jahrganges gefunden werden. Außerdem zeigen Umsatzmessungen in Fichtenbeständen (ZÖTTL, STAHR und HÄDRICH, 1979), daß Cd durch Niederschläge von den Nadeln abgewaschen wird.

Die oberste Streulage zeigt Minimal-Werte bei 0,21 und Maximal-Werte bei 0,69 ug/g, was für eine deutliche Cd-Anreicherung spricht. Insgesamt liegen unsere Werte sehr niedrig. Die Cd-Immission ist im Untersuchungsgebiet offensichtlich gering. Im übrigen besteht eine Beziehung zwischen den Cd-Gehalten der 1-jährigen Nadeln und der Humusform (Abb.2). Man könnte dies mit höherer passiver Aufnahme in den gutwüchsigen Beständen mit hoher biologischer Bodenaktivität erklären. Bei den niedrigen pH-Werten der Untersuchungsstandorte ist eine hohe Mobilität des Cd jedenfalls anzunehmen.

Blei: Die Hauptemissionsquellen für Pb sind die Kraftfahrzeugabgase und die metallverarbeitende Industrie. Die Pb-Aufnahme der Pflanze erfolgt überwiegend durch die Adsorption von Pb aus der Luft an den Blättern und in viel geringerem Maße durch Aufnahme über die Wurzel. Für Pb wie für Cd ist die Entfernung von der Emissionsquelle ausschlaggebend für den Grad der Belastung.

	1-jährige Nadeln			4-jährige Nadeln			Streunadeln		
	Min.	Max.	Modalw.	Min.	Max.	Modalw.	Min.	Max.	Modalw.
Cd	0.03	0.17	0.07	0.02	0.11	0.06	0.21	0.69	0.32
Pb	0.6	4.4	1.2	1.1	7.0	2.7	12.7	99.4	28.0
Be	0.01	0.22	0.02	0.04	0.15	0.06	0.01	0.36	0.06
Co	0.17	3.30	0.50	0.02	1.87	0.30	0.20	2.42	0.93
Cu	1.5	9.7	3.0	1.5	6.3	2.4	4.5	9.9	5.4

Angaben in $\mu\text{g/g}$ NTS

Tab. 2: Spurenelementgehalte in der Nadel Trockensubstanz (NTS) von Fichtenbeständen im Südschwarzwald

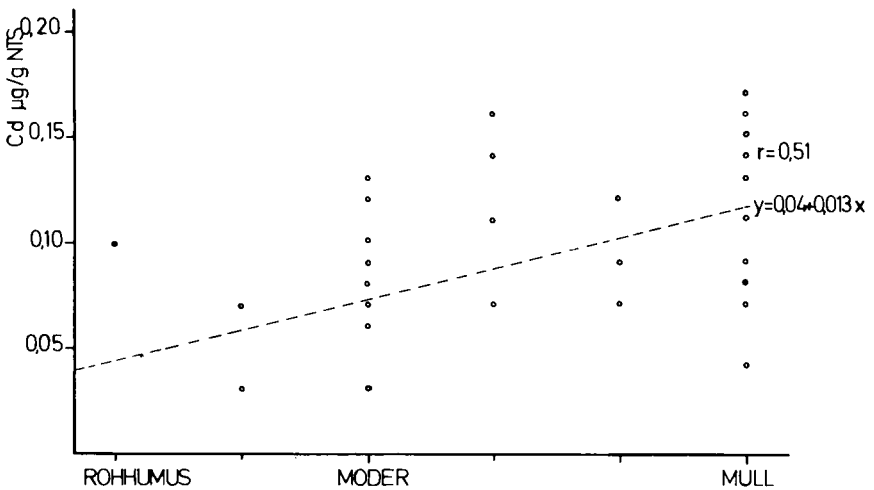


Abb. 2: Beziehung zwischen Humusform und Cadmium-Gehalt in 1-jährigen Nadeln

In den Nadeln des 4. Jahrgangs zeigt sich deutliche Pb-Akkumulation (Tab. 2). Die Bestände in der Einflußzone von größeren Ortschaften oder Industrien wie z. B. im Forstbezirk Freiburg, Waldkirch, Kirchzarten und Triberg zeigen höhere Pb-Werte in den Nadeln und besonders auch in der Streulage. Umgekehrt haben die Bestände in Forstbezirken mit nur ländlichen Siedlungen (Altglashütten, Hinterzarten, St. Blasien und Todtmoos) deutlich niedrigere Pb-Gehalte. Sehr markant ist die Anreicherung in der Streulage. In den hier nicht behandelten unteren O-Horizonten steigen die Gehalte bis 150 $\mu\text{g/g}$ an.

Beryllium: Auch für Be-Emissionen ist ein Anstieg in der letzten Zeit anzunehmen. Der Be-Gehalt der Nadeln des 1. Jahrgangs schwankt bei den verschiedenen Standorten in weiten Grenzen; die meisten Werte liegen mit 0.02 $\mu\text{g/g}$ sehr niedrig. Die 4-jährigen Nadeln und die Streunadeln von Beständen auf Granitschuttböden haben höhere Be-Gehalte als auf den Gneis-Standorten. Dies läßt sich durch höhere Be-Aufnahme aus dem Be-reichereren Solum der Granitböden (KEILEN, 1978) erklären. Zudem ist die Mobilität des Be in den stärker sauren Granitstandorten höher als in den Gneisböden.

Kobalt: Die Co-Gehalte im Futtergras des Schwarzwalds schwanken nach SCHOLL (1959) zwischen 0.03 und 0.3 $\mu\text{g/g}$. Unsere Werte liegen bei den Nadeln des 1. Jahrgangs deutlich höher. Die 4-jährigen Nadeln haben geringere Co-Gehalte als die 1-jährigen; dagegen zeigen die Streunadeln die höchsten Werte. Zwischen dem Co-Gehalt der 1-jährigen Nadeln und der biologischen Aktivität des Bodens besteht eine schwache signifikante positive Korrelation, mit $r^+ = 0.37$. Es ließe sich ein Zusammenhang zwischen Co-Gehalt des Bodens, biologischer Aktivität und Humusform vermuten, wobei die Rolle des Co für die Tätigkeit der N-bindenden Mikroorganismen bedeutsam sein könnte.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Nährelementversorgung der untersuchten Fichtenbestände im Südschwarzwald ist im allgemeinen ausreichend bis gut. Allerdings erscheint N auf manchen Standorten als wachstumsbegrenzender Faktor und ist die Versorgung mit Ca und Mg stellenweise angespannt. Die Immissionsbelastung des industrie-armen Südschwarzwalds ist niedrig. Allerdings machen sich bei Pb und Cd deutlich Fernimmissionen bemerkbar.

Wir danken Fräulein G. Mattmüller für Mitarbeit bei den Spurenelementanalysen, Herrn E. Best für Unterstützung bei der Geländearbeit und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für Sachbeihilfen.

LITERATUR

- KEILEN, K., 1978: Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bärhaldegranitgebiet (Südschwarzwald). Freiburger Bodenkundl. Abh. 8, 1-278.
- PURVES, D., 1977: Trace-Element Contamination of the Environment. Elsevier, Amsterdam.
- SCHOLL, W., 1959: Spurenelementuntersuchung in Gesteinen, Böden und Pflanzen des Schwarzwaldes unter besonderer Berücksichtigung des Kobalts. Diss. TH Karlsruhe.
- ZÖTTL, H., 1964: Waldstandort und Düngung. Cbl. ges. Forstwes. 81, 1-24.
- ZÖTTL, H. W., K. STAHR und Fr. HÄDRICH, 1979. Umsatz von Spurenelementen in der Bärhalde und ihren Ökosystemen. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 29.

Vergleich von Methoden zur Bestimmung des verfügbaren Zinks im Boden

von
v. Franck, E. [†]

Mit zunehmenden Anforderungen an den Spurenelementvorrat auf Feldern mit hohen Erträgen wird auch die Zn-Versorgung auf manchen Standorten unzureichend. Daher gewinnen zuverlässige diagnostische Methoden zur Bestimmung des verfügbaren Zn im Boden an Bedeutung. In der vorliegenden Untersuchung werden fünf gängige Methoden auf ihre Brauchbarkeit für Getreide in Schleswig-Holstein überprüft und Grenzwerte festgelegt.

Methodik

Fünf Extraktionsmethoden wurden sowohl an etwa 300 Feldproben von Getreidefeldern in Schleswig-Holstein im Rahmen einer Erhebungsuntersuchung (v. FRANCK und FINCK, 1980) als auch in einem Zn-Steigerungsversuch mit Winterweizen auf einer Zn-armen Parabraun-erde (0,8 ppm Zn nach der EDTA-Methode) überprüft. Die Entnahme der Boden- und Pflanzenproben erfolgte auf einer etwa 10 m² großen Testparzelle eines Standorts jeweils bei Schoßbeginn des Getreides. Als Eichmaß dienten die Zn-Gehalte von Hafer und Weizen (gesamte oberirdische Teile) sowie der Kornertrag im Zn-Steigerungsversuch.

Folgende Extraktionsverfahren wurden verglichen:

- 0,1 M HCl nach BÖNIG und HEIGENER (1956),
- 0,43 M HNO₃ nach WESTERHOPF (1955),
- Dithizon in CCl₄ mit Ammoniumacetat, pH 7,0 nach SHAW und DEAN (1952),
- EDTA mit Ammoniumcarbonat, pH 8,6 nach TRIERWEILER und LINDSAY (1969) und
- DTPA mit CaCl₂ und Triäthanolamin, pH 7,3 nach LINDSAY und NORVELL (1978).

[†]Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, Haus S 20a, 2300 Kiel 1

Ergebnisse

a. Auswahl geeigneter Methoden:

Zur Auswahl der besten Methode wurden die Korrelationen zwischen den mit den jeweiligen Extraktionsmitteln bestimmten Gehalten an verfügbarem Zn im Boden und den Zn-Gehalten von Hafer und Weizen ermittelt (Tab. 1).

Tab. 1: Bestimmtheitsmaße für die Beziehungen zwischen dem verfügbaren Zn im Boden und den Zn-Gehalten von Hafer und Weizen

Korrelation von Pflanzen-Zn mit Boden-Zn nach Methode:	Bestimmtheitsmaß B (r^2 in %)		
	B-Wert	multipler B-Wert (Boden-Zn + pH)	multipler B-Wert (Boden-Zn + pH + Phosphat (DL) + Körnung).
Feldversuch (Zn-Steigerung), n = 23			
0,1 m HCl	93	.	.
0,43 m HNO ₃	92	.	.
EDTA	88	.	.
DTPA	94	.	.
Erhebungsuntersuchung:			
Braunerden und Podsole, n = 211			
0,1 m HCl	30	41	42
0,43 m HNO ₃	26	42	43
Dithizon	31	39	41
EDTA	44	48	48
DTPA	46	53	55
Marschböden, n = 75			
0,1 m HCl	3	20	29
0,43 m HNO ₃	1	21	33
Dithizon	1	26	28
EDTA	13	22	35
DTPA	23	27	29

Im Zn-Steigerungsversuch zeigen die vier geprüften Methoden eine sehr enge positive Beziehung zwischen den Zn-Gehalten in den Pflanzen und dem verfügbaren Zn im Boden, so daß sich das Einbeziehen anderer Faktoren erübrigt. Bei den sehr unterschiedlichen Böden der Erhebungsuntersuchung läßt sich die Zn-Versorgung der Böden dagegen nur annähernd erfassen. Während für die Proben der Braunerden und Podsole (wegen ihrer ähnlichen B-Werte zusammengefaßt) mit allen Extraktionsmitteln zwar noch signifikante Korrelationen ermittelt werden konnten, ergaben sich für die Marschproben keine brauchbaren Beziehungen.

Das verfügbare Zn im Boden kann man um so zuverlässiger bestimmen, je besser der Einfluß unterschiedlicher Substrateigenschaften auf die Zn-Verfügbarkeit konstant gehalten - wie etwa im Feldversuch - oder bei der Auswertung berücksichtigt wird. Letzteres ist bei den Proben der Erhebungsuntersuchung mit Hilfe multipler Regressionsrechnungen durchgeführt worden. Dabei ergibt vor allem die Einbeziehung der pH-Werte eine deutliche Erhöhung der Bestimmtheitsmaße (Tab. 1). Die zusätzliche Berücksichtigung der Phosphatversorgung und der Körnung führt lediglich bei den Marschproben zu einer weiteren Verbesserung der Ergebnisse. Die besten Resultate wurden bei allen Böden mit der EDTA- und der DTPA-Methode erzielt (B-Werte bei Braunerden und Podsole etwa 45 %, multiple B-Werte bis 55 % für die DTPA-Methode).

b. Ermittlung von Grenzwerten:

Für die Ermittlung von Grenzwerten ist beim Feldversuch der Korn-ertrag als Zielgröße zugrunde gelegt, der in diesem Fall praktisch nur von einer variablen Größe, nämlich dem Zn-Gehalt des Bodens, abhängt.

Für alle Methoden ist in Abb. 1 eine deutliche Abhängigkeit der Kornerträge von den Gehalten an verfügbarem Zn im Boden ersichtlich. Dabei sind hier je nach Methode Zn-Gehalte von etwa 4 ppm (HCl), 7 ppm (HNO₃), 2,5 ppm (EDTA) oder 1,5 ppm (DTPA) für den Höchstertrag ausreichend.

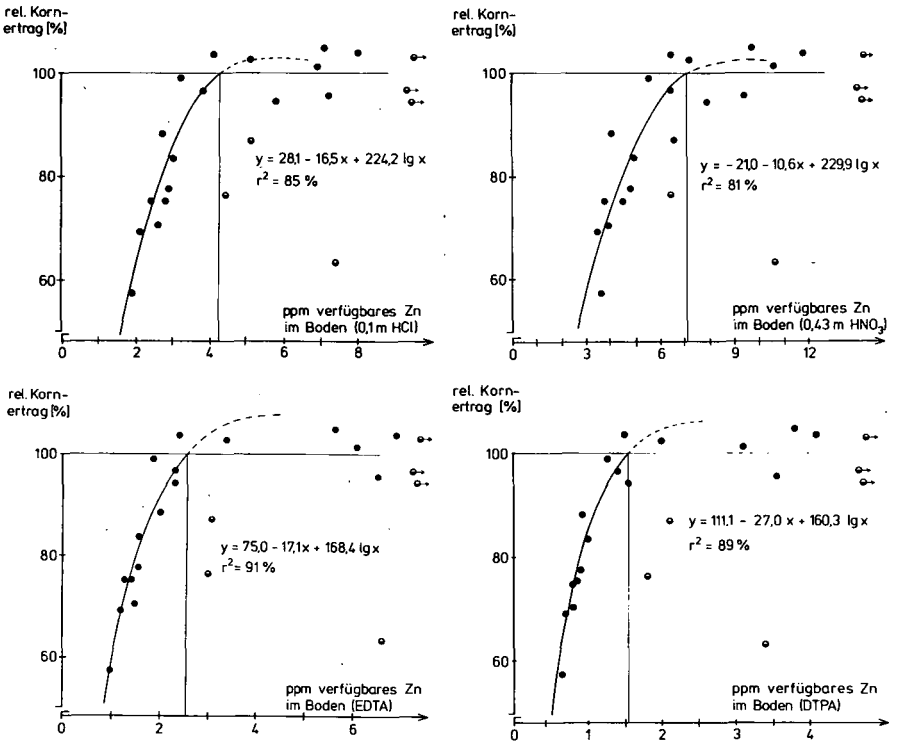


Abb. 1: Kornerträge von Winterweizen in Abhängigkeit vom verfügbaren Zn im Boden
(Feldversuch, pH = 6,5; 4 Extraktionsmethoden; 100 % Ertrag $\hat{=}$ 65 dt/ha = Mittelwert aller Erträge über 62 dt/ha;
● : unberücksichtigte Extremwerte)

In der Erhebungsuntersuchung kann sich die Eichung der Methoden wegen zahlreicher anderer ertragsbeeinflussender Faktoren nicht am Kornertrag, sondern muß sich ersatzweise am Pflanzengehalt orientieren. Da außerdem die pH-Werte der Böden zweckmäßigerweise berücksichtigt werden sollten, lassen sich Grenzwerte sinnvoll nur mit Hilfe multipler Regressionen ermitteln. Folgende Gleichungen stellen die Beziehungen zwischen den Zn-Gehalten in Pflanzen und Böden unter Berücksichtigung der pH-Werte dar:

ppm Zn in Pflanzen =

$$48,7 + 1,11 \times \text{ppm Zn im Boden} - 4,72 \times \text{pH} \quad (r^2 = 41\%, \text{HCl}),$$

$$53,1 + 0,89 \times \quad \quad \quad \quad \quad - 5,52 \times \quad \quad \quad \quad (r^2 = 42\%, \text{HNO}_3),$$

$$47,0 + 2,04 \times \quad \quad \quad \quad \quad - 4,35 \times \quad \quad \quad \quad (r^2 = 39\%, \text{Dithizon}),$$

38,7 + 1,87 x ppm Zn im Boden - 3,04 x pH ($r^2 = 48 \%$, EDTA),
 43,7 + 2,38 x " " - 3,70 x " ($r^2 = 53 \%$, DTPA).

Durch Einsetzen des mindestens erforderlichen Pflanzengehalts von 25 ppm bei Schoßbeginn (v. FRANCK und FINCK, 1980) ergeben sich die folgenden Mindestgehalte an verfügbarem Zn im Boden (Tab. 2):

Tab. 2: Für ausreichende Versorgung erforderliche Mindestgehalte an verfügbarem Zn im Boden

Bodenuntersuchungsmethode	ppm verfügb. Zn (erforderliche Mindestgehalte)			
	Erhebungsuntersuchung ¹⁾			Feldversuch ²⁾
	pH < 5	pH = 6	pH ≥ 7	pH = 6,5
0,1 m HCl	errechnete Werte etwa 0, daher ist Zn-Mangel unwahrscheinlich	4,2	≥ 8,4	4
0,43 m HNO ₃		5,6	≥ 11,8	7
Dithizon		2,0	≥ 4,1	.
EDTA (0,01 m)		2,4	≥ 4,1	2,5
DTPA (0,005 m)		1,5	≥ 3,0	1,5

1) geeicht am Pflanzengehalt

2) geeicht am Kornertrag

Diskussion

Von den Methoden zur Bestimmung des verfügbaren Zinks im Boden sind die Komplexbildner besser geeignet als die verdünnten Säuren (Tab. 1). Dem Dithizon dürfte allerdings wegen der komplizierten Methodik keine große praktische Bedeutung zukommen, während die DTPA-Methode am besten abschneidet. Es ist jedoch zweckmäßig, stets die pH-Werte der Böden mit zu berücksichtigen, um eine zuverlässigere Aussage über die Zn-Versorgung zu ermöglichen. Eine weitere Verbesserung der Bestimmtheitsmaße durch das Einbeziehen weiterer Faktoren (z.B. organische Substanz) oder durch die Verwendung schwächerer Extraktionsmittel wäre zu prüfen. Schwache Extraktionsmittel wie Wasser oder 0,025 n CaCl₂ führen allerdings zu analytischen Schwierigkeiten, da dann Zn-Gehalte im Extrakt von unter 0,01 ppm exakt bestimmt werden müssen.

Die in der Erhebungsuntersuchung für Braunerden und Podsole erzielten Bestimmtheitsmaße von maximal 55 % sind zwar verglichen mit Werten aus Feldversuchen nicht besonders hoch, liegen aber durchaus

im Rahmen anderer Bodenuntersuchungsmethoden. Weshalb jedoch bei den Marschproben auch mit den Komplexbildnern keine befriedigenden Bestimmtheitsmaße ermittelt werden konnten, muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Obwohl die Bestimmtheitsmaße für die hier geeichten Methoden nicht einen für Bodenuntersuchungsmethoden angestrebten B-Wert von über 60-70 % erreichen, können die in Tab. 2 angegebenen Grenzwerte als erste Orientierung bei der Ermittlung des verfügbaren Zn in den Braunerden und Podsolen Schleswig-Holsteins angesehen werden, zumal auch die Ergebnisse der Erhebungsuntersuchung gut mit denen des Feldversuchs übereinstimmen. Die dabei für die Böden Schleswig-Holsteins ermittelten Grenzwerte liegen im Mittel etwa 50-100 % höher als die vor allem für trockene Standorte angegebenen Grenzwerte von etwa 4 ppm (HCl), 1 ppm (Dithizon), 1,5 (EDTA) und 0,8 ppm (DTPA) (TRIERWEILER und LINDSAY, 1969; LINDSAY und NORVELL, 1978). Die höheren Grenzwerte sind möglicherweise durch das besonders hohe Ertragsniveau im Getreidebau Schleswig-Holsteins erklärlich.

Zusammenfassung

Zur Ermittlung des verfügbaren Zinks in den Böden Schleswig-Holsteins sind die Komplexbildner EDTA und DTPA besser geeignet als Dithizon oder verdünnte HCl bzw. HNO_3 .

Für die Braunerden und Podsole ergeben sich brauchbare Beziehungen zwischen den Zn-Gehalten der Böden und der Pflanzen, die sich vor allem durch die Berücksichtigung der pH-Werte noch verbessern lassen (B-Wert maximal 53 % bei der DTPA-Methode). Während bei pH-Werten unter 5 praktisch kein Zn-Mangel zu erwarten ist, sollten bei pH 6 nach der EDTA-Methode mindestens 2,4 und nach der DTPA-Methode mindestens 1,5 ppm Zn im Boden sein.

Für die Marschböden ließen sich selbst bei einer Berücksichtigung der pH-Werte und des verfügbaren Phosphats mit keiner Methode befriedigende Korrelationen und somit auch keine Grenzwerte ermitteln.

Literatur:

- BÖNIG,G. und HEIGENER,H. :Die serienmäßige Bestimmung der verfügbaren Mikronährstoffe Kupfer, Zink, Kobald und Nickel im Boden unter Anwendung der Papierchromatographie. Landwirtsch. Forsch. 9, 89-96, 1956.
- v. FRANCK,E., und FINCK,A. :Ermittlung von Zink-Ertragsgrenzwerten für Hafer und Weizen. Z. Pflanzenernähr., Bodenkd., 1980 (im Druck).
- LINDSAY,W.L. und NORVELL,W.A. :Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42, 421-428, 1978.
- SHAW,E. und DEAN,L.A. :Use of dithizone as an extractant to estimate the zinc nutrient status of soils. Soil Sci. 73, 341-347, 1952.
- TRIERWEILER,J.F. und LINDSAY,W.L. :EDTA-ammonium carbonate soil test for zinc. Soil Sci.Soc.Am.Proc.33, 49-54, 1969.
- WESTERHOFF,H. :Beitrag zur Kupferbestimmung im Boden. Landwirtsch.Forsch.7, 190-193, 1954/55.

DüngerAusnutzung und notwendige Düngermenge

von
Finck, A.⁺

1. Die wirkliche DüngerAusnutzung

Zum Boden zugesetzte Nährstoffe werden von den Pflanzen nicht vollständig ausgenutzt. Der Ausnutzungsgrad (engl.: fertilizer recovery) kennzeichnet daher den wirklich aufgenommenen Anteil eines Düngernährstoffs (ausgedrückt in % der Nährstoffzufuhr). Da die Pflanzen gleichzeitig auch Nährstoffe aus dem Boden aufnehmen, muß dieser Anteil von der Gesamtmenge subtrahiert werden. Zu unterscheiden wäre eine Brutto- von einer (zwangsläufig niedrigeren) Netto-Ausnutzung, wobei für die Düngung besonders letztere interessiert.

Formeln zum Ausnutzungsgrad (in %):

allgemein

$$= \frac{\text{Nährstoffmenge der Pflanze aus dem Dünger}}{\text{Nährstoffmenge des Düngers}} \times 100$$

brutto

$$= \frac{\text{Gesamtaufnahme} - \text{Aufnahme aus Bodenvorrat}}{\text{Nährstoffmenge des Düngers}} \times 100$$

netto

$$= \frac{\text{Gesamtentzug} - \text{Entzug aus Bodenvorrat}}{\text{Nährstoffmenge des Düngers}} \times 100$$

Methoden zur Bestimmung des Ausnutzungsgrades sind die

a. Differenzmethode als indirektes Verfahren, wobei die Aufnahme als Differenz von gedüngten und ungedüngten Parzellen

ermittelt wird. Die erzielten Werte können etwas überhöht sein, wenn die Nährstoffaufnahme aus dem Bodenvorrat durch die Düngung gesteigert wird ('priming effect'),

b. Isotopenmethode als direktes Verfahren, wobei die Aufnahme isotopisch markierter Düngernährstoffe ermittelt wird. Die erzielten Werte können durch Isotopenaustausch erniedrigt sein.

Eine weitere Methode bildet die graphische Extrapolation von Düngungskurven (Regressionsmethode) für die, wie für sonstige Einzelheiten auf die Literatur verwiesen sei (Broeshart 1974, Matzel 1974, Westerman und Kurtz 1974, Nethsing 1978, Finck 1979).

Bei allen Methoden handelt es sich um Näherungsverfahren, mit denen der Ausnutzungsgrad annähernd zutreffend ermittelt werden kann. Trotz methodisch bedingter unterschiedlicher Angaben liegen die experimentellen Befunde jedoch für den jeweiligen Nährstoff in ähnlicher Größenordnung. Zu beachten ist, daß bei Gefäßversuchen höhere Ausnutzungsgrade als im Feld resultieren und daß die Ausnutzung nur auf Mangelböden realistische Werte ergibt. Auf gut versorgten Böden erscheint die Ausnutzung oft relativ niedrig.

Nicht zulässig zur Bestimmung der wirklichen Ausnutzung ist das Verfahren, den Nährstoffentzug direkt in Prozent der Düngermenge anzugeben, d.h. die Nährstoffanlieferung aus dem Boden als konstanten Faktor zu vernachlässigen. Dies Konzept der 'scheinbaren Ausnutzung' ergibt zwangsläufig viel zu hohe Werte, z.B. für Phosphat bereits im ersten Jahr Ausnutzungsgrade von über 80 % (Karlovsky 1972). Die Bedeutung dieses Konzepts in anderer Hinsicht wird jedoch noch zu behandeln sein.

Zur Düngerausnutzung in Abhängigkeit von der Zeit ist zu bemerken, daß die wirkliche Ausnutzung üblicherweise kurzfristig für eine Vegetationsperiode (d.h. normalerweise für ein Jahr) angegeben wird. Sie liegt schätzungsweise für mineralische N- und K-Dünger bei 50 - 60 %, für P-Dünger bei 15 % (Zusammenstellungen von Kaila 1965, Matzel 1974, Schnug 1978)..

Bezieht man die Nachwirkung über einen längerfristigen Zeitraum von einigen Jahrzehnten ein, so erhöht sich z.B. die P-Ausnutzung in etwa 30 Jahren auf 50 - 60 %. Erst bei Berück-

sichtigung sehr langer Zeiträume würde sich mit der gesamten Nachwirkung eine vollständige Ausnutzung ergeben (sofern die Düngernährstoffe im Boden verblieben sind).

2. Die scheinbare Düngerausnutzung

Im Gegensatz zur wirklichen Ausnutzung wird die scheinbare Ausnutzung ohne Berücksichtigung der Nährstoffanlieferung des Bodens ermittelt, und zwar nach der Formel:

$$\text{Scheinbarer Ausnutzungsgrad} = \frac{\text{entzogene Nährstoffmenge}}{\text{gedüngte Nährstoffmenge}} \times 100$$

(netto, in %)

Obwohl dieses Verfahren (wie erwähnt) zur Bestimmung der Ausnutzung für begrenzte Zeiträume unrealistische Werte ergibt, entspricht unter bestimmten Bedingungen die scheinbare Ausnutzung für einen kurzen Zeitraum der wirklichen für einen sehr langen Zeitraum.

Insbesondere für gut versorgte Böden erscheint es zweckmäßig, Düngermengen-Berechnungen auf der scheinbaren Ausnutzung zu basieren, weil:

- a. sich die Pflanzen bei hohem Nährstoffniveau ohnehin weitgehend aus dem Boden ernähren und die Düngung vor allem der Erhaltung dieses Niveaus dient. Unter 'steady state'-Bedingungen werden dann die Nährstoffverluste durch ständige Zufuhr kompensiert (Input = Output),
- b. die Nachwirkung im Nährstoffgleichgewicht voll berücksichtigt werden kann (die geringere wirkliche Ausnutzung wird durch die summierte Nachwirkung früherer Düngergaben ausgeglichen),
- c. eine unnötige Anreicherung vermieden werden sollte (die ansonsten als Konsequenz einer Düngung unter Berücksichtigung der wirklichen Ausnutzung resultieren würde),
- d. auf gut versorgten Böden die wirklichen Ausnutzungswerte ohnehin niedrig liegen und daher keine brauchbare Basis darstellen.

3. Düngerausnutzung und Düngungshöhe für Phosphat und Kali

Die (in übersehbarer Zeit) unvollständige wirkliche Ausnutzung wird üblicherweise durch Zuschlagsfaktoren bei der Düngermengen-Berechnung berücksichtigt. So müßte z.B. für P-Dünger bei länger-

fristiger Ausnutzung von 50 % die an sich notwendige Düngermenge mit dem Faktor 2 multipliziert werden, bei 75 %-iger mit 1,3.

Bei den derzeitigen offiziellen Düngungsempfehlungen für Böden der Gehaltsklasse C (gute Versorgung) werden in den einzelnen Ländern unterschiedliche Faktoren in Höhe von 1,2 - 1,6 benutzt. Andere Vorschläge liegen in gleicher Größenordnung bzw. reichen für einige Standorte bis zum Faktor 2 (Munk 1976, Sturm und Isermann 1978).

Im Gegensatz zur üblichen Erhöhung der Düngermenge wegen ungenügender Ausnutzung wird jetzt vorgeschlagen, auf gut versorgten Böden die hohe scheinbare Ausnutzung zugrunde zu legen (was der wirklichen Ausnutzung über einen sehr langen Zeitraum entspricht) und sie mit etwa 100 % anzusetzen.

Damit entfällt die Notwendigkeit eines Zuschlagsfaktors. Dies gilt natürlich nur dann, wenn bei der Düngung in Höhe des Entzuges die vorhandene gute Versorgungslage erhalten bleibt, was auf vielen Böden der Fall zu sein scheint (Bergmann und Witter 1965, Prummel zit. bei Scheffer und Schachtschabel 1976, Munk 1976). Sollte jedoch auf einigen Böden durch stärkere Immobilisierung ein Absinken der Versorgung trotz Entzugsdüngung in den Mangelbereich erfolgen, so wäre natürlich eine verstärkte Düngung erforderlich.

Die 'Düngung nach Entzug' bzw. genauer nach den Gesamtverlusten auf gut versorgten Böden sollte ferner berücksichtigen, daß die gängigen Entzugswerte meist Durchschnittswerte sind und daß sich die Düngung eigentlich an den niedrigeren Mindestentzügen orientieren müßte (Finck 1979). Außerdem sei betont, daß sie sich natürlich nur auf wirksame Anteile der Dünger beziehen kann.

Der Vorschlag, auf gut versorgten Böden für mineralische Dünger keinen erhöhten Ausnutzungsfaktor einzusetzen, gilt gleichermaßen für organische Dünger (soweit sie sich umsetzen und im Boden bleiben). Übliche organische Dünger wie Stroh, Gülle etc. wären also auch mit vollständiger Ausnutzung in die Bilanz einzusetzen.

Die Nichtberücksichtigung der unvollständigen Düngerausnutzung bei Düngerbilanzen auf gut versorgten Böden bedeutet keineswegs, daß eine Verbesserung der Düngerausnutzung nunmehr belanglos geworden sei. Es sollte im Gegenteil angestrebt werden, eine möglichst hohe kurzfristige Ausnutzung (vor allem vom Phosphat) durch richtige Steuerung der Bodenfruchtbarkeitsfaktoren, durch entsprechende Düngungsmaßnahmen und durch Verbesserung der Aufschlußkraft der Pflanzenwurzel zu erreichen (Beringer und Hildebrandt 1979). Je besser die kurzfristige Ausnutzung, desto niedriger kann das optimale Versorgungsniveau des Bodens angesetzt werden, was den Düngereinsatz entsprechend effektiver gestalten würde.

Zusammenfassung

Obwohl die wirkliche Düngerausnutzung auch längerfristig unvollständig ist (d.h. niedriger als 100 %), erscheint dennoch auf gut versorgten Böden zumindest für Phosphat und Kali aus Gründen unvollständiger Ausnutzung keine über dem Entzug (bzw. über den Gesamtverlusten) erhöhte Düngung erforderlich.

Literatur

- Bergmann, W., und Witter, B.: Die Wirkung der Phosphorsäure in statischen P-Steigerungsversuchen und der Verbleib der Restphosphorsäure im Boden.
Thaer-Archiv 9, 901-922, 1965.
- Beringer, H., und Hildebrandt, E.-A.: Nährstoffausnutzung in Abhängigkeit von Bodenfaktoren und Pflanzenart.
Kali-Briefe (Büntehof) 14 (10) 693-705, 1979.
- Broeshart, H.: Quantitative measurement of fertilizer uptake by crops.
Neth. J. agric. Sci. 22, 245-254, 1974.
- Finck, A.: Dünger und Düngung (S. 218 f), Verlag Chemie, Weinheim 1979.
- Kaila, A.: Apparent recovery of fertilizer nitrogen.
J. Sci. Agr. Soc. Finland 39, 78-89, 1965.

- Karlovsy, J.: Method of assessing the utilization of phosphorus on permanent pastures.
Trans. Int. Soil Sci. Conf. New Zealand 726-730, 1972.
- Matzel, W.: Probleme der Ausnutzung des Dünger- und Bodenphosphors - Übersichtsbeitrag.
Archiv Acker- u. Pflanzenbau 18, 471-487, 1974.
- Munk, H., und Bärmann, C.: Zur Auswertung von Feldversuchen und Bodenuntersuchungsergebnissen auf Phosphat.
Landw. Forschung Sond. 33/1, 114-133, 1976.
- Nethsinge, D.A.: The use of isotopes and radiation in studies of the efficient use of fertilizers.
FAO Soils Bull. 37, 60-68, 1978.
- Scheffer, F., und Schachtschabel, P.: Lehrbuch der Bodenkunde (S. 245 f.). Enke, Stuttgart 1976.
- Schnug, E.: Die Ausnutzung von Düngernährstoffen und die Bedeutung des Ausnutzungsgrades für die Höhe der Düngung.
Diplomarbeit, Kiel 1978.
- Sturm, H., und Isermann, K.: Überlegungen zur langfristigen Ausnutzung von Mineraldüngerphosphat auf Ackerböden.
VDLUFA-Kongreß, Augsburg 1978.
- Westerman, R.L., and Kurtz, L.T.: Isotopic and nonisotopic estimations of fertilizer nitrogen uptake by Sudangrass in field experiments.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 38, 107-109, 1974.

Erfassung und Charakterisierung von Polyphenolen
als potentiellen Wuchshemmstoffen in kompostierten
Siedlungsabfällen

von

E.E. Hildebrand*

1. Einleitung

Die Kompostierung organischer Siedlungsabfälle gewinnt einerseits als Abfallbeseitigungsmaßnahme andererseits als Humusquelle immer größere Bedeutung. Dabei können bekanntlich Umweltprobleme von Salzen und insbesondere Schwermetallen sowie von phytotoxischen organischen Inhaltsstoffen ausgehen. Letzteres ist vor allem bei der Verwendung von Rinde als Bodenverbesserer bekannt geworden (vgl. TEPE, 1978, ZÜTTL, 1977). Phenolische Inhaltsstoffe von Rinden wie z.B. Gerbsäuren und der große Vorrat an aromatischen Zellwandbestandteilen lassen vermuten, daß primäre phytogene Phenole und sekundäre, hauptsächlich aus dem Ligninabbau stammende Phenole an den beobachteten bakteriziden, fungiziden und wuchshemmenden Wirkungen in hohem Maße beteiligt sind. Andererseits haben Untersuchungen zur Entstehung des Humuskörpers gezeigt, daß Polyphenole als Vorstufen und Bausteine der Huminstoffe große Bedeutung besitzen (vgl. SCHEFFER u. ULRICH, 1960 und SÜCHTIG, 1961). Im Hinblick auf ein optimales Ergebnis der Kompostierung können Phenole zwei Aspekte besitzen: sie sind sowohl erwünschte Bausteine der Huminstoffsynthese als auch unerwünschte Wuchshemmer in bestimmten Phasen des Rottevorganges. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden daher folgende Fragen geprüft:

- Kann durch eine einfache Fraktionierung und Bestimmung der wasserlöslichen Phenole das aktuelle Wuchshemmstoffpotential von Siedlungsabfällen und insbesondere Rindenkomposten erfaßt werden?
- Von welchen Rahmenbedingungen der Kompostierung hängen Entstehung, Ab- bzw. Umbau von Phenolen in Huminstoffe ab?

* Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Fasanengarten, D-7000 Stuttgart 31 (Weilimdorf)

2. Material und Methoden

Die untersuchten Substrate sind in Tab. 1 aufgeführt; eine Übersicht des Untersuchungsganges gibt Abb. 1.

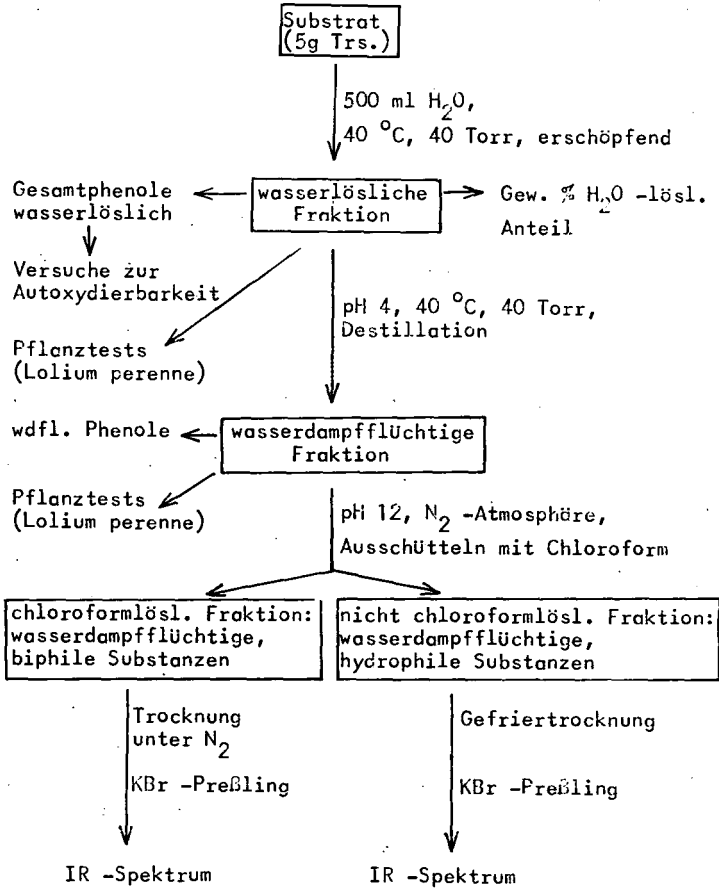


Abb. 1: Arbeitsgang zur Fraktionierung und Charakterisierung wasserlöslicher Phenole

Die Substrate wurden nach dem Soxhlett-Prinzip mit Wasser bei 40°C und 40 Torr erschöpfend extrahiert (5g/500ml/12h) und in den Extrakten die Phenolgehalte bestimmt (vgl. "Die Untersuchung von Wasser", 1974). Alle Ergebnisse wurden als monomeres Phenol berechnet. Ein Aliquot des wässrigen Extrakts wurde mit Phosphorsäure auf pH 4 gebracht und bei 40°C und 40 Torr destilliert, damit die wasserdampfvlüchtigen Phenole bestimmt werden konnten. Die Destillation als Versuch der Phenolfractionierung wurde aufgrund der Überlegung gewählt, daß dadurch hauptsächlich niedermolekulare und damit physiologisch interessante Phenole wie Kresole, Xylenole, Guajacol, Brenzcatechin und teilweise -Naphtol angereichert werden können.

Die Wirkung der wasserlöslichen und wasserdampfvlüchtigen Bestandteile der untersuchten Substrate auf das Pflanzenwachstum wurde mit *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras) geprüft. Dazu wurden die Extrakte bzw. Destillate sowohl ohne Zusätze als auch mit der Nährelementkonzentration einer Nährlösung eingesetzt. Ca. 30 Samen wurden auf 2 mm breite Plexiglas-Küvetten gelegt, in die zuvor mit der entsprechenden Lösung getränktes Elektrophoresepapier eingebracht worden war (vgl. Abb. 2). Nach 10 Tagen mit täglicher Tränkung des Elektrophoresepapiers wurden die Längen der Triebe gemessen und die Unterschiede der Mittelwerte pro Küvette statistisch geprüft. Die wasserdampfvlüchtigen Bestandteile wurden durch Ausschütteln mit Chloroform in biphile und ausschließlich hydrophile Fraktionen getrennt, die IR-spektroskopisch untersucht wurden.

An ausgewählten Proben wurde die Stabilität der wasserlöslichen Phenole gegenüber Autoxidation in belüfteten Lösungen bestimmt. Dazu wurden aus den Extrakten periodisch Aliquote entnommen und deren Phenolgehalt ermittelt. Um den Einfluß von Bakterien auf den Abbau von Phenolen zu erfassen, wurde eine Kontrolle mit täglicher Penicillinzugabe parallel analysiert.

3. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

3.1 Gehalte an wasserlöslichen und wasserdampfflüchtigen Phenolen

Die zu diskutierenden Phenolgehalte sind in Tab. 1 aufgeführt.

Substrat	Behandlung	Gesamtphenole mg/1000g Irs.	wdf. Phenole mg/1000g Irs.
Ri Fi/Ta	frisch	90	1,2
Ri Fi/Ta	1 Woche Waldlagerung	77	0,6
Rindenkomp. I	Bioreaktor + Harnst.	112	0,6
II		95	0,5
III	Bioreaktor + Harnst. + Phosphat	45	0,3
IV		30	0,3
Klärschlamm- kompost	mit Nachrotte	23	0,2
	ohne Nachrotte	49	4,8
Ganzbaum- material Fi	1 Woche Waldlagerung	41	2,7
Handelstorf	entsäuert	9	n.b.
F -Lage Moder		22	n.b.
O -Lage Rohhumus		30	n.b.
Müllkompost		9	0,1

Tab. 1: Gehalte an wasserlöslichen und wasserdampfflüchtigen Phenolen von Rinden, Rindenkomposten und Vergleichs-substraten

Bei den Gesamtphenolen zeigen Rinden und Rindenkomposte erwartungsgemäß die höchsten Gehalte. Durch Kompostierung der Rinde im Bioreaktor können die Gesamtphenole sowohl zu- als auch abnehmen. Sie nahmen immer dann deutlich ab, wenn neben Harnstoff auch Phosphat zugesetzt worden war.

Bei der wasserdampfvlüchtigen Phenolfraction zeigt sich, daß einfache Alterung oder gezielte Kompostierung bei den untersuchten Substraten immer zu einer deutlichen Verminderung der wasserdampfvlüchtigen Fraktion geführt hat, unabhängig davon, ob die Gesamtphenole zunehmen oder nicht. Dies weist darauf hin, daß die beginnenden Humifizierungsprozesse einen verstärkten Abbau niedermolekularer Phenole bewirkt haben.

Ein ähnliches Verhalten zeigt auch das Vergleichssubstrat Klärschlammkompost. Während durch aerobe Nachrotte der Gehalt an wasserlöslichen Phenolen halbiert wurde, bewirkte diese Maßnahme in der wasserdampfvlüchtigen Fraktion eine Reduzierung des Phenolgehaltes auf ca. 1/20 des Wertes ohne Nachrotte. Müllkompost weist entsprechend seinen Kompostierungsparametern (hoher pH-Wert, gute Durchlüftung, hoher Vorrat an Nährelementen) geringe Phenolgehalte in der wasserlöslichen und wasserdampfvlüchtigen Fraktion auf.

3.2 Pflanztests mit wässrigen Extrakten und deren Destillaten

Tab. 2 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der durchgeführten Pflanztests; Abb. 2 zeigt beispielhaft die Wirkung der wasserdampfvlüchtigen Komponenten von frischer Koniferenrinde.

Substrat	Verhalten im Pflanztest			
	wasserlösli. Fraktion		wdfli. Fraktion	
	mit	ohne	mit	ohne
	Nährelementzugabe			
Ri Fi/Ta frisch	-***	-***	0	-***
Ri Fi/Ta alt	-***	-***	0	0
Rindenkomposte (Bioreaktor)	0	+**	0	0
Klärschlammkompost mit Nachrotte	0	+**	0	0
ohne Nachrotte	-***	-***	0	-***

Tab. 2: Ergebnisse der Pflanztests mit wässrigen Extrakts und deren Destillaten (Lolium perenne, Versuchsdauer: 10 Tage)

- Wuchshemmung

+ Wuchsverbesserung

0 keine signifikante Änderung des Wachstums

** $p < 1\%$, *** $p < 0,1\%$

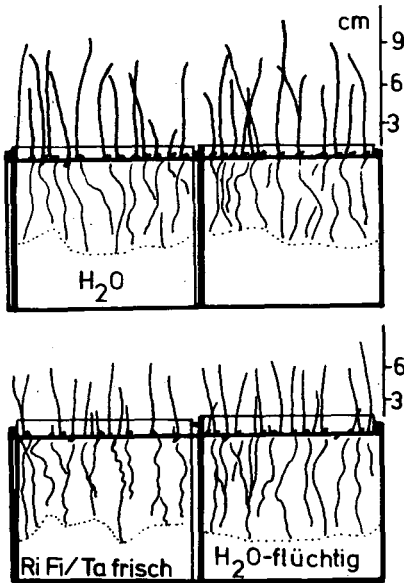


Abb. 2: Wirkung der wasserdampf-flüchtigen Fraktion von frischer Rinde (Fi/Ta) auf das Wachstum von *Lolium perenne* innerhalb von 10 Tagen. (Methodik vgl. Abschn. 2)

Die wasserlöslichen Bestandteile der unkompostierten Rinden wirken stark wuchshemmend, und zwar sowohl im Ansatz ohne als auch mit Nährelementen. Bei den untersuchten Rindenkomposten sind diese wuchshemmenden Substanzen abgebaut, da in den Ansätzen mit Nährelementen keine signifikante Beeinflussung des Wachstums durch wasserlösliche Bestandteile auftritt. Die positive Wirkung der Extrakte in den Ansätzen ohne Nährelementzusatz dürfte auf die Anwesenheit kompostbürtiger Nährelemente zurückzuführen sein. Analog zum Abbau wuchshemmender Substanzen bei der Rindenkompostierung bewirkt die Nachrotte bei dem untersuchten Klärschlammkompost einen Abbau phytotoxischer, wasserlöslicher Bestandteile.

Die wasserdampf-flüchtige Fraktion von frischer Rinde und Klärschlammkompost ohne Nachrotte verursachte deutliche Wuchshemmungen, während bei gelagerter Rinde und bei den Rindenkomposten keine signifikanten Einflüsse auf das Wachstum auftraten. In den Ansätzen mit Nährelementen blieb in den wasserdampf-flüchtigen Fraktionen eine negative Wirkung immer aus, was entweder durch höhere Toleranz der Pflanzen bei verbesserter Nährelementzufuhr oder durch Inaktivierung der Hemmstoffe aufgrund von Reaktionen mit den Nährelementen erklärt werden

kann.

Zur Frage, ob die Phytotoxizität der wässrigen und wasserdampfvlüchtigen Fraktionen durch die Phenolgehalte bedingt ist oder zumindest durch sie charakterisiert werden kann, gibt Abb. 3 einen Hinweis.

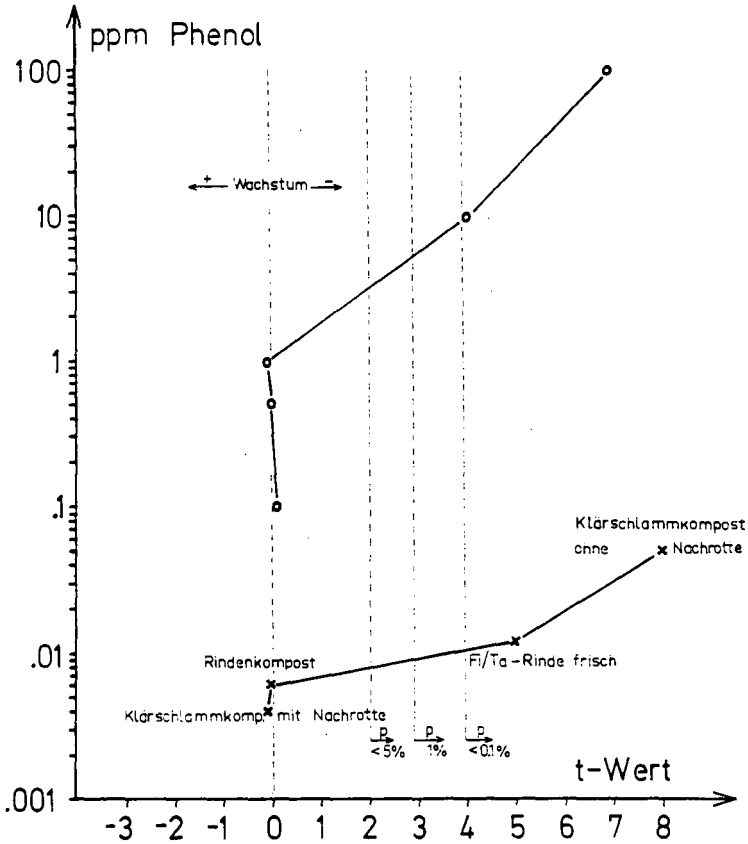


Abb. 3: Zusammenhang zwischen dem Grad der Wuchshemmung (t-Werte aus den statistischen Tests) und den Gehalten an wasserdampfvlüchtigen Phenolen

untere Linie: Siedlungsabfälle

obere Linie: monomeres Phenol

Auf der Abszisse ist der den Grad der Hemmwirkung charakterisierende t-Wert aus dem statistischen Vergleich gegenüber der Phenolkonzentration auf der Ordinate aufgetragen. Bei den untersuchten Substraten ergibt sich ein Schädigungsgrenzwert von ca. 0.01 ppm Phenol. Da bis jetzt im Bereich höherer Gehalte an wasserdampfvlüchtigen Phenolen nur wenige Punkte vorliegen, ist es fraglich, ob die Hemmwirkung tatsächlich durch den Phenolgehalt erklärt wird. Im Rahmen der untersuchten, sehr heterogenen Proben erwies sich die wasserdampfvlüchtige Phenolfraktion als brauchbarer Indikator des aktuellen Wuchshemmstoffpotentials.

Zum Vergleich ist die Wirkung von monomerem Phenol in analoger Weise aufgetragen. Bei diesem Ansatz traten der Schädigungsgrenzwert und die entsprechenden Schädigungsgrade bei etwa 100 mal höheren Phenolgehalten auf als in den Destillaten. Dies weist darauf hin, daß entweder die Phenole der wasserdampfvlüchtigen Fraktionen durch Ringsubstitutionen phytotoxischer als monomeres Phenol sind, oder daß nicht phenolische, wasserlösliche und wasserdampfvlüchtige Verbindungen an der Hemmwirkung beteiligt sind.

Die Gehalte an wasserlöslichen Phenolen lassen keinen Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pflanztests erkennen, da bei manchen Rindenkomposten der Phenolgehalt gegenüber den eingesetzten Rinden zunehmen kann (vgl. Tab. 1), die Extrakte der Rindenkomposte bei den Pflanztests jedoch nicht wuchshemmend wirkten (vgl. Tab. 2).

3.3 IR-Analyse der wasserdampfvlüchtigen Fraktionen

Die IR-Spektren der wasserdampfvlüchtigen Fraktionen von frischer Rinde, gelagerter Rinde und Rindenkompost sind in den Abb. 4 (nicht chloroformlöslicher Teil) und Abb. 5 (chloroformlöslicher Teil) dargestellt. Die Spektren der nicht chloroformlöslichen, also ausschließlich hydrophilen Komponenten, weisen bei WZ 2950 kaum Absorption auf d.h. es sind wenig aliphatische C-H-Bindungen vorhanden.

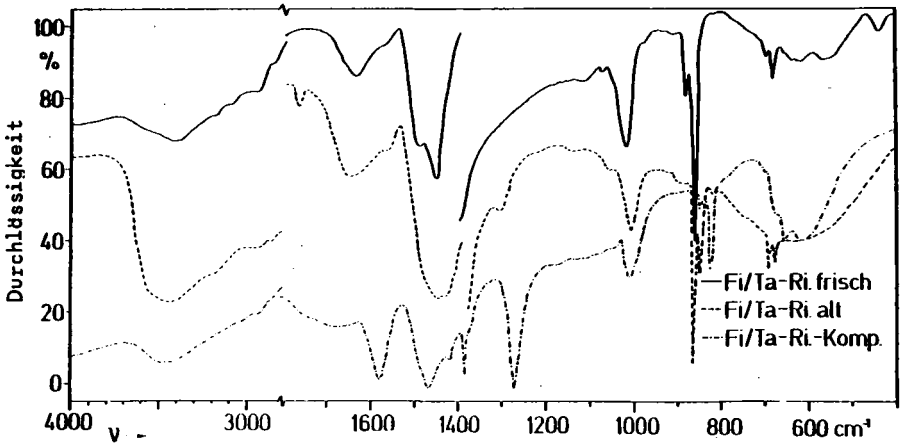


Abb. 4: IR -Spektren H_2O -flüchtiger, nicht $CHCl_3$ -löslicher Fraktionen

Es ist also anzunehmen, daß diese Fraktion hauptsächlich aus Aromaten besteht. Dies wird bestätigt durch die zumindest im Fall der frischen Rinde deutlichen Ringschwingungen des Benzols bei WZ 1580 und 1500. Auffallend ist auch, daß bis auf die Lactonbande bei gelagerter Rinde (WZ 1780) keine Carbonyle vorhanden sind. Bei Rindenkompost fallen gegenüber den anderen Substraten drei ausgeprägte Banden auf: die Absorptionen bei WZ 1580 und 1380 lassen auf das Vorliegen von Carboxylionen schließen. Die Absorption bei WZ 1275 wird aromatischen Äthern zugeordnet (bei gelagerter Rinde ist diese Bande angedeutet). Hinweise darauf, wie diese Strukturelemente verknüpft sind, gibt die scharfe Bande bei WZ 860, die die "out of plane"-Schwingung zweier benachbarter, aromatisch gebundener H-Atome charakterisiert, und damit darauf hinweist, daß als vorherrschende Substitutionstypen para-disubstituierte, oder 1,2,4-substituierte Benzole vorliegen. Die genannten Strukturelemente sind z.B. bei Vanillinsäure in dem geforderten Substitutionstyp vereinigt, so daß ein großer Teil der wasserdampf-flüchtigen Phenole des Rindenkompostes diesem Ligninbaustein sehr nahe kommen

dürfte. Bei den unkompostierten Rinden ist dagegen aufgrund des Fehlens typischer Carboxyl- und Methoxyabsorptionen das Vorliegen von Phenolen des Kresol- oder Oxykresoltyps anzunehmen.

Die Spektren der wasserdampfflüchtigen, chloroformlöslichen Fraktionen (vgl. Abb. 5) zeigen bei WZ 2950 und 2850 ausgeprägte, aliphatische C-H -Schwingungen. Die Trennung der wasserdampfflüchtigen Fraktionen mit Chloroform bewirkte also eine Fraktionierung in überwiegend aromatische und aliphatische Bestandteile. Abb. 5 zeigt auch, daß diese aliphatischen Komponenten bei WZ 1730 deutliche Carbonylbanden aufweisen und zwar in zunehmender Intensität mit Zunahme des Grades der Kompostierung. Es handelt sich bei dieser Fraktion wohl hauptsächlich um teilweise ungesättigte Fettsäuren, wie die Banden der C=C -Doppelbindung bei WZ 1620-1650 vermuten lassen.

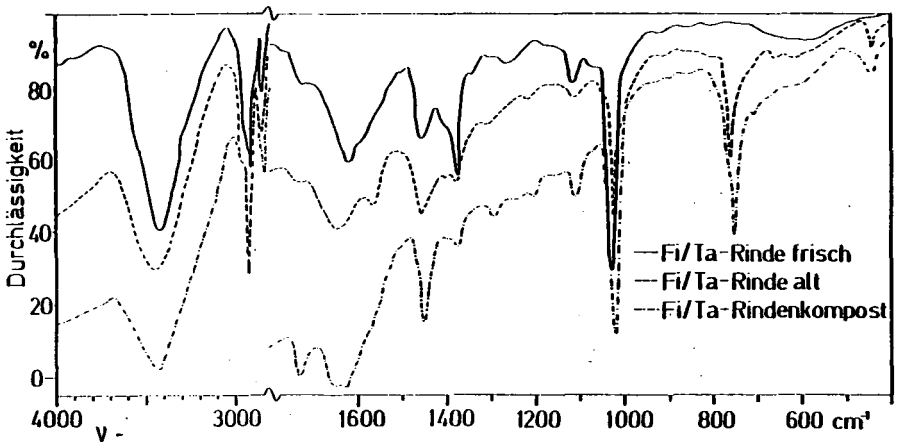
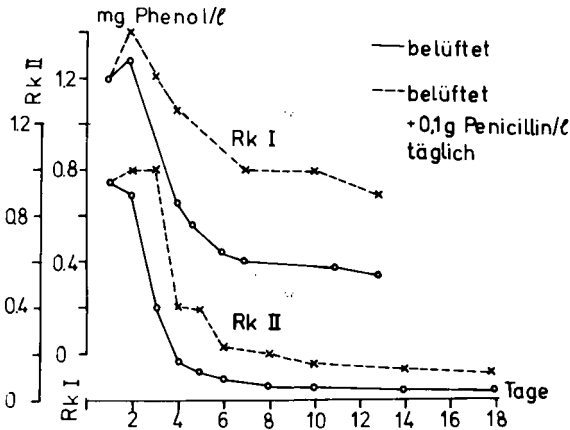


Abb. 5: IR -Spektren H₂O -flüchtiger, CHCl₃ -löslicher Fraktionen

3.4 Stabilität wasserlöslicher, rindenbürtiger Phenole gegenüber Autoxidation

In den Abb. 6 und 7 sind die zeitlichen Änderungen der Phenolkonzentrationen in belüfteten wässrigen Extrakten dargestellt. Abb. 6 zeigt am Beispiel von zwei gleichbehandelten Rindenkomposten, daß die Zugabe von Penicillin einen verzögerten Abbau der Phenole bewirkte. Bei den unbehandelten Varianten war der Großteil der Phenole nach 6-8 Tagen abgebaut, danach stellten sich Grenzwerte von 1/5 - 1/10 des Anfangsgehaltes ein.



*3 Wochen Bioreaktor, 4 kg Harnstoff/m³

Abb. 6: Änderung der Phenolkonzentrationen der wässrigen Extrakte von 2 Rindenkomposten in Abhängigkeit von der Zeit

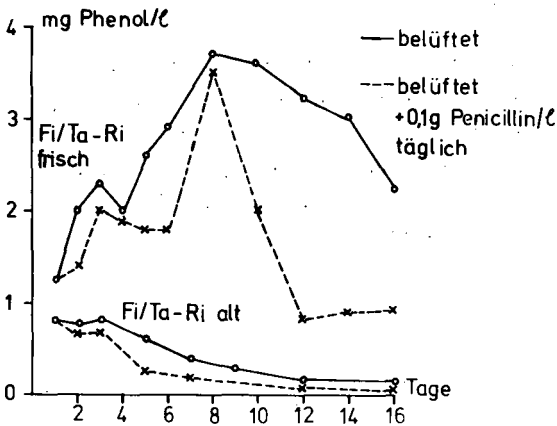


Abb. 7: Änderung der Phenolkonzentrationen der wässrigen Extrakte von frischer Rinde (oben) und gelagerter Rinde (unten) in Abhängigkeit von der Zeit

Aus Abb. 7 ist ersichtlich, daß im Gegensatz zu den Komposten die Penicillinzugabe bei Extrakten aus unkompostierten Rinden ein niedrigeres Niveau der Phenol-Zeitkurven verursachte. Die Keimzählung bei diesen Extrakten ergab, daß Aktinomyceten auftraten und zwar in besonders hohen Keimzahlen bei frischer Rinde. Am 16. Tag (Versuchsende) enthielt die penicillinbehandelte Variante 10^5 Strahlenpilzkeime/ml gegenüber nur 10^3 Keimen/ml bei der unbehandelten Variante, während am 8. Tag, also zum Zeitpunkt des gemeinsamen Maximums der Phenolkonzentrationen die penicillinbehandelte Variante 10^6 Keime/ml gegenüber 10^5 Keimen/ml bei der unbehandelten Variante aufwies. Man kann also annehmen, daß in diesem Fall die Beseitigung bakterieller Umsetzungsprozesse die im Phenolabbau leistungsfähigeren Aktinomyceten begünstigt hat (vgl. HAIDER u. MARTIN, 1979 und KÜSTER, 1979). Bemerkenswert ist auch, daß bei dem Extrakt aus frischer Rinde zunächst ein sehr starker Anstieg der Phenolgehalte auf mehr als das 3-fache des Anfangsgehaltes zu verzeichnen war, der bei den anderen Substraten nur andeutungsweise auftrat (vgl. Abb. 6). Verantwortlich dafür müssen leicht abbaubare wasserlösliche Ausgangsstoffe sein. Da die Extrakte aus frischer Rinde an den ersten 4-6 Tagen immer keimfrei waren, ist diese Zunahme abiotisch erfolgt. Es handelt sich dabei wohl um hydrolytischen Abbau fungi- und bakterizider Gerbsäuren, die für die Zunahme

der Phenolkonzentration bei frischer Rinde verantwortlich sind. Bekanntlich können phenolische Gerbsäuren nicht über chinoide Zwischenprodukte oxidiert werden, da ihre Phenolgruppen meist in meta-Positionen stehen (vgl. FLAIG et al., 1975).

4. Zusammenfassung

Es wurden von Rinden, Rindenkomposten und anderen Vergleichssubstraten die wasserlöslichen und wasserdampfflüchtigen Phenole bestimmt. Die Hemmwirkung der Extrakte und Destillate wurde in Pflanztests geprüft. Dabei ergab sich ein Zusammenhang zwischen den Gehalten an wasserdampf-flüchtigen Phenolen in den Destillaten und deren Hemmwirkung in den Pflanztests, während ein solcher Zusammenhang bei den wasserlöslichen Phenolen nicht auftrat. Die Brauchbarkeit der wasserdampfflüchtigen Phenolfraktion als Indikator des aktuellen Wuchshemmstoffgehaltes muß an weiteren Substraten überprüft werden. Die IR-Analyse der wasserdampf-flüchtigen Fraktionen, die mittels Chloroform in eine biphile und hydrophile Fraktion getrennt wurden, ergaben neben den typischen Banden phenolischer para-disubstituierter oder 1,2,4-substituierter Aromaten auch Hinweise auf das Vorliegen von aliphatischen Carboxylsäuren und Lactonen.

Die wasserlöslichen Phenole der Rindenkomposte werden in Extrakten im Gleichgewicht mit Luftsauerstoff in 6-8 Tagen zu 70-90% abgebaut. Bei frischer Rinde kann innerhalb dieser Zeit eine Verdreifachung des Anfangsgehaltes an wasserlöslichen Phenolen eintreten. Als Ursache hierfür wird ein abiotischer, hydrolytischer Abbau bakterizid und fungizid wirkender phenolischer Gerbsäuren vermutet.

5. Literatur

- FLAIG, W., BEUTELSPACHER, H. und RIETZ, E.: Chemical Composition and Physical Properties of Humic Substances: in: Soil Components Vol I: Organic Components. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1975.
- HAIDER, K. und MARTIN, J.P.: Abbau und Umwandlung von Pflanzenrückständen und ihren Inhaltsstoffen durch die Mikroflora des Bodens. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 456-475, 1979.
- KÜSTER, E.: Bedeutung der Aktinomyceten für den Abbau von Cellulose, Lignin und Huminstoffen im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 142, 365-374, 1979.
- SCHEFFER, F. und ULRICH, B.: Humus und Humusdüngung I. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1960.
- SÖCHTIG, H.: Zur Erfassung der bei der Strohhrotte gebildeten Ligninabbauprodukte: Kennzeichnung durch UV-Spektren. Landbauforsch. Völknerode 11, 13-15, 1961.
- TEPE, W.: Verwendung von aufbereiteter Schälrinde als Humusdünger. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 27, 87-92, 1978.
- ZÖTTL, H.W.: Rinde - Abfall oder Rohstoff? Allgem. Forstzeitschrift 6, 154-155, 1977.
- "Die Untersuchung von Wasser"
Selbstverlag der Fa. Merck, Darmstadt, 1974.

Diese Arbeit wurde im Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg mit finanzieller Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Ich danke Frl. G. Mattmüller für die Mitwirkung bei den Analysen.

ISSN-0343-107X

Zum Einfluß einiger Standortfaktoren auf den Ertrag
der Reispflanze in zwei Zinkmangel-Gebieten der
Philippinen

von

Hauptenthal, Chr.⁺, H.-W. Scharpenseel⁺⁺, E. Eichwald⁺⁺
und K.G. Kirschey⁺⁺⁺

Einleitung

Seit NENE 1966 Zinkmangel als Grund für verminderte Leistungsfähigkeit bei Reiskulturen erkannte, haben die dadurch verursachten Schäden zugenommen. Gründe dafür sind neben der Einführung von Hochleistungsorten mit höheren Ansprüchen auch die Ausdehnung der Anbaufläche auf weniger geeignete Standorte. Zinkmangelsymptome wurden bisher aus Indien, Pakistan, den Philippinen, Japan, den Vereinigten Staaten, Kolumbien, Tschad und Nigeria berichtet (CASTRO, 1977). Infolgedessen wird die Unterversorgung mit Zink heute als drittwichtigstes Nährstoffproblem angesehen, welches besonders beim Naßreisbau auftritt.

Seit 1978 beschäftigt sich eine deutsche Arbeitsgruppe am Internationalen Reisforschungs-Institut (IRRI) mit den Einflüssen von Boden und Umwelt auf den Reisbau in Zinkmangel-Gebieten der Philippinen. Über die bisherigen Ergebnisse dieser Arbeit soll hier berichtet werden.

1. Untersuchungsgebiet

Für die Geländeuntersuchungen wurden zwei Areale in der Provinz Pangasinan auf Luzon ausgewählt. Diese repräsentieren 15 000 ha mit mangelnder Zinkversorgung. Die beiden Flächen befinden sich bei Bugallon im Westen und Natividad im Osten der Zentralebene von Luzon. Bugallon

⁺ Hess. Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden

⁺⁺ Ordinariat für Bodenkunde der Universität Hamburg,
von Melle Park 10, 2000 Hamburg 13

⁺⁺⁺ z.Zt. The International Rice Research Institute, Los Banos,
Philippinen

liegt etwa 50 m über N.N. im ehemaligen Überschwemmungsbereich des Agno. Nach Westen hin steigt die Alluvialebene zu den Zambales-Bergen an, die fast ausschließlich aus ultrabasischen und basischen Plutoniten bestehen. Ähnlich ist die Situation in Natividad. Das Gelände liegt etwa 1 km westlich der Caraballo-Berge, deren Kern ebenfalls Plutonite bilden. Die Westflanke wird von klastischen Sedimentgesteinen marinen Ursprungs überlagert. An den Rändern der Ebene verlaufen Verwerfungszonen parallel zu den Gebirgszügen. Die gesamte Region entwässern der Agno und seine Nebenflüsse nach Norden zum Golf von Lingayen hin.

Das Klima wird durch zwei deutliche Jahreszeiten charakterisiert. Dies sind die Regenzeit von Mai bis Dezember, in der auch ein- bis zweimal Niederschläge über 500 mm/Monat vorkommen können, sowie die Trockenzeit von Januar bis April. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 2250 mm, die durchschnittliche Lufttemperatur um 28° C.

2. Untersuchungen

Bei der Feldbegehung zeigten sich starke Mangelsymptome, d.h., starke Bleichungen und Braunfärbungen bzw. abgestorbene Pflanzen, in der Regel an tiefliegenden, vernässten Stellen. Daher wurden die Toposequenzen in die Bereiche H (höher liegend mit schwachen Merkmalen) und L (tiefer liegend mit starker Ausprägung) unterschieden.

Um den Einfluß der Zn-Unterversorgung auf den Kornsertrag abschätzen zu können und die Reaktion mehrerer Sorten auf unterschiedlich hohe Zn-Gaben zu untersuchen, wurde in der Nähe der L-Bereiche in der Regenzeit 1978 je ein Düngerversuch angelegt und ausgewertet. Die Versuchsflächen wurden in der folgenden Trockenzeit erneut bepflanzt, um die Langzeitwirkung der Zn-Düngung zu ermitteln.

Ziel der bodenkundlichen Kartierung beider Areale war es, die Eigenschaften der Böden festzustellen und der Frage nachzugehen, ob und wodurch sich die Bereiche H und L unterscheiden. Daran anschließend wurden für diese Bereiche repräsentative Bodenproben entnommen und im Labor des IRRI auf Korngrößen und chemische Zusammensetzung analysiert. Außerdem wurden Röntgenfluoreszenzspektrometrie und tonmineralogische Bestimmungen in Hamburg durchgeführt.

Da Beobachtungen an vielen Stellen zeigen, daß in den Philippinen Zinkmangel oft mit langdauernder Vernässung und artesischer Aktivität zusammen auftritt, wurden im November 1978 in Bugallon 20 Piezometersätze installiert, welche jeweils drei Horizonte bis 120 cm Tiefe erfassen. Seitdem werden die Wasserstände monatlich mindestens einmal gemessen. Gleichzeitig entnommene Wasserproben werden im IRRI analysiert. Die Auswertung soll Aufschlüsse geben, ob artesische Verhältnisse vorliegen und wie Wasserstände und Stoff-Konzentrationen sich im Jahresverlauf verhalten, bzw. auf Boden und Pflanze einwirken.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Düngerversuche

Die Kornerträge der zwei Versuche (Tab. 1) bestätigen, daß es sich in Bugallon um mäßigen, in Natividad um starken Zinkmangel handelt. Zn-Gaben zwischen 4 und 16 kg/ha erhöhen den Ertrag in Bugallon, während sie in Natividad den Reisanbau erst ermöglichen. Die Langzeitwirkung in Natividad ist eindeutig positiv. Da die Ertragssteigerungen der Trockenzeit teilweise auf die Witterung zurückzuführen sind, kann eine solche Wirkung in Bugallon nicht sicher erkannt werden.

3.2. Grundwasseruntersuchungen

Abb. 1 gibt Verhältnisse an einem Meßpunkt wieder, wie sie mehrfach anzutreffen sind. Das Bodenprofil zeigt eine schluffig-lehmige Bearbeitungszone über einem ungestörten lehmigen Teil mit nach unten zu steigendem Sandgehalt. Alle drei Piezometer zeigen gleiche Wasserstände an, obwohl sie Zufluß aus verschiedenen Horizonten erhalten. Der Vergleich mit der Niederschlagskurve deutet eine ein- bis zweimonatige Verschiebung der Extremwerte an. Mit Ausnahme der Monate Februar und März reicht der artesische Druck aus, um das Wasser in den Pflughorizont gelangen zu lassen. Durch diese lange Vernässungsphase wird die Oxidation nur kurzzeitig ermöglicht.

Oft treten hohe Gehalte an Mg- und Ca-Bikarbonaten im Grund- und Bewässerungswasser der Zinkmangel-Gebiete auf. Die hohen Mittelwerte für Ca und Mg in der Tab. 2 bestätigen diese Erfahrung. Sie finden ihre Erklärung in der Herkunft des Wassers aus den angrenzenden Plutoniten. Zwar zeigen auch sie ein Mg- : Ca-Verhältnis über 1 wie andere ver-

gleichbare Gebiete, die absoluten Gehalte sind jedoch geringer als dort. Alle anderen Konzentrationen treten deutlich zurück.

3.3. Böden

Sowohl in Bugallon als auch in Natividad zeigen die Bodenprofile raschen Bodenartenwechsel infolge intensiver Erosions- und Sedimentationstätigkeit. Deshalb gibt es keine für die Bereiche typischen Bodenartenschichtungen. Böden im Bereich H sind meist tonige bis lehmige Tropaquents, solche im Bereich L lehmige bis sandige Hydraquents. Wegen des hohen Grundwasserstandes zeigen die Profile vorwiegend Reduktionsfarben. Oxidation sowie Fe-Ansammlungen fielen kaum, und wenn, dann wenig ausgeprägt, auf. Allerdings sind an den Oberfläche wasserführender Sandschichten Fe- und Mn-Konkretionen zu finden.

Eine Zusammenstellung der wichtigsten chemischen Merkmale als Mittelwerte zeigt Tab. 3. Von den in philippinischen Zinkmangel-Böden häufig anzutreffenden Kennzeichen:

pH größer 7,
Organische Substanz größer 3 %,
Kalkhaltigkeit,
Mg- : Ca-Verhältnis größer 1,
weniger als 1 ppm verfügbares Zn im
0,5 N HCL-Extrakt

und

weisen die zwei Standorte nur die beiden letzteren uneingeschränkt auf. Die pH-Werte schwanken vom schwach alkalischen bis schwach sauren Bereich. Die Werte für Bugallon sind eindeutig höher als in Natividad, zeigen aber nur etwas geringere Niveaus in H als in L. Der organische Kohlenstoff und die N-Gehalte sind gewöhnlich in L größer als in H. Sie erreichen aber nicht die oben genannte Höhe von 3 %.

Die Gesamt-Gehalte an Ca und Mg steigen ebenfalls von H nach L hin an, während sich die austauschbaren Fraktionen umgekehrt verhalten. Das Mg- : Ca-Verhältnis ist nur in Bugallon größer 1. Dies scheint immer dann der Fall zu sein, wenn sich stärkerer Grundwassereinfluß im Profil geltend macht. Die Gesamt-Zn-Konzentrationen liegen mit ca. 50 ppm und 89 ppm im unteren Bereich der für Böden gewöhnlich angegebenen Spanne. Die Gehalte im 0,5 N HCL-Extrakt unterschreiten den Grenzwert 1 ppm bei weitem. Dadurch deuten sie auf Zn-Unterversorgung hin. Die im Verfahren nach

OLSON gemessenen Werte zeigen für Bugallon und für die tieferen Flächen von Natividad starken P-Mangel an (Grenzwert 3 ppm). Mangelhaft ist ebenfalls die Versorgung mit K, wie Düngerversuche bestätigen. Die Auswirkungen sind in Natividad weniger stark als in Bugallon anzutreffen und treten besonders in L auf. Die Cr-Gehalte insbesondere in Bugallon übersteigen die bei uns zugelassenen Toleranzwerte. Daher liegt der Verdacht nahe, daß es sich hier um toxische Konzentrationen handelt. Versuche mit Nährlösungen scheinen diese Hypothese zu bestätigen: mehr als 1 ppm Cr sind dem gesunden Pflanzenwuchs abträglich.

Bei den Tonen handelt es sich nach ersten Untersuchungen um Smektit und zurücktretend um Kaolinit und Illit.

Die vorliegenden Daten lassen den Schluß zu, daß bereits geringe Zn-Gehalte auf Bedingungen treffen, welche die Zn-Mobilität hemmen, wenn nicht gar das Zn fast völlig fixieren. So nimmt mit steigendem pH-Wert die Zn-Löslichkeit in Wasser ab. Gleichzeitig nimmt die sorptive Bindung an Bodenminerale zu.

Wegen der relativ hohen Gehalte an Ca- und Mg muß mit dem Eintausch von Zn in deren Karbonate gerechnet werden. Auch der Einbau in Ton-Humus-Verbindungen oder Adsorption an organische Substanz sind aufgrund gemessener hoher Korrelationswerte zwischen Zn-Mangel und organischer Substanz vorstellbar.

Aus den höheren Gehalten an organischer Substanz, Ca und Mg wäre der stärkere Zn-Mangel in tiefer liegenden Bereichen zu erklären. Wieweit der Einfluß der einzelnen Faktoren geht und wieweit P- und K-Mangel sowie Cr-Toxizität die Zn-Mangelsymptome verstärken kann derzeit nicht abgeschätzt werden.

4. Zusammenfassung

- Aufgrund von Feldbeobachtungen liegen in Bugallon mäßige, in Natividad starke Zn-Mangelsymptome vor, wie auch von Düngungsversuchen bestätigt wird.
- 4 bis 16 kg/ha Zn als Zn-Oxid beim Verpflanzen ausgebracht können Zinkmangel beheben und wirken eine zweite Pflanzzeit nach.
- Bodenkundliche und hydrologische Untersuchungen zeigen, daß die meisten der von philippinischen Reisböden bekannten Merkmale auch auf den untersuchten Standorten anzutreffen sind (Tab. 4).

- Aus den chemischen Analysen geht hervor, daß geringe Zn-Gehalte im Boden auf Bedingungen treffen, die die Löslichkeit herabsetzen und die Sorption an Bodenminerale verstärken. Außerdem ist Fixierung in Karbonaten sowie in Ton-Humus- bzw. organischen Verbindungen anzunehmen.
- Die Wirkung des Zn-Mangels wird durch P- und K-Unterversorgung verstärkt. Anzeichen für Cr-Toxizität sind vorhanden, bedürfen aber weiterer Untersuchungen.

Literatur:

- CASTRO, R. U. (1977): Zinc deficiency in rice: A review of research at The International Rice Research Institute. 18 S., 12 Tab., 2 Abb.; Los Banos, Philippinen (IRRI - IRPS 9).
- NENE, Y. L. (1968): Symptoms, cause and control of Khaira disease of paddy.- Bull. Ind. Phytopath. Soc. 3: 97 - 191.
- VAN BREEMEN, N. (1978): Characteristics of Zn deficient rice lands in the Philippines (Annual report 1977).- Manuscript.

**Tab. 2: Grenz- und Mittelwerte der Grundwasseranalysen von 20 Punkten
in Bugallon, Pang., Philippinen von Nov. 1978 bis Aug. 1979**

Analyse	Grenzwerte	Mittelwert
pH	6,3 - 8,7	7,6
EC mmho/cm	0,19 - 1,61	0,46
Ca ²⁺ mval/l	0,2 - 3,4	0,81
Mg ²⁺ mval/l	0,6 - 3,5	1,65
HCO ₃ ⁻ mval/l	1,4 - 12,9	5,5
Na ⁺ mval/l	0,09 - 1,93	0,4
Cu ²⁺ ppm	0,01 - 0,1	0,029
Fe ²⁺ ppm	0,01 - 1,6	0,18
Mn ²⁺ ppm	0,0 - 5,0	0,52
Zn ²⁺ ppm	0,0 - 0,2	0,11
K ⁺ ppm	0,0 - 19,2	1,0

Tab. 3: Mittelwerte der chemischen Analysen von Böden aus den Bereichen H (Tropaquent) und L (Hydraquent) zweier Toposequenzen in Bugallon und Natividad, Pang., Philippinen

Analyse	BUGALLON			NATIVIDAD		
	<u>H</u> n = 20	<u>L</u> n = 19	\bar{x} <u>L</u> % rel. zu <u>H</u>	<u>H</u> n = 5	<u>L</u> n = 5	\bar{x} <u>L</u> % rel. zu <u>H</u>
<u>pH</u>	7,06	6,89	- 3	6,16	5,32	- 14
<u>org. C.</u> %	1,09	1,24	+ 14	0,874	1,038	+ 13
<u>N_{tot}</u> %	0,1	0,13	+ 30	0,1	0,092	- 8
<u>Ca_{aust}</u>	12,45	12,06	- 3	15,0	8,86	- 41
<u>Mg_{aust}</u>	12,49	11,7	- 6	5,94	3,9	- 34
<u>K_{aust}</u> mval/ 100 g	0,031	0,034	+ 10	0,078	0,004	- 49
<u>AK</u>	26,7	27,1	+ 2	26,96	21,54	- 20
<u>Ca*</u> %	3,7650	3,9668	+ 5	3,2940	3,2794	- 10,4
<u>Mg*</u> %	4,3311	4,5424	+ 5	1,0267	1,8529	+ 80
<u>K*</u> %	0,0710	0,0616	- 13	0,3628	0,3448	- 5
<u>Zn*</u> %	0,0051	0,0050	- 2	0,0089	0,0089	± 0
<u>Zn_{K&P*}</u> ppm	0,21	0,16	- 23		---	
<u>P*</u> %	0,0079	0,0069	- 13	0,0672	0,0398	- 40
<u>P_{Gibson}</u> ppm	1,28	1,41	- 10	8,26	3,64	- 40
<u>Cr*</u> %	0,1845	0,1816	- 2	0,0090	0,0118	- 31
<u>Ton</u> %	30,2	23,4	- 23	12,76	12,76	± 0

* Messung durch RFS

+ Verfahren nach KATYAL & PONNAMPERUMA

Tab. 4: Standorteigenschaften der Zinkmangel-Böden in Bugallon und Natividad im Vergleich mit häufig anzutreffenden Merkmalen anderer philippinischer Zinkmangel-Böden (nach VAN BREEMEN 1978)

	BUGALLON	NATIVIDAD
- langandauernde Vernässung	+	+
- schlechte Drainage in Verbindung mit		
- ebenem Relief	o	o
- artesischer Aktivität	+	+
- Basenstatus des Bodens		
- pH >7	o	o
- karbonathaltig	o	o
- Mg >Ca	+	o
- organische Substanz <3 %	o	o
- Zn im 0,5 N HCl-Extrakt <1 ppm	+	+
- Bodenklassifikation als		
- Aquent	+	+
- Aquept	+	+
- Hydric Hemist	o	o

+ ja
o nein

Tab. 1: Einfluß von Zn und NPK auf den Reisertrag von Zinkmangel-Böden - Bugallon und Natividad, Pang., Philippinen

Zn-Gabe kg/ha als ZnO	BUGALLON		NATIVIDAD	
	Regen- zeit 1978	Trocken- zeit 1979	Regen- zeit 1978	Trocken- zeit 1979
0	1,01	2,64	0	0
4	--	4,96	--	5,18
8	3,0	3,79	2,6	5,26
16	2,91	3,99	3,11	5,31

(Mittelwerte aus drei Varietäten bei zwei unterschiedlichen P-Gaben)

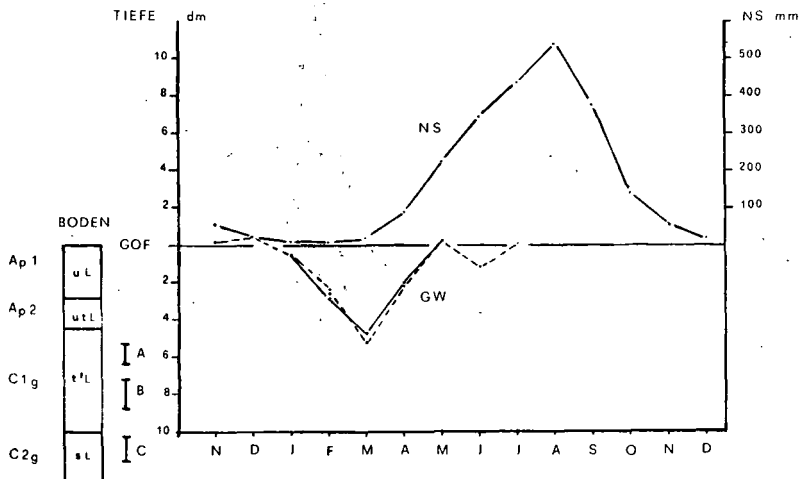


Abb. 1: Niederschläge (NS) und piezometrische Grundwasserstände (GW) als Monatsmittel von Nov. 1978 bis Juli 1979 in Bugallon, (no. 13), Pang., Philippinen

A, B, C -----

hiervon abweichend: A (für den Zeitraum Jan. - Mai) ———

Ein einfaches Modell für die Stickstoff-
Mineralisation unter Feldbedingungen

von

Nuske, A.⁺ und J. Richter

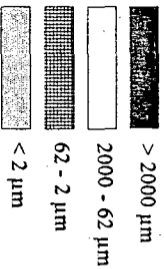
Die Stickstoffdüngung zu Wintergetreide und Zuckerrüben wird auf den Lößböden des südlichen Niedersachsens in zunehmendem Maße nach der N_{\min} -Methode durchgeführt. Diese Methode hat sich in der Praxis bewährt. Sie beinhaltet Messung des Mineralstickstoffs (N_{\min}) zu Vegetationsbeginn in der von Pflanzen nutzbaren Bodenschicht sowie Ergänzungsdüngung auf das Niveau des jeweiligen pflanzlichen Bedarfs. Wir versuchen die Frage zu klären, inwieweit die aufwendigen N_{\min} -Messungen durch numerische Simulation der NO_3 -N-Dynamik im Boden zu ersetzen sind. Dazu wurde ein mathematisches Modell entwickelt und unter Feldbedingungen in Parabraunerden aus Löß getestet. Das Modell besteht aus relativ einfachen Gleichungssystemen für N-Mineralisation und NO_3 -Verlagerung im Boden.

Die N-Mineralisation wird durch Reaktionsgleichungen erster Ordnung jeweils für die bodeneigene und die frisch zugeführte organische Substanz beschrieben. Diese Trennung erfolgt aufgrund der unterschiedlichen Zersetzbarkeit dieser beiden Substanzgruppen. Die Nitrifikation ist so schnell, daß Ammonifikation die Reaktionsgeschwindigkeit bestimmt. Die Größen der Geschwindigkeitsparameter der Reaktion wurden der Literatur entnommen und in gewissem Umfang variiert. Diese Parameter sind linear von der Temperatur abhängig. Ferner wurde angenommen, daß der mineralisierbare Stickstoff der bodeneigenen organischen Substanz 12% des

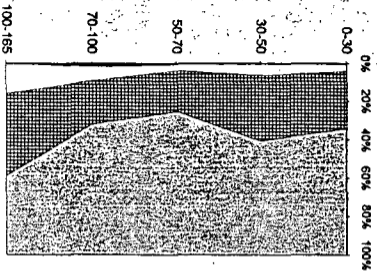
⁺Inst. f. Bodenkunde, 3000 Hannover, Herrenhäuserstr.2

Gesamtstickstoff-Gehaltes des Bodens beträgt. Der mineralisierbare Stickstoff der zugeführten organischen Substanz entspricht dem in den Ernterückständen auf dem Feld belassenen Stickstoff. Die Mineralisationsaktivität wird als gleichmäßig über die Ackerkrume (ca. 30 cm) verteilt gedacht.

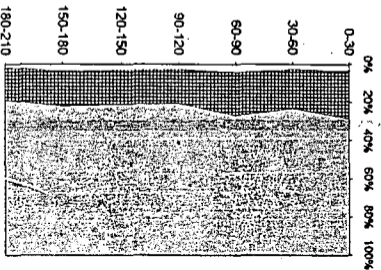
Dieses einfache Modell benötigt nur wenige Eingabedaten und sehr kurze Rechenzeiten. Der Vergleich von Meßwerten der NO_3 -N-Profile bis 1m Tiefe mit Simulationsergebnissen war befriedigend. Eine ausführlichere Darstellung wird in Kürze in "Plant and Soil" erscheinen.



Profil 3



Profil 4





Der Einfluß der Grundwasserhöhe auf die
Stickstoffumsetzungen in Niedermoorböden

von

Scheffer, B.* und A. Tóth**

Niedermoorböden enthalten im Vergleich zu Mineralböden hohe Mengen an organisch gebundenem Stickstoff. Nach Entwässerungen werden solche Böden als Grünland oder Ackerland genutzt. Der dann durch erhöhten Abbau organischer Substanz frei werdende Stickstoff kann von den meisten Kulturpflanzen nicht voll ausgenutzt werden (SCHEFFER, B., 1977).

Ziel unserer Arbeiten ist es, durch geeignete bodentechnologische Maßnahmen diesen für die Kulturpflanzen und auch die Gewässer schädlichen zu hohen Stickstofffluß zu drosseln und gleichzeitig den Abbau der organischen Bodensubstanz zu verlangsamen.

Brutversuche im Labor haben ergeben, daß bei 100 % $W_{K_{max}}$ sowohl die biologische Aktivität, gemessen als CO_2 -Freisetzung, als auch die N-Mineralisation und Nitrifikation - gemessen als NH_4^+ - und NO_3^- -Freisetzung - im sauren und im kalkreichen Niedermoorboden gedrosselt werden (SCHEFFER, B., 1977). Diese Ergebnisse sollten nun in einem Lysimeterversuch überprüft und ergänzt werden.

1. Beschreibung der Versuche

Jeweils 6 Lysimeter ($1,6 \text{ m}^2$, 80 cm tief) wurden 60 cm hoch mit Unterboden (20 - 60 cm) eines kalkreichen Niedermoorbodens (pH 7,2) aus dem Großen Bruch bei Jerxheim bzw. eines sauren Nie-

*Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Bodentechnologisches Institut Bremen, Fr.-Mißler-Str. 46-50, 2800 Bremen

**Agrarwissenschaftliche Universität, Institut für Acker- und Pflanzenbau, H-8361 Keszthely, Ungarn

dermoorbodens (pH 4,4) aus dem Raum Stade gefüllt. Anschließend wurden noch jeweils 20 cm Krumenboden der beiden Niedermoorböden aufgefüllt, um eine möglichst natürliche Schichtung zu erhalten.

Folgende Versuchsvarianten wurden angelegt:

1. Grundwasserhöhe 70 cm u. GOF (trockene Variante - tr -),
2. Grundwasserhöhe 20 cm u. GOF (nasse Variante - n -),
3. Grundwasserhöhe wechselnd, je nach Witterung, bei längeren Trockenperioden zwischen 70 und 30 cm u. GOF variiert im Abstand von 2 - 3 Wochen (wechselfeuchte Variante - wf -).

Grunddüngung 120 kg/ha P_2O_5 und 160 kg/ha K_2O . N-Düngung erfolgte nicht. Jeweils im Frühjahr wurde Oldenburger Weidelgras eingesät.

2. Ergebnisse

2.1. Graserträge, N_t - und Nitrat-N-Gehalte im Aufwuchs

Die Ergebnisse der Graserträge der Jahre 1977 und 1978 sind in der Abbildung 1 dargestellt. Im noch relativ trockenem 1977 erzielten wir auf den wechselfeuchten und nassen Varianten die höchsten Erträge; 1978, ein gegenüber 1977 erheblich nasserer Jahr, brachte die höchsten Erträge auf den trockenen Varianten. Das Ertragsniveau des sauren Niedermoorbodens beträgt nur ca. 50 % das des kalkreichen Niedermoorbodens.

Wesentlich interessanter für unsere Versuchsfrage sind die N_t - und Nitrat-N-Gehalte im aufwuchs (Abb. 2). 1978 wurden ähnliche Werte erzielt wie 1977, daher wurde auf ihre Darstellung verzichtet. Die N_t -Gehalte der trockenen Varianten sowohl auf dem sauren als auch auf dem kalkreichen Niedermoorboden sind mit 3,3 % bzw. 4,3 % relativ hoch. Eine Erhöhung des Grundwasserstandes oder sein ständiger Wechsel reduzierten diese Werte deutlich. Demnach wird durch den schwankenden Grundwasserspiegel überschüssiger, pflanzenverfügbarer Stickstoff entzogen bzw. erst gar nicht freigesetzt.

Deutlicher als die N_t -Werte verhalten sich die Nitrat-N-Gehalte im aufwuchs. Besonders schön sieht man die Abnahme des Nitrat-N-Gehaltes im aufwuchs von der trockenen über die wechselfeuchte zur nassen Varianten in beiden Versuchsböden. Auf dem sauren Niedermoorboden sind diese Unterschiede nicht so ausgeprägt, aber

ebenfalls noch deutlich erkennbar. Die tierphysiologisch bedenklichen Nitrat-N-Grenzwerte schwanken zwischen 0,21 und 0,35 % Nitrat-N in der Trockenmasse (NEUBAUER, 1977; PRATT et al., 1976).

Demnach ist der aufwuchs von den trockenen Varianten auf dem kalkreichen Niedermoorboden zum Füttern nicht geeignet. Solche hohen Nitratgehalte werden auf Mineralböden nur nach hoher N-Düngung oder Gülledüngung vorwiegend im Spätsommer erreicht.

2.2. Bodenwasseruntersuchungen

1977 und 1978 wurden 14-tägig Bodenwasserproben aus 20, 40 und 60 cm Tiefe mit Hilfe von keramischen Saugkerzen entnommen.

Im kalkreichen Niedermoorboden wird die Nitratbildung durch wechselnde Grundwasserstände und vor allem hohe Grundwasserstände gehemmt. Es kommt allerdings zu einer leichten Anreicherung von Ammonium im Boden. Im Frühjahr 1978 wurden in 20 cm u. GOF der trockenen Varianten 5, 3 - 71,2 mg Nitrat-N/l Bodenwasser gemessen, in der gleichen Tiefe der nassen Varianten nur 0,3 - 6,4 mg Nitrat-N/l Bodenwasser; während in 40 und 60 cm Tiefe in den trockenen Varianten noch Nitratgehalte zwischen 25 - 67 mg Nitrat-N/l Bodenlösung auftraten, wurden in den gleichen Tiefen der nassen Varianten und wechselfeuchten Varianten nur noch Spuren von Nitrat ermittelt.

Im sauren Niedermoorboden mit seinem für Nitrifikanten ungünstigen Milieu führt Wasseranstau zu einer Anreicherung an Ammonium, das wiederum den Abbau von organischen Stickstoffverbindungen hemmt, wie Brutversuche ergaben (SCHEFFER, B., 1977). Die sonst in der Krume des sauren Niedermoorbodens vorhandene schwache Nitrifikation kann durch eine Erhöhung des Grundwasserstandes unterbunden werden.

3. Diskussion der Ergebnisse

Nicht nur die Stickstoffdynamik, sondern auch die Abbaugeschwindigkeit der organischen Substanz der Niedermoorböden sind vom Wasserhaushalt dieser Böden abhängig. Unter reduktiven Bedingungen kann ein Überangebot an Stickstoff vermindert werden, so

daß die Qualität der Kulturpflanzen verbessert wird, ohne große Ertragseinbußen hinnehmen zu müssen. In trockenen Jahren, wie die Ergebnisse aus 1977 andeuten, führen hohe und wechselnde Grundwasserstände sogar noch zu Ertragssteigerungen mit guter Qualität des Aufwuchses.

Der Abbau des Überangebotes an mineralisiertem Stickstoff erfolgt a) durch eine gedrosselte N-Mineralisierung und damit Vermeidung eines Überangebotes an pflanzenverfügbarem Stickstoff und b) durch Denitrifikation besonders im kalkreichen Niedermoorboden.

Wie weit solche Ergebnisse auf Freilandbedingungen übertragbar sind, bleibt abzuwarten. Mit hohen Grundwasserständen werden in Niedermoorböden die Trittfestigkeit und Befahrbarkeit deutlich eingeschränkt. Das Grundwasser sollte mindestens tiefer als 80 cm u. GOF anstehen (KUNTZE, 1969). Ein Wechsel der Grundwasseranstauhöhen zwischen 40 und 80 cm dürfte sich daher als günstig erweisen. Über Grundwasserregulierungsversuche auf sandunterlagertem Niedermoor berichtet auch van der WAYDBRINK (1973).

Eventuell kann auch mit einer zusätzlichen Beregnung der Effekt des Abbaus überschüssigen Stickstoffs gesteigert werden, sofern die Qualität des Grundwassers in Niedermoorgebieten dazu ausreicht. In Israel konnten in einem kalkreichen Niedermoorgebiet (Hula-Tal) durch Einstau und gleichzeitiger Beregnung der Nitratgehalt im Boden um 50 bis 70 % vermindert werden, ohne gleichzeitig das entsprechende Wasser mit Nitrat anzureichern. Die mittlere Grundwassertiefe wird dort mit maximal 70 cm u. GOF angegeben (AVNIMELECH et al., 1978).

Durch solche Maßnahmen werden neben dem Abbau des Überangebotes an Stickstoff für die Kulturpflanzen gleichzeitig auch die Gewässerbelastung mit Nitrat verringert. Dazu muß man bis zum Ende der Vegetationsperiode diese Böden weitestgehend einstauen bzw. stark beregnen, auch noch nach dem Abernten der Früchte, damit bei einsetzender Dränwasserspense kein Nitrat mehr im Boden vorhanden ist.

Schließlich erhebt sich die Frage, ob die Ergebnisse der Lysimeterversuche mit Niedermoorböden nicht auch auf durchlässige Mineralböden übertragbar sind.

4. Zusammenfassung

Hoher oder wechselnder Grundwasserstand drosselt in Niedermoorböden die Mineralisation der organischen Substanz und damit auch die Freisetzung von pflanzenverfügbarem Stickstoff. Im kalkreichen Niedermoorboden wird durch hohe Grundwasserstände die Nitratbildung gehemmt; im sauren Niedermoorboden führt Wasseranstau zur Anreicherung von Ammonium. Wasseranstau und wechselnde Grundwasserhöhe senken den Nitrat-N-Gehalt im Gras deutlich unter die Toxizitätsgrenze.

Durch Grundwasserregulierung, aber auch durch intensive Bewässerung kann der Eintrag von Nitrat ins oberflächennahe Grundwasser gedrosselt werden. Die Grundwasserregulierungen stehen jedoch noch im Widerspruch zu den Nutzungsansprüchen (Befahrbarkeit und Trittfestigkeit).

5. Literaturverzeichnis

1. AVNIMELECH, Y., S. DASBERG, A. HARPAZ u. I. LEVIN, 1978: Prevention of nitrate leakage from the Hula basin, Israel: a case study in watershed management.- Soil Sci., 125, 233 - 239.
2. KUNTZE, H., 1969: Die Beurteilung von Grünlandstandorten in Marsch- und Moorlandschaften.- Kali-Briefe, Fachgeb. 4, 5. Folge, 1 - 8.
3. NEUBAUER, H., 1977: Der Nitrat-N-Gehalt des Grünlandfutters verschiedener Standorte in Abhängigkeit von N-Düngung, Schnitthäufigkeit und Pflanzenbestand.- Das wirtschaftseigene Futter, 23, 23 - 36.
4. PRATT, P.F., St. DAVIS, R.G. SHARPLESS u. S.E. BISHOP, 1976: Nitrate contents of sudangrass and burley frages grown on plots treated with animal manures.- Agronomy J., 68, 311 - 314.
5. SCHEFFER, B., 1977: Zur Frage der Stickstoffumsetzungen in Niedermoorböden.- Landw. Forschung, Sonderheft 33/II, 20 - 28.
6. van der WAYDBRINK, W., 1973: Kombinationseffekt differenzierter Grundwasserstände und Stickstoffgaben auf unterschiedlichen Grünlandstandorten.- Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde, 17, 323 - 331.

Abb. 2

N_t - und NO_3^- -N im Gras (1977)

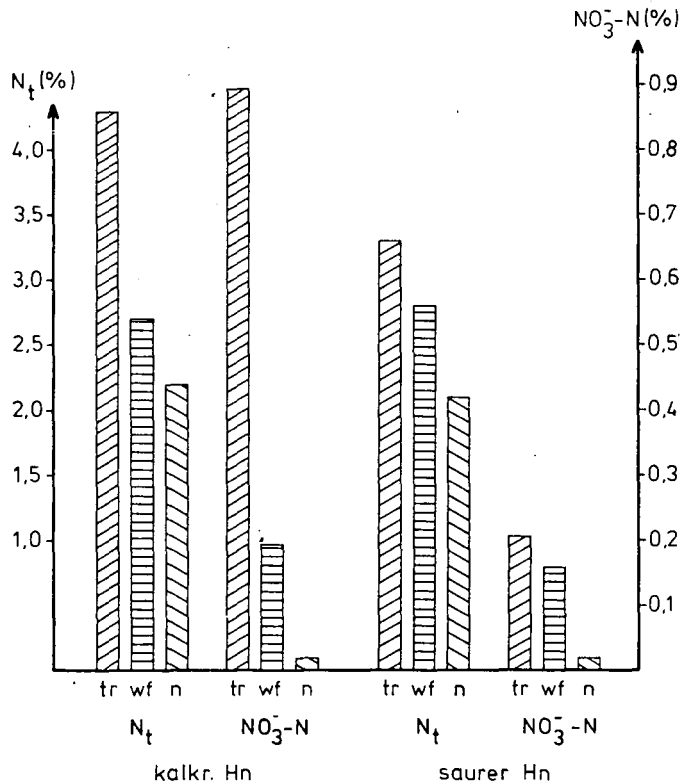
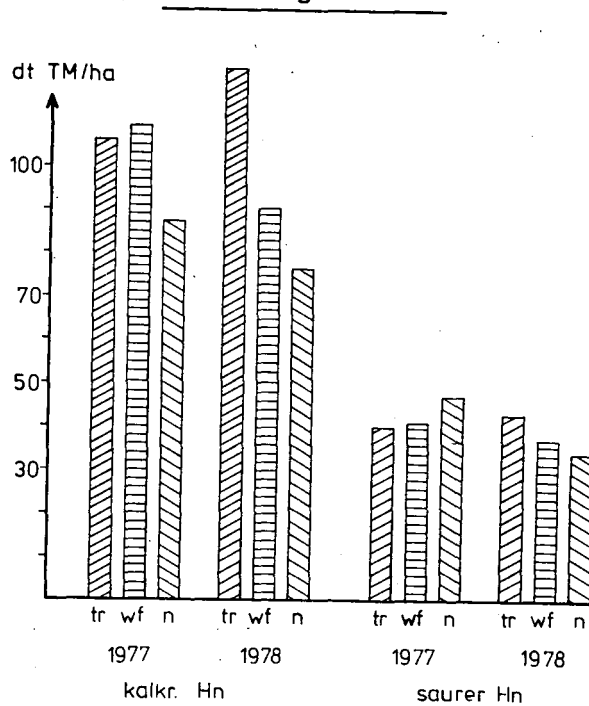


Abb.1

Graserträge 1977/78



Nitratausträge aus Weinbergböden der Mittelmosel

von

W. Müller *

Problemstellung

In der vorliegenden Untersuchung wird der Versuch unternommen, den Nitrataustrag mit dem Quellwasser aus abgegrenzten weinbaulich genutzten Einzugsgebieten flächenbezogen zu ermitteln, um damit Aussagen machen zu können über den mit der Düngung zusammenhängenden N-Austrag aus Weinbergböden. Daneben wurden auch Einzugsgebiete mit land- und forstwirtschaftlicher Nutzung untersucht. Der Untersuchungszeitraum beginnt mit dem November 1977 und ist in wasserwirtschaftliche Jahre bzw. Halbjahre gegliedert.

Arbeitsgebiet und Untersuchungen

Die Mittelmosel eignet sich für derartige Untersuchungen, da der Untergrund einheitlich aus den Ton- und Siltschiefern der Kauber Schichten des Unterdevon aufgebaut ist. Unterhalb einer Auflockerungszone, die bis etwa 40 - 60 m unter die heutige Oberfläche reicht, können die Schiefer als praktisch wasserundurchlässig angesehen werden.

Böden:

1. Auf den Schiefeln sind unter Wald zum Teil Ranker entwickelt, z.T. saure Braunerden. In den Weinbergslagen sind die Schiefer z.T. tiefgründiger verwittert. Bereichsweise wurde Hangschutt akkumuliert. In diesen Gebieten sind Rigosole auf Schieferverwitterungsböden (SVB) entwickelt. Diese Böden sind sehr skelettreich (Skelettanteil etwa 30 - 50 %) und besitzen eine gute Wasserleitfähigkeit.

2. In flacheren Lagen sind an den Moselhängen z.T. noch Reste von kiesig-sandigen Terrassenablagerungen erhalten. Dort sind Braunerden und Parabraunerden, in flachen Lagen auch Pseudogleye entwickelt. Der Skelettanteil liegt hier bei etwa 5 - 10 %, die Durchlässigkeit ist i.a. kleiner, die Feldkapazität größer als bei den Böden auf Schiefer.

Neben Quellwässern aus Weinbergslagen mit den unter 1. beschriebenen Böden wurden auch Dränwässer aus Flächen mit untersucht, wo solche Pseudogleye dräniert wurden, um eine weinbauliche Nutzung erst zu ermöglichen (Dräntiefe 1,2 m).

* Inst. für Bodenkunde der Universität Bonn, 5300 Bonn 1, Nußallee 13

Da die Untersuchungen von Einzugsgebieten ausreichen, wechseln die Bodenverhältnisse - bei einer Größe der Einzugsgebiete zwischen 3 und 40 ha - in gewissem Maße.

Düngung

Die auf Weinbergflächen aufgebrauchten Düngermengen von 200 - 300 kg N/ha x Jahr sind auch für den Weinbau als recht hoch anzusehen. Die Angaben beziehen sich auf den aufgebrauchten Handelsdünger. Organischer Dünger - einzelne Winzer bringen in Abständen von mehreren Jahren Mist ein - wurde nicht eingerechnet und ist wegen der Gliederung der Einzugsgebiete in zahlreiche kleinere Parzellen kaum zu erfassen. Auch die Düngungspraxis ist im jeweils betrachteten Einzugsgebiet nicht einheitlich. Die N-Düngung erfolgt meist in zwei Gaben, wobei der größere Teil im Frühjahr (April/Mai), der kleinere Teil im Sommer (Juni/Juli) gegeben wird.

Untersuchungen

Das Untersuchungsprogramm umfasst neben der Konzentration von Nitrat und der Auswaschung von Nitrat-N auch die Konzentration und die Auswaschung von P, K, Ca, Mg, Na sowie Cl und SO₄. Über diese und die Ergebnisse der bodenphysikalischen Meßreihen an drei Standorten mit weinbaulicher Nutzung soll später berichtet werden.

Abb.1 zeigt ein Schema des Wasser- und N-Kreislaufs im Arbeitsgebiet, die zugeführten Mengen können teils genau gemessen (Niederschläge), teils nur größenordnungsmäßig (Düngung und Mineralisation) erfaßt werden. Sie werden z.T. von den Pflanzen verbraucht (Transpiration bzw. N-Entzug), z.T. gibt es Verluste durch Evaporation bzw. Denitrifikation; ein anderer Teil verläßt das Einzugsgebiet oberirdisch (Abfluß bzw. Abzug). Der unterirdische Abfluß mit dem Grundwasser und z.T. auch Zwischenabfluß oder Interflow kann über Abflußmessungen an Quellen ermittelt werden. Der unterirdische Abzug des ins Grund- und Bodenwasser gelangten Nitrat kann durch die Verrechnung der Nitratkonzentrationen des Wassers mit den gleichzeitig gemessenen Abflüssen ermittelt werden.

Das unterirdische Einzugsgebiet wurde, da die Grundwasserverhältnisse so stark von der Morphologie abhängig sind, mit dem oberirdischen Einzugsgebiet gleichgesetzt.

Entsprechend dem hangaufwärts ansteigenden Grundwasserflurabstand sind die Sickerwege und die Sickerzeiten verschieden lang. Das Quellwasser stellt also eine Mischung von verschiedenen Wässern dar, sowohl was die Herkunft aus den verschiedenen Teileinzugsgebieten als auch ihre Sicker- und Fließdauer betrifft.

Niederschlagsverhältnisse

Abb. 2 zeigt die Niederschlagsverteilung der drei untersuchten wasserwirtschaftlichen Halbjahre. Die Winterhalbjahre 78 und 79 brachten im Gegensatz zu den normalen Verhältnissen den größeren Teil des jeweiligen Jahresniederschlags. Sie liegen mit 338,7 mm und 425,8 mm deutlich über dem langjährigen Mittel von 294,2 mm, wobei der Überschuß jeweils durch zwei extrem niederschlagsreiche Monate am Anfang und am Ende des jeweiligen Halbjahres hervorgerufen wird. Das Sommerhalbjahr war insgesamt zu trocken (und zu kühl) und lag mit 309,6 mm deutlich unter dem lang-

jährigen Mittel von 386,9 mm. Insgesamt weist also das erste Untersuchungsjahr 1978 mit 648,3 mm trotz der erhöhten Winterniederschläge ein Niederschlagsdefizit auf (langjähriges Jahresmittel 680,9 mm).

Ergebnisse

Die Abflüsse bzw. Quellschüttungen (siehe Abb. 2) stehen in enger Beziehung zu den Niederschlägen. Im Herbst und Winter wird der Grundwasservorrat aufgefüllt und es treten bedeutend höhere Abflüsse auf als im Sommer. Die absoluten Maxima stehen in Zusammenhang mit der Schneeschmelze und den sehr hohen Frühjahrsniederschlägen. Im Sommer wird der Grundwasserspeicher entleert und im Herbst streben die Werte einem sehr niedrigen Trockenwetterabfluß zu. Die Weinbergsquelle 1 zeigt mit ihrer deutlichen Reaktion auf die Niederschlagsverhältnisse eine relativ geringe Speicherfähigkeit des Gesteins und relativ kurze Sickerzeiten an.

Bei der Nitratkonzentration der Quellwässer tritt deutlich der Unterschied der Kulturarten hervor (s. Abb. 3). Mit Nitratkonzentrationen von etwa 150 - 450 mg/l (einzelne Quellen weisen Konzentrationen von über 500 mg/l auf!) liegen die Werte der Weinbergsquellen weit über denen der Waldquelle bzw. der Quelle aus landwirtschaftlicher Mischnutzung (überwiegend Wintergetreide, daneben Grünfläche, Ödland und etwas Wald), wo nur Konzentrationen von 0 - 50 mg/l erreicht werden. Die Nitratkonzentrationen der Weinbergsquellen zeigen große Schwankungen zwischen den einzelnen Proben (Entnahme in der Regel alle zwei Wochen, z.T. auch häufiger), dabei kommen Minima und Maxima in allen Jahreszeiten vor. Die absoluten Maxima liegen im Frühjahr. Die Nitratkonzentration der Quellwässer ändert sich zwar oft im Zusammenhang mit den wechselnden Abflüssen (s. Abb. 2 und 3), jedoch ergibt sich keine einfache Beziehung.

Klarer sind die Beziehungen zwischen Konzentration und Abfluß bei dem untersuchten Drän (s. Abb. 4), was mit den Sickerstrecken (Dräntiefe gleichmäßig 1,2 m) und den Sickerzeiten zusammenhängen könnte. Hier sind bei Abflußspitzen stets Verdünnungseffekte festzustellen. Die N-Auswaschung steigt jedoch insgesamt in niederschlagsreichen Perioden an.

Die aus dem Wertepaar Abfluß und Nitratkonzentration errechnete Kurve des monatlichen N-Austrages/ha (s. Abb. 5) zeigt bei den Weinbergsquellen sehr große jahreszeitliche Schwankungen. Besonders ausgeprägt sind die Unterschiede zwischen den Kulturarten. Die Jahressumme des N-Austrages der nichtweinbaulich genutzten Flächen erreicht noch nicht bzw. kaum die Monatsmaxima der Weinbergsflächen. Diese liegen bei etwa 14 bis 30 kg N/ha x Monat jeweils in den Frühjahrsmonaten März und April. Nach einem spätherbstlichen Anstieg auf Werte von 10 bis 15 kg N/ha x Monat erfolgt nach Erreichen des Maximums im Frühjahr wieder ein allmählicher Abfall auf Werte von 1 bis 5 kg N/ha x Monat im Spätsommer und Frühherbst.

Dabei ist ein direkter Zusammenhang zwischen N-Austrag und Abfluß festzustellen (s. Abb. 2 und 5). Die jahreszeitlich recht großen Abflußschwankungen überprägen die kurzfristigen und vergleichsweise geringeren Schwankungen in der Nitratkonzentration der Wässer, so daß die Kurve des monatlichen N-Austrages stark von den Abflüssen bestimmt wird. Der N-Austrag mit dem Quellwasser erfolgt zu etwa 60 % im Winter- und 40 % im Sommerhalbjahr.

Vergleicht man die Ergebnisse des jährlichen N-Austrages /ha der verschiedenen Einzugsgebiete (siehe Abbildung 6), so fällt besonders der Unterschied der Kulturarten auf. Mit Werten von 135 bis 165 kg N/ha x Jahr liegt die Auswaschung aus den Einzugsgebieten mit überwiegend weinbaulicher Nutzung um ein Vielfaches höher als aus den Gebieten mit land- bzw. forstwirtschaftlicher Nutzung in der unmittelbaren Nachbarschaft der Weinbergflächen (12 bzw. 7 kg N/ha x Jahr).

Ein Grund für die Unterschiede zwischen den einzelnen Einzugsgebieten liegt in den Bodenverhältnissen. Die höchste N-Auswaschung wurde bei der Weinbergquelle 1 festgestellt. Hier ist der Boden insgesamt flachgründiger als bei der Weinbergquelle 2: bei der Weinbergquelle 1 überwiegend eine Mächtigkeit der Verwitterungsdecke von 1 - 2 m, dort bereichsweise von 3 - 6 m (Hangschutt). Die Dränparzelle weist trotz stärkerer und schnellerer Reaktion auf Niederschläge - allerdings bei geringerer Düngung - mit 135 kg N/ha x Jahr einen etwas niedrigeren Wert der N-Auswaschung auf. Dies kann damit zusammenhängen, daß ein Teil des ausgewaschenen Nitrat-N in den unterlagernden Kies Aquifer infiltriert. Das Grundwasser dieses Aquifers das aus dieser und den benachbarten Weinbergflächen stammt, hat Nitratkonzentrationen von 170 - 270 mg/l (bis 1979 Nutzung als Trinkwasser!).

Bodenartlich vergleichbar sind die Böden der Dränfläche und des landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebietes. Die Böden im Einzugsgebiet der Waldquelle (überwiegend saure Braunerden verschiedener Entwicklungstiefe sind bodenartlich am ehesten mit den Böden der Weinbergquellen vergleichbar. Die N-Austräge dieser Flächen zeigen dagegen die größten Unterschiede.

Der Hauptgrund für die unterschiedlichen N-Austräge kann also nicht in den Bodenverhältnissen, sondern muß vielmehr in der Düngung im Zusammenhang mit Kulturart und Bodenbearbeitung gesehen werden. Setzt man die ermittelten N-Austräge zur aufgebrauchten Düngermenge ins Verhältnis, so ergeben sich für die weinbaulich genutzten Gebiete mit etwa 48 bis etwa 67 % deutlich höhere Werte als für die überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen mit etwa 13 - 17 %.

Zusammenfassung und Diskussion

Im Gebiet der Mittelmosel wurden an Quell- und Dränwässern laufend Messungen der Nitratkonzentrationen und der Abflüsse durchgeführt. Durch Bezug auf die zugehörigen Einzugsgebiete, die überwiegend weinbaulich, zum Teil auch land- und forstwirtschaftlich genutzt werden, kann der Jahresverlauf der N-Auswaschung und die jährliche N-Auswaschung in kg/ha ermittelt werden. Im Vergleich der Kulturarten zeigen sich für das Wasserwirtschaftsjahr 78 und das Winterhalbjahr 79 deutliche Unterschiede sowohl in der Konzentration der Wässer als auch beim N-Austrag; dabei liegt die Nitratkonzentration der Wässer von Weinbergquellen mit ca. 150 bis 450 mg NO₃ /l in der gleichen Größenordnung wie die Nitratkonzentration von vergleichbaren Brunnenwässern der Mittelmosel in den 60-iger Jahren (SCHWILLE, 1973).

Bei den Dränwässern treten in Abhängigkeit von Abflußspitzen regelmäßig Verdünnungseffekte in den Nitratkonzentrationen auf.

Der N-Austrag der weinbaulich genutzten Flächen liegt mit ca. 135 - 165 kg N/ha x Jahr deutlich über den nicht weinbaulich genutzten Flächen mit ca. 7 - 12 kg N/ha x Jahr. Bezogen auf die aufgebrauchten Handelsdüngermengen erreicht die Auswaschung aus weinbaulich genutzten Flächen eine Größenordnung von durchweg über 50 %. Wird das Nitrat im Grundwasserleiter abgebaut (OBERMANN und BUNDERMANN, 1977), so liegen die Ergebnisse noch höher und die Werte müssen für den Untersuchungszeitraum als Mindestwerte für die N-Auswaschung aus Weinbergsböden angesehen werden.

Die Maxima der N-Auswaschung im Frühjahr zeigen die Abhängigkeit von Niederschlägen und Versickerung. Hohe Düngergaben im nassen Frühjahr bedeuten auf den gut durchlässigen Böden ein großes Auswaschungsrisiko.

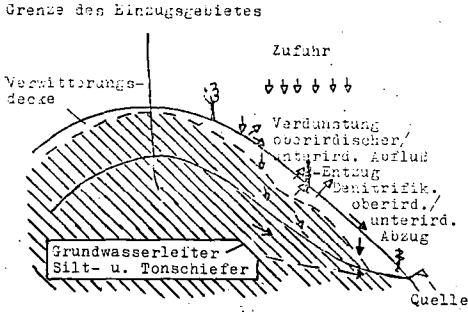
Trinkwasserversorgung und weinbauliche Nutzung sind im Arbeitsgebiet wegen der erwiesenermaßen aus den Weinbergsflächen stammenden Nitratbelastung des Grundwassers nicht zu vereinbaren.

Literatur:

- Bundesregierung, 1975: Verordnung über Trink- und Brauchwässer für Lebensmittelbetriebe vom 31.1.1975; Bundesgesetzblatt Z 199717, Bonn den 15.2.75
- CZERATZKI, W., 1973: Die Stickstoffauswaschung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, Landbauforschung Völknerode, Jg. 23, 1973, 1-18
- GÄRTEL, W., 1975: Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt der Weinbergsböden unter besonderer Berücksichtigung der Nitratauswaschung und Kontamination des Grundwassers mit Nitrat; Jahresbericht des Forschungsrings des deutschen Weinbaus, Frankfurt/Main
- MENDEL, G., und UBELL, K., 1973: Der Abflußvorgang, 1. Zur Terminologie des Abflußvorgangs - Versuch einer kritischen Bestandsaufnahme - Deutsche Gewässerkundl. Mitteilung Jg. 17, Heft 2, S. 33-39
- OBERMANN, P., und BUNDERMANN, G., 1977: Untersuchungen zur NO₃-Belastung des Grundwassers im Einzugsgebiet eines Wasserwerkes; Vortrag, gehalten auf der Tagung der Fachsektion Hydrogeologie der DGG in Kassel am 22.4.1977
- PFAFF, C., 1960: Nährstoffauswaschung aus dem Boden beim Anbau von Reben; Weinberg und Keller, H. 7, 225-229, Traben-Trarbach
- SCHWILLE, F., 1973: Die chemischen Zusammenhänge zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser im Moseltal zwischen Trier und Koblenz; Besondere Mitt. z. Deutsch. Gewässerk. JB. 38, Koblenz
- STETS, J., 1962: Zur Geologie der Dhrontal Schichten und Hunsrückschiefer (Unterdevon) im Gebiet Bernkastel-Neumagen-Thalfang Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 90, 122-159, Wiesbaden
- WEYER, K.U., 1973: Modellvorstellung zur Untersuchung der unterirdischen Wasserzirkulation in Mittelgebirgen mit anstehendem Festgestein Deutsche Gewässerkundl. Mitteilung. Jg. 17, Heft, 4, 105-112

Abb. 1
SCHEMA DES WASSER- UND N-KREISLAUFS
IM ARBEITSGEBIET

VERSUCHSAUFBAU UND MESSGRÖßEN



Weinbergflächen	Land- und Forstwirtschaftl. Flächen
Bodenfeuchte u. Saugspannung	
Boden-Nitrat	
versickerung (Klein-Lysimeter)	
NO_3 Konzentration u. N-Austrag mit dem Sickerwasser	
Grundwasser. Schüttung	
NO_3 Konzentration und N-Austrag mit dem Grundwasser	

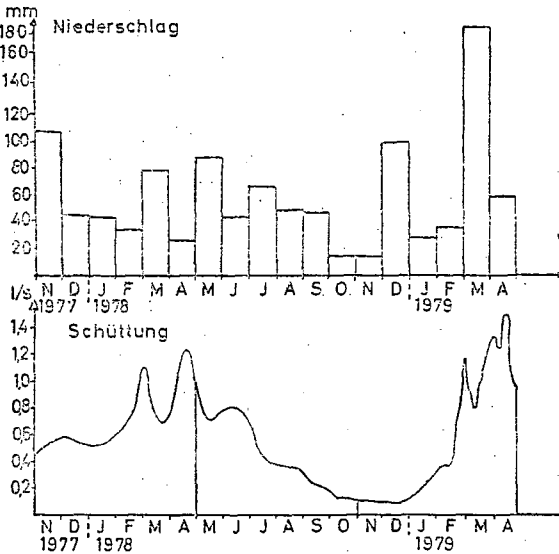


Abb. 2
Niederschlag
Bernkastel-Kues und
Schüttung
Weinbergquelle 1

Abb. 3
Nitratkonzentrationen in Quellwässern aus Weinbergs-
lagen und aus Gebieten mit land- u. forstwirtschaftlicher
Nutzg.

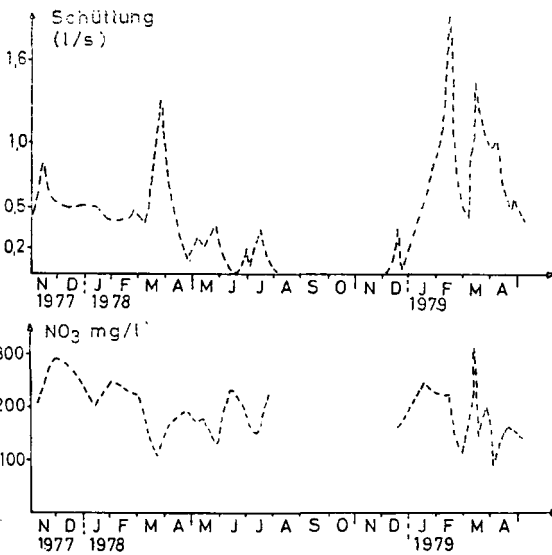
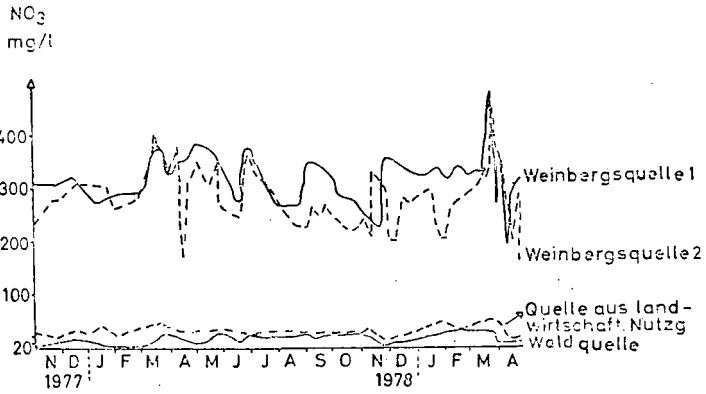


Abb. 4
Schüttung und Nitrat-
konzentration bei einem
Weinbergsdrän

Abb. 5

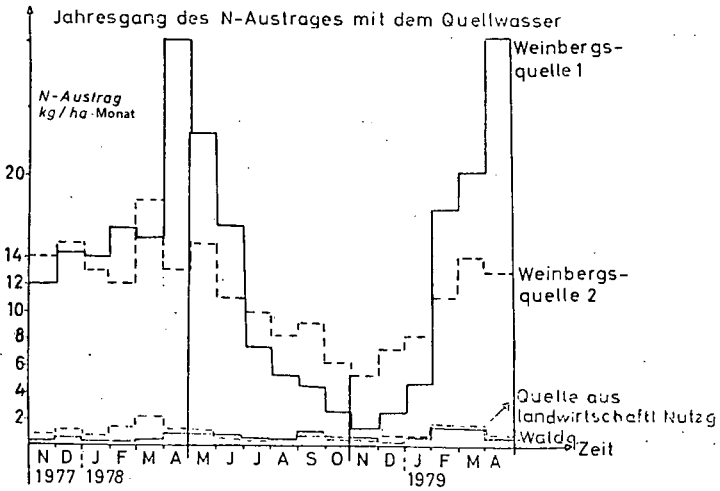


Abb. 6

N-Austrag mit dem Grundwasser und Düngung bei Einzugsgebieten mit weinbaulicher und land-/forstwirtschaftl. Nutzung

Bezeichnung	Bodentyp	Art des Wassers	N-Düngung kg/ha-J	N-Austrag kg/ha-J	Verhältnis N-Austrag N-Düngung	Kulturart
Weinbergsquelle 1	Rigosal auf Schiefer	Grundwasser	ca. 250-300	ca. 165	ca. 55-66%	Wein
Weinbergsquelle 2	Rigosal auf Schiefer una SVB	Grundwasser	ca. 250-300	ca. 140	ca. 48-55%	Wein
Weinbergsdrän	Pseudogley	Stauwasser	ca. 200-250	ca. 135	ca. 54-67%	Wein
Quelle aus landw. Mischnutzung	Parabraunerde Pseudogley	Grundwasser	ca. 60-90	ca. 12	ca. 13-20%	landw. Mischnutzung
Waldquelle	{Ranker, saure Braunerde	Grundwasser	0	7	/	Wald

"Braunerden" im Grundgebirgsschwarzwald

von

Karl Stahr⁺

Die terrestrischen Böden des Grundgebirgsschwarzwalds gehören überwiegend der Klasse der Braunerden an. Innerhalb dieser Klasse lassen sich nach der heutigen Ansprache (MÜCKENHAUSEN, 1977) fast alle diese Böden dem Typ 'Typische Braunerde' zuordnen. Trotzdem sind die Böden durch eine große Vielfalt ihrer Entwicklung und Ausprägung gekennzeichnet. Hier sollen 2 Böden vorgestellt werden, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften von den bisher ausgeschiedenen Einheiten abweichen.

Diese Böden werden mit der Arbeitsbezeichnung Humusbraunerde bzw. Sauerbraunerde versehen (STAHR, 1979). Beide Profile treten nur in der montanen bis hochmontanen Stufe des Schwarzwalds auf. Während die Humusbraunerde im südwestlichen Schwarzwald auf Kuppen, Rücken und Hängen vorkommt, hat die Sauerbraunerde ihr Hauptverbreitungsgebiet auf den Kuppen und den Oberhängen des mittleren Schwarzwalds.

Die Humusbraunerde ist ein sehr tiefgründig bis tiefgründig entwickelter Boden aus einer mächtigen lockeren Hauptfolge, die aus Fließerden mit einer Lokallöß- und teilweise Fernlößbeimengung (MAUS u. STAHR, 1977) gebildet wird. Die Humusform dieses Bodens ist Mull oder Mullmoder. Die Ah- und AhBv-Horizonte sind humos bis humusreich und 40 - 100 cm mächtig. Alle Horizontübergänge sind gleitend. Tiergänge - besonders des *Lumbricus friendi* (badensis) - reichen bis in die C-Horizonte. Das Gefüge ist krümelig und stark durch Wurmlosung geprägt. Zum Unterboden geht es in Subpolyeder über. Die Tiefenfunktion der Korngrößen der Humusbraunerde sind sehr unauffällig. Die Körnung (Abb. 1) ist stark sandiger Lehm,

⁺Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-7800 Freiburg i. Br.

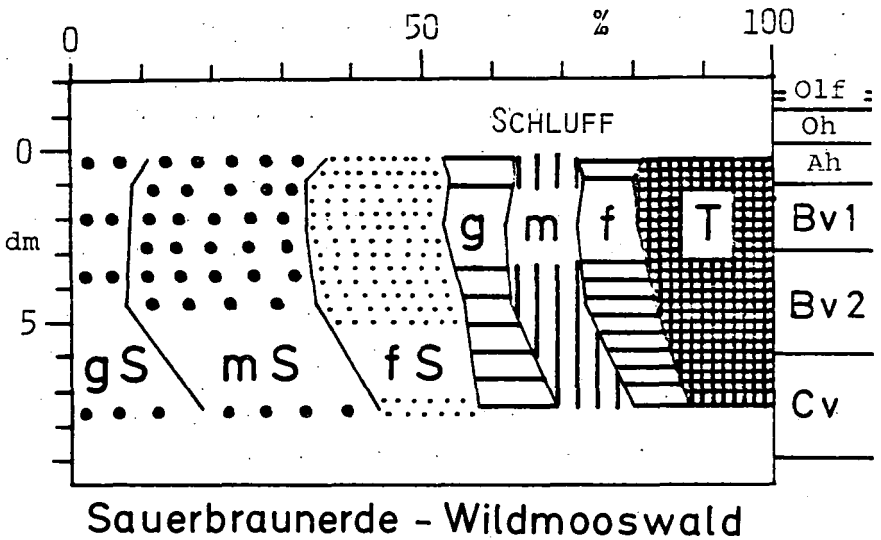
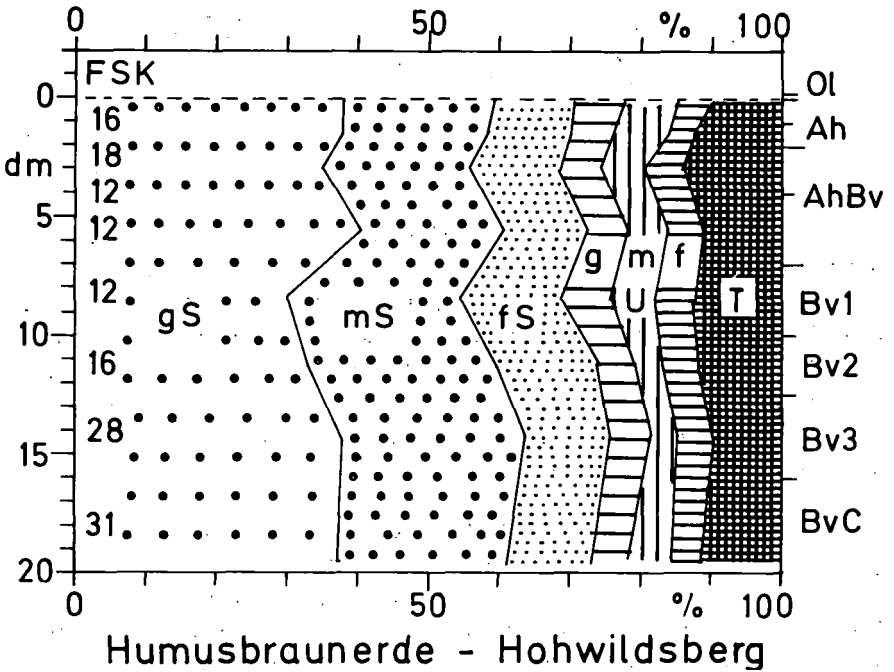


Abb. 1: Korngrößenverteilung (Gew. % humusfreie 105°C trockene Feinerde) von zwei Beispielprofilen (vgl. STAHR, 1979)
FSK = Feinskelett 20-2 mm % v. Gesamtboden

manchmal sandiger Lehm, manchmal lehmiger Sand. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, daß der Tongehalt sein Maximum erst im zweiten oder dritten Horizont hat. Dieses Maximum ist bedingt durch eine Kornvergrößerung an der Erdoberfläche, die bei allen Humusbraunerden festgestellt wurde. Diese primäre Kornvergrößerung wird noch verstärkt durch eine Tonverlagerung, die häufig beobachtet werden kann. Die Humusbraunerde ist sehr locker und hat eine hohe nutzbare Wasserspeicherkapazität und hohe Luftkapazität. Das Porenvolumen (Abb. 2) nimmt mit zunehmender Tiefe sehr langsam ab und liegt in den Unterböden noch um 50 %. Die Humusbraunerde (Abb. 3) zeigt eine gleichmäßige, wenig intensive Versauerung. Der Boden liegt im $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ zwischen 4 und 5. Auch die Humusgehalte nehmen von der Oberfläche gleichmäßig mit einer niedrigen Rate ab. Die Gehalte liegen an der Oberfläche meist zwischen 5 und 10 % C, in 4 dm dann zwischen 2 und 3 % C und nehmen auch in 1 m Tiefe nicht unter 1 % C ab. Die meisten Humusbraunerden haben C/N-Verhältnisse zwischen 15 und 20.

Wichtig für die Einstufung als Braunerde (BLUME u. SCHWERTMANN, 1969) sind die Eisenfraktionen (Abb. 4). Das Diagramm deutet eine Abnahme der einzelnen Fraktionen mit der Tiefe an. Diese Tiefengradienten sind wie alle anderen Eigenschaften der Humusbraunerde gleitend und müssen als typisch angesehen werden. Besonders verwirrend ist, daß die Eisenfraktionen zum Teil im Oberboden deutlich abnehmen. Diese Abnahme ist, wie vorher bereits bei der Körnung erwähnt, schichtungsbedingt und zum Teil durch Tonverlagerung überprägt. Die Annahme, daß es sich hier um Podsolierung handelt, läßt sich durch den $\text{Fe}_d:\text{T}$ Quotienten, durch die Humusform, durch die pH-Werte und das Fehlen eines Bleichhorizonts entkräften. Die Tiefenfunktion des Aluminiums ordnet diese Böden in die Gruppe der sauren Braunerden (FIEDLER, 1965) ein, denn es kann eine Aluminiumverlagerung diagnostiziert werden. Die Verarmung reicht bis in ca. 6 dm. Untersuchungen zur Austauschkapazität und dem Ionenbelag der Böden zeigen, daß die effektive Austauschkapazität in ihrer Höhe in erster Linie von der organischen Substanz bestimmt ist. Der V-Wert liegt unter 20%. Die austauschbaren Kationen werden von Al dominiert. Die Basenverluste der Humusbraunerden (STAHR, 1979) sind häufig durchschnittlich, in manchen Fällen allerdings weit überdurchschnittlich. Diese Verluste sind dann

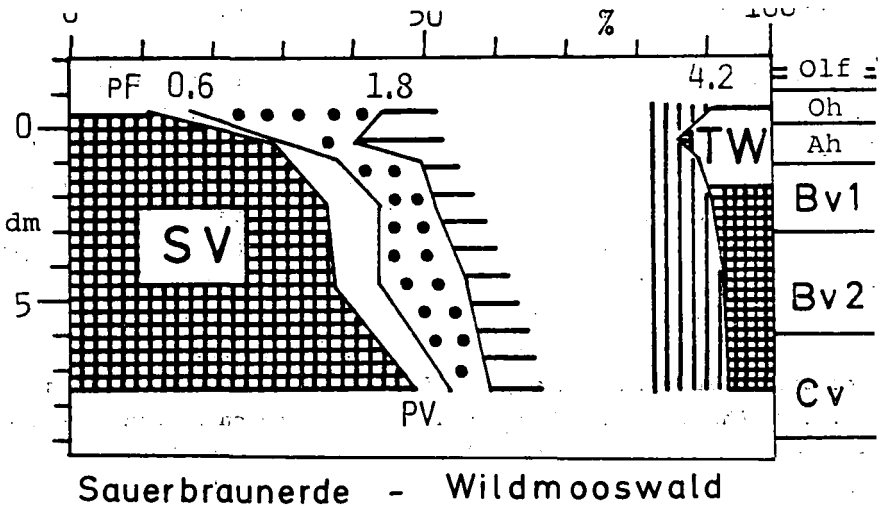
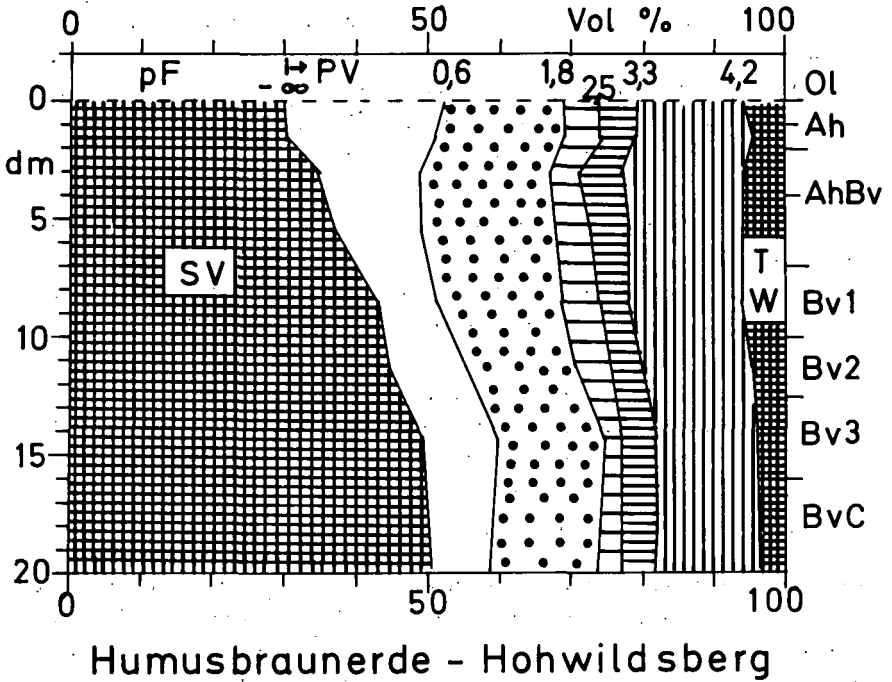


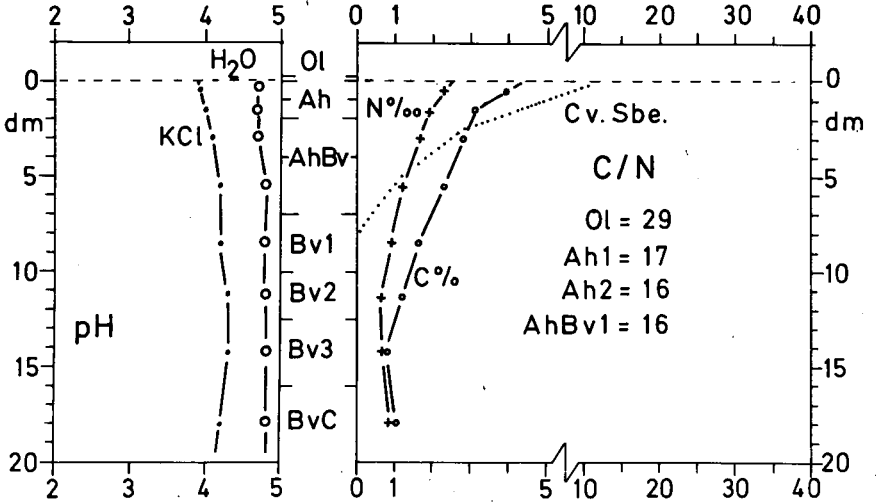
Abb. 2: Porenvolumen und Porenverteilung (Vol. %)

gleichmäßig über das gesamte Solum verteilt und auf die Bodenmasse bezogen geringer als bei der Sauerbraunerde.

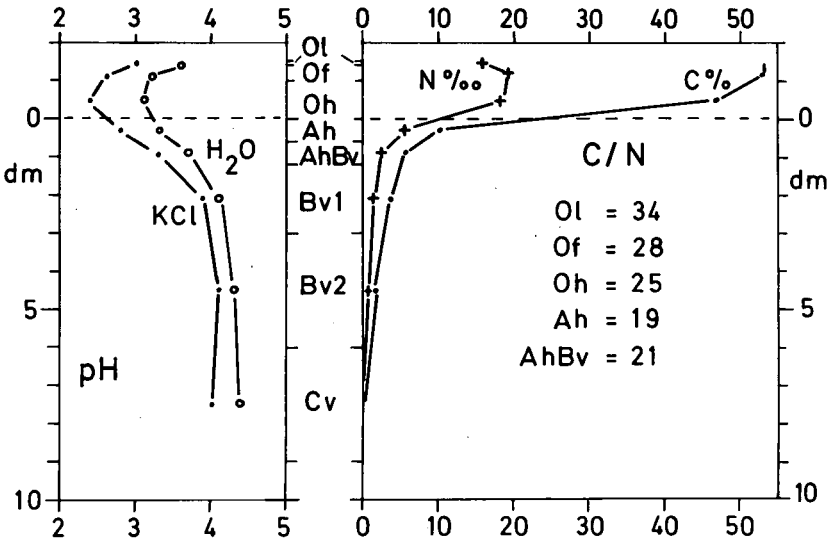
In den Humusbraunerden ist eine deutliche Illitverwitterung bereits festzustellen. Hierbei wird ein größerer Anteil an Smectit festgestellt. Bei den Wechsellagerungen treten smectitische und chloritische Wechsellagerungen auf. Überall wurden aluminiumchloritische Minerale gefunden. Erstaunlicherweise sind aber die Magnesiumchlorite von dieser intensiven Tonverwitterung nicht erfaßt, oder es bilden sich hitzebeständige Al-Chlorite.

Die Sauerbraunerde ist flach- bis mittelgründig entwickelt aus einer geringmächtigen Hauptfolge (Fließerde mit Lokallößbeimengung) über einer Basisfolge oder der Zerfallszone des Gesteins. Die Humusform ist Rohhumus oder rohhumusartiger Moder. Die A-Horizonte sind geringmächtig und gehen fließend in die B-Horizonte über. Bleichkörner fehlen oder sind nur im Oh-Ah-Bereich vereinzelt vorhanden. Die organische Substanz ist weitgehend infiltriert. A- und B-Horizonte sind durch ein lockeres Feinkoagulatgefüge gekennzeichnet. Der Tongehalt nimmt (Abb. 1) von oben nach unten rasch ab. Die Bodenart ist oben sandiger Lehm (bis lehmiger Sand), während in den C-Horizonten anlehmiger Sand bis Grus vorherrscht. Toncutane sind unbekannt. Der Oberboden ist sehr locker und hat eine hohe Speicherkapazität und noch ausreichend Luftvolumina. In der Tiefenfunktion fällt die Sauerbraunerde in ihrem Porenvolumen rasch ab (Abb. 2). Die pH-Werte der Sauerbraunerde (Abb. 3) sind extrem niedrig. Sie liegen niedriger als man für Braunerden erwarten würde. Der $pH_{(KCl)}$ liegt in den O-Horizonten < 3 und erreicht im ersten oder zweiten B-Horizont 4.0. Die Humusgehalte sind in den Ah- und Oh-Horizonten sehr hoch und fallen rasch ab. Entsprechend der Humusform liegen auch die C/N-Verhältnisse weit über 20.

Alle Eisenfraktionen (Abb. 4) der Sauerbraunerde haben im Oberboden ihr Maximum, d.h. die Verwitterung und Verbraunung hat dort ihr Maximum. Ein eventuelles Abknicken des Fe_t ist nicht auf eine Verlagerung zurückzuführen, sondern eher auf Schichtungseinfluß an der Erdoberfläche. Entsprechend der Ansprache als Braunerde-Tiefenfunktion liegt auch der $Fe_d:T$ Quotient, der angeben kann, ob eine differenzierte Eisenverlagerung stattgefunden hat, im



Humusbraunerde - Hohwildsberg



Sauerbraunerde - Wildmooswald

Abb. 3: pH-Werte und Gesamtgehalte von Kohlenstoff und Stickstoff (105°C trockene Feinerde).

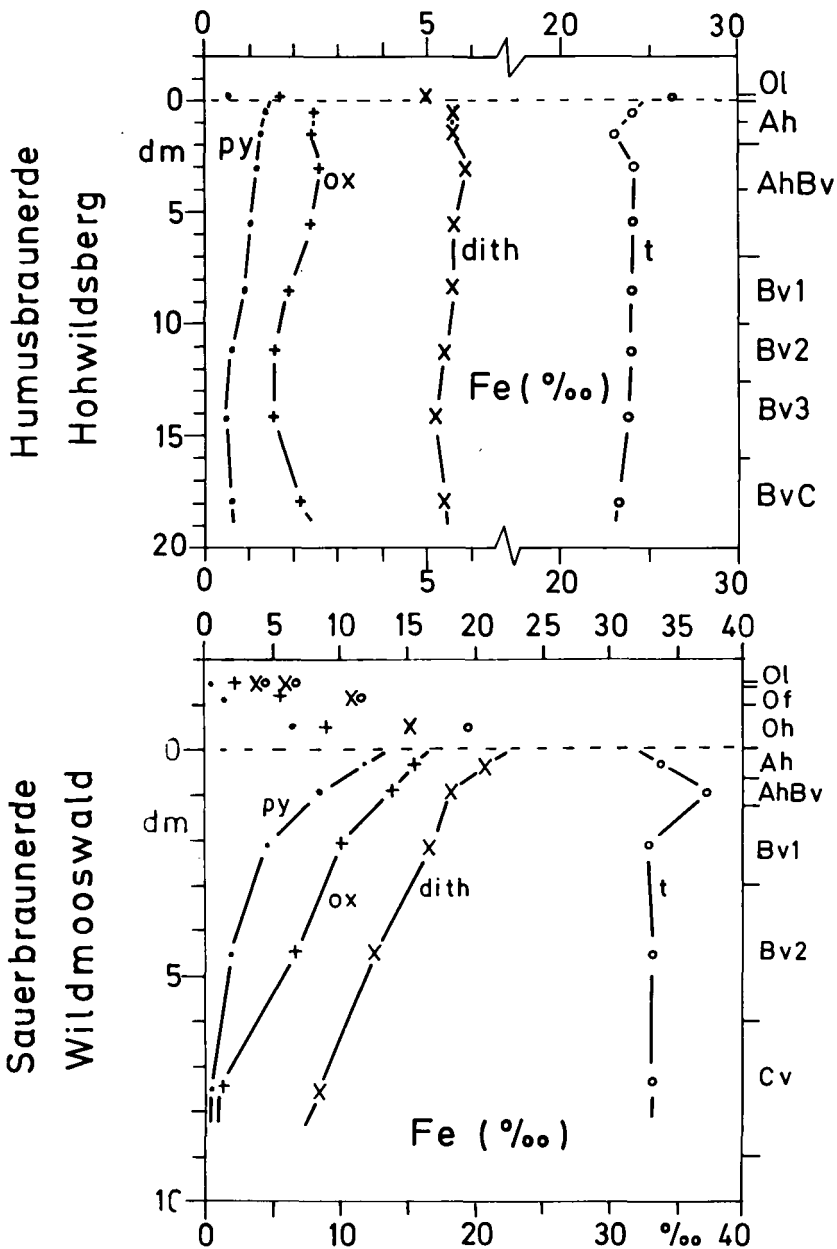
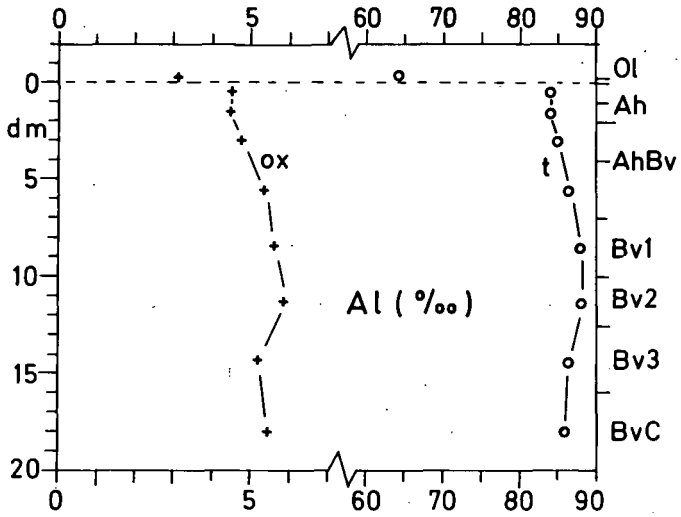
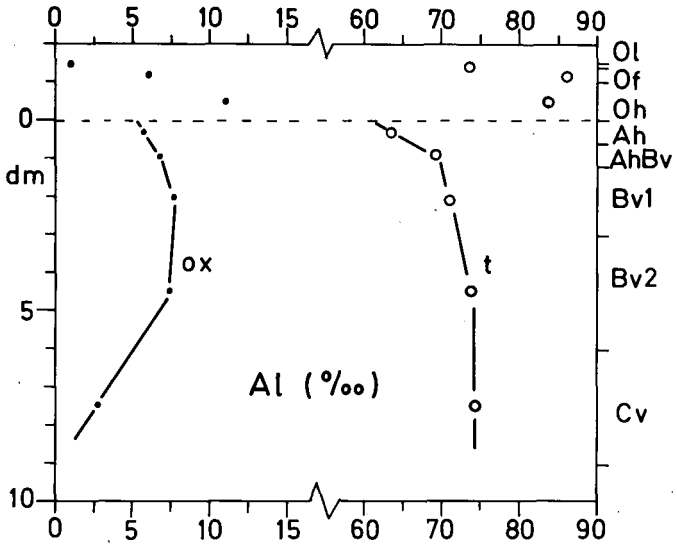


Abb. 4: Tiefenfunktionen der Eisenfraktionen (‰ humusfreie 105°C trockene Feinerde).



Humusbraunerde - Hohwilsberg



Sauerbraunerde - Wildmooswald

Abb. 5: Tiefenfunktionen der Aluminiumfraktionen (% humusfreie 105°C trockene Feinerde).

Oberboden am höchsten. Eine deutliche Aluminiumverlagerung im obersten Profilbereich lassen die Tiefenfunktionen erkennen (Abb. 5). Bei einem Bilanzierungsversuch des Aluminiums in diesen Böden fällt auf, daß nicht nur Aluminium verlagert worden ist, sondern zusätzlich Aluminiumverluste eingetreten sein können. Allerdings reicht hier die Versauerung nur in eine Tiefe von 1-2 dm. Die effektive Austauschkapazität ist stark von der organischen Substanz bestimmt, d.h. sie nimmt bei der Sauerbraunerde rasch mit der Tiefe ab. Der V-Wert liegt unter 10%; die Al-Sättigung bei 80 - 100 % im Ah- und obersten Bv-Horizont. Besonders auffällig ist daneben ein sehr deutlicher Anstieg des austauschbaren Eisens im selben Profilbereich (10-20 %). Solch extreme Verhältnisse konnten bei anderen Braunerden bisher nicht festgestellt werden. Versuche zur Bilanzierung der Basenverluste ergaben erstaunlicherweise für die Sauerbraunerden nur durchschnittliche Werte im Vergleich mit anderen Mineralböden des Untersuchungsgebietes. Die Verluste sind allerdings im obersten Bodenabschnitt besonders stark. Die Tonmineralentwicklung ist dadurch dominiert, daß die Illite fast vollständig, vor allem im Oberboden, aufgezehrt sind. Anstelle dieser Illite haben sich nur zum kleinen Teil Smectite entwickelt, zum großen Teil sind Aluminiumchlorite oder Wechselagerungsminerale mit chloritischen Zwischenschichten gebildet worden. Möglicherweise werden, durch die starke Versauerung bedingt, bereits wieder Al-Chlorite zerstört.

Ausführliche Darstellungen der Analysendaten zu 2 Sauerbraunerden und 14 Humusbraunerden finden sich bei STAHR (1979) und STAHR, HILDEBRAND und ZÖTTL (1979). Angaben zur Vergesellschaftung der Böden machen SCHMIDT und SCHULER (1978) und STAHR (1979b). Einen Vergleich der Eigenschaften von Humusbraunerden unter verschiedener Nutzung führt PURO (1975) durch.

Für die Einstufung beider Böden in die Systematik der Bundesrepublik (MÜCKENHAUSEN, 1977) sind innerhalb der Klasse der Braunerden die Prozesse der Tonverlagerung und Tonzerstörung auf dem Typenniveau differenzierend. Die bei den Humusbraunerden nachgewiesene Tonverlagerung prägt das Profilbild so geringfügig, daß sie weder im Typen- noch im Subtypenniveau berücksichtigt werden müßte (Δ Ton < 5%). Soweit unter Tonzerstörung die Aufzehrung der Illite unter Freisetzung von Aluminium, verbunden mit hohen Aus-

tausch-Al-Werten, Al-Chloritisierung und Al-Verlagerung verstanden wird, gehört dieser Prozess zur aktuellen Dynamik beider Böden. Diese Tonzerstörung (= Versauerung oder Azidifikation) wird aber bisher nur an der Grenze zwischen Parabraunerde und Fahlerde als typenbildender Prozess angesehen. Da in einer Reihe der bisher anerkannten Braunerde-Subtypen ebenfalls diese Prozesse ablaufen (z.B. oligotrophe und basenarme Braunerde, Lockerbraunerde, Rostbraunerde, Podsol-Braunerde) wäre eine Zusammenfassung unter diesem Gesichtspunkt möglich. Für eine stärkere Abtrennung der sauren Braunerden oder Rosterden spricht, daß in ihnen wegen der hohen Al-Sättigung keine Tonverlagerung (in e.S.) mehr abläuft. Bei der typischen Braunerde, der die Subtypen eutrophe und basenreiche Braunerde, Rendzina-Braunerde, Pelosol-Braunerde u.a.m. zuzuordnen sind, besteht aber eine so hohe Ca-Sättigung oder eine so junge Bodenentwicklung, daß es noch nicht zu einer deutlichen Tonverlagerung kommen konnte. Eine stärkere Differenzierung der Braunerden mit dem Prozess der Versauerung brächte eine Annäherung an das Verständnis der französischen (SOUCHIER, 1971) und englischen (BALL, 1966) Systematik. Entsprechend der Vorstellung von FIEDLER (1967) sollte aber nicht das Prinzip verletzt werden, daß Podsolierung Eisenverlagerung im Profil voraussetzt.

Geht man davon aus, daß eine so weitgehende Veränderung der Systematik noch einer eingehenden Diskussion bedarf, so besteht zunächst die Notwendigkeit der Einordnung in die bestehende Systematik. Hierfür kann der oben beschriebene Prozess nicht herangezogen werden, da er nicht als differenzierendes Merkmal aufgeführt ist, und er in mehreren der bisher beschriebenen Braunerde-Subtypen auftritt. Für die Humusbraunerde erscheint als zusätzlicher Prozess die Bioturbation als kennzeichnend. Da aber die sonstigen Eigenschaften nicht denen der Schwarzerden entsprechen, sondern eher den "sombrio" oder "umbric" Horizonten der FAO Klassifikation, wäre hierfür bei Anerkennung des Prozesscharakters der Einarbeitung ein neuer Subtyp wohl die adäquate Einstufung. Andererseits rechtfertigen Humusform und Humusgehalte allein keine Abtrennung oberhalb der Subvarietät. Diese Einschätzung würde nach meiner Auffassung nicht der Stellung dieses Bodens gerecht.

Die Eigenschaften und Prozesse, die in der Sauerbraunerde ablaufen, entsprechen weitgehend denen der Lockerbraunerde bzw. einer extrem

versauerten, basenarmen, lockeren Braunerde. Besonders problematisch erscheint, daß sie aufgrund ihrer Eigenschaften nicht von der Lockerbraunerde aus Bims zu trennen ist, wenn nicht zu ihrer Definition das Vorhandensein von Bimsmineralen (STÜHR, 1967) bzw. die Entstehung aus dem Decksediment (SCHÖNHALS, 1974) herangezogen wird. Die Sauerbraunerde muß deshalb als Lokalform der Lockerbraunerde oder bei Berücksichtigung der Bimskomponente als neue lockere, saure, stark verwitterte Braunerde betrachtet werden. Sollen Lockerheit und Greasing-Effekt systematisch unberücksichtigt bleiben, so wäre die Sauerbraunerde als bisher sauerste basenarme Braunerde zu betrachten, da zur Einstufung als Podsol-Braunerde der Bleichhorizont fehlt. Einer Aufstellung neuer systematischer Einheiten soll eine kritische Wertung möglichst gut beschriebener und untersuchter Böden vorausgehen (BLUME, 1975). Es wird also zu prüfen sein, ob die vorgelegten Beispiele den gestellten Anforderungen genügen oder ob weiteres Material gesammelt werden muß. Eine sinnvolle Untergliederung einer so wichtigen Klasse wie die der Braunerden, diene dann aber nicht nur dem besseren Verständnis der genetischen Zusammenhänge, sondern sie könnte auch Hilfe sein für ein besseres Erkennen der Eignung solcher Böden als Pflanzenstandorte.

Danksagung: Die Durchführung der Laboruntersuchungen lag in den Händen von Frau L. Oswald und Frau J. Vogel sowie Herrn E. Best. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat die Untersuchungen durch eine Sachbeihilfe unterstützt.

LITERATUR:

- BALL, D.F., 1966: Brown Podsollic Soils and their status in Britain. - Soil Sci. 17, 148-158, Oxford.
- BLUME, H.P., 1975: Vorschlag des Arbeitskreises für Bodensystematik zur Unterrichtung über neue Bodentypen, dargestellt am Beispiel eines konkretionsreichen Pseudogleys. - Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges., 22, 645-654.
- BLUME, H.P. und U. SCHWERTMANN, 1969: Genetic evaluation of profile distribution of Al-, Fe- and Mn-oxides. - Soil Sci. Soc. Americ. Proceedings 33, 438-444, Madison.
- FIEDLER, H.J., 1967: Zur Systematik der Braunerde im Mittelgebirgsbereich. - Wiss. Z. Techn. Univ. Dresden, 16, 1591-1602, Dresden.

- MAUS, H. und K. STAHR, 1977: Auftreten und Verbreitung von Löss-
lehmbeimengungen in periglazialen Schuttdecken des
Schwarzwaldwestabfalles. - Catena 3, 369-386, Gießen.
- MÜCKENHAUSEN, E., 1977: Entstehung, Eigenschaften und Systematik
der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - 175 S.,
2. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt.
- PURO, T., 1975: Einfluß verschiedener Bodennutzungsformen auf die
Entwicklung von Braunerden aus Münstertäler Quarzporphyr.-
113 S., Dipl.Arb. Univ. Freiburg.
- SCHMIDT, J. und R. SCHULER, 1978: Die Bodengesellschaften des
Hochschwarzwalds (Gneishochfläche zwischen Thurner und
Jostal bei Breitnau). - 128 S., Dipl.Arb. Univ. Freiburg.
- SCHÖNHÄLS, E., 1974: Die Bedeutung geologischer insbesondere
quartärgeologischer Vorgänge für die Bodenbildung in
Hessen. - Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. 18, 11-17, Göttingen.
- SOUCHIER, B., 1971: Evolution des sols sur roches cristallines à
l'étage montagnard (Vosges). Thèse Doct. Etat, Univ. Nancy,
Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr. 33, 134 S.
- STAHR, K., 1979: Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für
Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald.
Freiburger Bodenkundl. Abh. 9, 273 S. Freiburg i. Br.
- STAHR, K., 1979b: Die Böden.- In Schreiner, A. und W. Wimmenauer:
Erl. geol. Karte Bad.-Württ. 1:25000, Blatt 8114, Feldberg,
Stuttgart (im Druck).
- STAHR, K., E.E. HILDEBRAND und H.W.ZÖTTL, 1979: Höhenabhängigkeit
der Bodenentwicklung im Gneisschwarzwald. - Mitt. Dtsch.
Bodenkd. Ges. 28, 117-172.
- STÖHR, W.Th., 1967: Die Böden des Landes Rheinland-Pfalz. - Mitt.
Dtsch. Bodenkd. Ges., 6, 17-30.

Beitrag zur bodensystematischen Stellung kalkalpiner
Verwitterungslehme

von

W. Zech* und W. Völkl*

1. Einleitung und Problemstellung

In den Kalkalpen kommen in großer Verbreitung Lehme über Carbonatgestein vor. Vielfach wird angenommen, daß es sich um Paläobildungen handelt oder um Bildungen aus separaten, von den Zentralalpen her angewehten Sedimenten. Geomorphologische Befunde beweisen jedoch, daß es zahlreiche holozäne, in situ-Bildungen gibt. Sie zeigen vielfach die Horizontfolge $A_n-B_V-C_V-C_n$ und in der Regel Hydromorphiemerkmale in Form von Rostflecken. Außerdem finden sich häufig B_n -Horizonte am Übergang zum Carbonatgestein, seltener Bleichzonen und Sesquioxidanreicherungs-horizonte, wobei im einzelnen die Abgrenzung zwischen Podsolierung und Pseudovergleyung mit Naßbleichung schwierig wird. Die im Abschnitt 3 beschriebenen Profile sollen einen Beitrag zur Klärung dieses Problems liefern.

2. Arbeitsgebiet und Methoden

Die untersuchten Profile liegen im Bereich der Bayerischen Kalkalpen, westlich und östlich des Innquertales in Höhen zwischen 900 - 1.600 m ü. NN. Ausgangssubstrat der Bodenbildung ist stets carbonatreicher ($CaCO_3$ -Gehalt größer 90 %) Hangschutt aus Hauptdolomit und Plattenkalk, mit einer schwermineralogisch klar nachzuweisenden zentralalpiner Komponente.

Soweit nicht speziell angegeben, führten wir die Analysen nach SCHLICHTING und BLUME (1966) durch. Die Schwermineralgehalte betreffen Fraktion 200 - 100 μ m; die Gruppe "Instabil" umfaßt Hornblende, Granat, Fe-Chlorit, Apatit.

* Lehrstuhl Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth
Universitätsstraße 30, 8580 Bayreuth

3. Ergebnisse (vgl. Tab. 1)

Profil Heuberg betrachten wir als typische Terra fusca. Sie entstand im Holozän aus carbonatreichem Schwemmschutt (Fraktion kleiner 2 mm enthält 97 % Carbonat), der nach Abschmelzen des Eises in ein glaziales Trogtal geschüttet wurde. Da das Solum taschenförmig in den Schutt hineinragt, nehmen wir in situ-Bildung an.

Die SM-Gehalte des B_{v2} - und C-Horizontes machen Homogenität wahrscheinlich. Die vorhandenen Unterschiede führen wir auf Verwitterung zurück, wie z. B. die Ausmerzung von Fe-Chlorit und Apatit. Auffallend ist, daß Hornblende und Granat nicht angegriffen werden. Über das Verhältnis von "stabilen" SM zu "instabilen" informiert folgende Übersicht:

Horizont	B_{v2}	C_{Fe}
Instabile SM	61	76
Stabile SM	39	24

Da Hauptdolomit und Plattenkalk keine vergleichbaren SM enthalten, wird angenommen, daß ein im Spätglazial besonders intensiver äolischer Eintrag aus den Zentralalpen stattfand, der bei der Schüttung des Schwemkegels mit eingearbeitet wurde. Dafür sprechen auch die hohen Schluffgehalte.

Die Kaolinitgehalte der Tonfraktion sind gesteinsbürtig. Durch Verwitterung werden hauptsächlich die Illite Al-chloritisiert.

Es gibt im Gelände keine Hinweise auf Humus- oder Sesquioxid-Verlagerung.

Sichtbar ist die Fe-Verlagerung jedoch in Profil 1 a. Die Bleichzone (A_{ge}) unter der organischen Auflage weist ein deutliches Fe_d -Minimum auf. Wir nehmen an, daß der A_{ge} in erster Linie durch Redox-Prozesse hervorgerufen wird, da sein pH mit 6,4 für Podsolierung eigentlich zu hoch ist. Außerdem gibt es beweidete Profile (z. B. Baumgartenalm; Horizont $A_{gh} - A_{ge} - B_{gv} - C_v$) mit bis zu 10 cm mächtigem A_{ge} ohne B_{hs} . Das schließt aus, daß früher unter Wald ein typischer Podsol vorlag, der durch Beweidung modifiziert wurde. Vergleichende Beobachtungen an Wald- und Almprofilen homogener Standorte zeigen vielmehr eine Intensivierung der Bleichhorizonte und Pseudogleymerkmale durch Beweidung. Schließlich muß erwähnt werden, daß Bleichzonen in alpinen Kalkverwitterungslehmen nicht nur unter O bzw. A_h (= Oberbodenbleichung) vorkommen, sondern auch innerhalb des B_v (Bodenverlagerung ausgeschlossen!).

Der Unterschied zwischen Naßbleichung und Podsolierungsbleichung wird in Profil 2 ($A_h - A_{ge} - B_{gs} - B_{gh} - BC - C$) noch deutlicher, da neben der Bleichzone (A_{ge}) auch Akkumulationshorizonte (B_{gs} und B_{gh}) ausgebildet sind (Tab. 1, 2, 3, 4). Im Gegensatz zu typischen Eisenhumuspodsolon ist der B_s über dem B_h . Ähnliche Profile beschreibt SCHLICHTING (1962) aus granitischem Material in Skandinavien. Er erklärt den B_h (unter dem B_s) als Folge eines seitlichen Wasserstroms über gefrorenem Unterboden. Diese Erklärung trifft für unsere Böden nicht zu, weil die B_{gh} -Horizonte meistens taschen- bzw. zapfenförmig angelegt sind und das Solum vor Schneefeld im allgemeinen nicht tiefgründig gefriert. Außerdem gibt es Humustapeten an den Aggregatoberflächen der Horizonte über dem B_h und, sofern Kalksteine im bereits entkalkten Solum noch vorkommen, haben diese in der Regel Humusüberzüge.

Gewisse Ähnlichkeiten hat Profil 2 jedoch mit der von FRANZ und SOLAR (1961) aus der Rax beschriebenen podsoligen, pseudoverlegten Terra fusca, die aber jeweils aus 3 - 5 Stockwerken besteht und damit ein Bodensediment darstellt (mit der Möglichkeit einer Verschüttung älterer A_h -Horizonte), während Profil 2 eine homogene in situ-Bildung aus spätglazialer Fließerde ist.

Betrachtet man zunächst die SM (Profil 2, Tab. 1), so fällt die Verringerung der "Instabilen" von C (86) zum A_{ge} (43) hin auf; entsprechend nehmen die "Stabilen" zu (C 10, A_{ge} 55). Man erkennt, daß vor allem die Fe-Chlorite ausgemerzt werden.

Die Tonmineralgarnitur ist gekennzeichnet durch das Verschwinden von Illit im A_{ge} ; dafür dominieren in diesem Horizont Vermiculit und sekundärer Chlorit. Kohlenstoff weist ein Minimum im A_{ge} auf (1,8 %), das Maximum im B_{gh} (15,5 %). Die Q 4/Q 6-Quotienten (Tab. 2) deuten auf niedermolekulare Fulvosäuren hin; die beweglichen Humusstoffe sind im B_{gh} beachtlich hoch (13,6%).

Fraktioniert man die Huminsäuren (Tab. 2) nach ANDERSON (1979), so ergibt sich für B_{gh} , daß nur 7,74 % des Gesamt-C an Ton gebunden ist, im A_h dagegen 21 %. Der B_{gh} stellt auf keinen Fall einen begrabenen A_h dar, vielmehr ist er durch Humusverlagerung aus dem A_{ge} entstanden.

Die Fe-, Al- und Mn-Fraktionierung (Tab. 3) ergibt stets (Fe_{KCl} ausgenommen, vgl. ZEJSCHWITZ, 1973) ein Minimum im A_{ge} und das Maximum im B_{gs} bzw. B_{gh} .

Auffallend ist die hohe Basensättigung, was gegen Podsolierung spricht (Tab. 4), ebenso wie das Auftreten eines B_{gv} zwischen A_{ge} und B_{gs} bzw. B_{gh} in benachbarten Profilen. In unmittelbarer Nähe, unter Tannen-Fichtenwald, wo Podsolierung noch ausgeprägter sein müßte, lautet die Horizontfolge: O (moderartiger Rohhumus) - A_{eh} - A_h - B_{gv} (im mittleren Teil einzelne Bleichphänomene) - B_{shv} - B_h - BC_v - C.

Profil 2 hat sich vermutlich aus einem solchen Waldprofil entwickelt, wobei durch Viehtritt die Neigung zu Staunässe erhöht wurde. Wir nehmen die in Tab. 5 skizzierten Prozesse an (vgl. auch BRINKMANN, 1970). Entscheidend ist, daß nach dem Wasserstau bei Luftzutritt Fe-Verbindungen oxidiert werden und H^+ freigesetzt wird; es kommt zu Ionenaustauschreaktionen an Ca-Humaten und Ca-Fulvaten, wodurch erneut wanderfähige Humin- bzw. Fulvosäuren entstehen.

Bodensystematisch gesehen liegt ein Alpiner Weideseudogley vor mit extremer Naßbleichung sowie Sesquioxid- und Humus-Verlagerung. Das Wesentliche an diesem Boden ist nicht die Sesquioxid-Verlagerung, denn auch Flachlandpseudogleye haben dieses Phänomen (Konkretionszone). Spezifisch ist die Humusmobilität. Sie tritt bereits in Profilen ohne Bleichzone auf, erkennbar an hohen C-Gehalten im B_v (vgl. Profil 1a, Tab. 1) oder an B_h -Horizonten über dem Kalkgestein. Höhere Humusgehalte im Solum bedingen diffuse Fe-Verteilung im B_{gs} und hemmen die Auskristallisation in Form von Konkretionen.

Böden mit ähnlicher Horizontfolge konnten SPECK und ZECH (Publikation in Vorbereitung) im semiariden Norden Kenias studieren. Dort tritt keine Rohhumuslage auf, jedoch eine mächtige Oberbodenbleichung (A_{ge}) über einem Konkretionshorizont (entspricht dem B_{gs} im Profil 2). Darunter folgt der B_h -Horizont. Diese Böden werden als Planosole klassifiziert.

Die vorliegende Untersuchung wurde angeregt durch Beobachtungen, die der eine von uns (W. ZECH) noch während seiner Tätigkeit am Lehrstuhl Bodenkunde der LMU München bei Professor Dr. K. E. Rehfuess durchführen konnte, und zwar im Rahmen einer von der DFG dankenswerter Weise unterstützten Studie über die Humus- und N-Vorräte von Gebirgsböden. Herr Dr. Dill besorgte die Auszählung der SM.

Literatur

- SCHLICHTING, E., 1962: Zur Deutung von "Ortstein"-Böden im subarktisch-alpinem Gebiet. Z. Pfl. Dgg. Bdk. 100, H. 2, 121-126
- ANDERSON, D. W., 1979: Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains. J. Soil Sci. 30, 70-84
- FRANZ, H. und SOLAR, F., 1961: Das Raxplateau und seine Böden. Mittg. d. Psterr. Bodenk. Ges., H. 6, 81-101
- von ZEJSCHWITZ, E., SCHWERTMANN, U., ULRICH, B., 1973: Die Podsolierungsstadien von Braunerden aus Schieferschutt. PuB 136, H. 1, 40-52
- SCHLICHTING, E. und BLUME, H. P., 1966: Bodenkundliches Praktikum. Parey Verlag, Hamburg, Berlin
- BRINKMANN, R., 1970: Ferrolysis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma 3, 199-206.

Tabelle 1: Analysenergebnisse

Profil Heuberg

	cm	S	U	T	pH CaCl ₂	% Carbonat	% C _t	% Fe _d
A _h	10	9	51	40	4,2	0	8,1	1,81
B _{v1}	20	11	45	44	4,4	0	2,0	2,24
B _{v2}	30	6	52	42	4,4	0	1,7	2,01
B _{v3}	30	8	56	36	4,9	0	0,3	1,89
C _{FE}	90+	17	63	20	8,1	97	0	0,80

Profil 1a, Trainsjoch, 1.600 m, P. mugo, Vaccinium

O ₁	10				3,8	0	56	
O ₂	20				4,0	0	56	
O ₃	10				5,0	0	40	
A _{ge}	1	3	62	35	6,4	0	3,1	1,41
B _{gv}	5	4	64	32	6,6	0	2,8	1,88
B _v	10	5	62	33	6,8	0	2,6	1,92
C		-	-	-	8,4	95	-	-

Profil 2, Trainsjoch, Almfläche in 1.080 m

A _h	7	5	71	24	5,5	0	13,1	
A _{ge}	10	3	70	27	4,6	0	1,8	
B _{gs}	10	1	71	28	5,4	0	9,7	
B _{gh}	25	1	85	14	6,1	0	15,5	
BC	20	11	80	9	7,5	88	0,6	
C	50	12	80	8	8,2	95	0	

	Kaolinit	Illit	Vermiculit	W L	s.Chlorit	Hornblende	Epidot	Granat	Staurolith	Disthen	Fe-Chlorit	Turmalin	Apatit	Rutil	Sonst.
A _h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B _{v1}	5	15	20	15	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B _{v2}	5	30	20	15	30	40	28	19	7	2	2	2	0	0	0
B _{v3}	5	45	20	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C _{FE}	(Sp) 80	15	5	0		25	18	15	1	0	30	0	6	5	0
O ₁															
O ₂															
O ₃															
A _{ge}															
B _{gv}															
B _v															
C															
A _h	5	20	30	30	15	38	38	9	3	2	3	1	0	2	4
A _{ge}	5	0	40	25	30	34	47	9	6	1	0	0	0	1	2
B _{gs}	5	40	25	10	20	33	17	4	1	0	42	0	0	0	3
B _{gh}															
BC						39	13	5	1	0	37	0	3	0	2
C	5	70	15	10	0	36	10	9	0	0	41	0	0	0	4

s.Tab.3

Tabelle 3: Fe-, Mn- und Al-Fraktionen, Profil 2

	% Fe _t	% Fe _d	% Fe _o	% Fe _{pyr}	Fe _{KCl} ppm	Mn _t ppm	Mn _d ppm	Mn _o ppm	% Al _t	% Al _d
A _h	2,4	1,3	0,8	0,5	2,5	360	262	225	5,0	0,3
A _{ge}	2,8	1,4	0,6	0,3	12,5	155	50	12	5,6	0,2
B _{gs}	4,2	2,0	1,2	0,6	0	377	212	150	8,4	2,1
B _{gh}	4,0	1,4	1,1	1,2	0	380	237	200	8,0	3,2
BC	0,5	0,2	0,1	0,1	0	77	75	25	0,8	0,1

Tabelle 4: Kennzeichnung des Sorptionskomplexes, Profil 2

Horizont	mval/100 g Boden				AK mval Ba/100 g	BS % (V-Wert)	mval/100 g Boden		
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺			S-Wert	Al ³⁺	Fe ²⁺
A _h	14,63	7,4	0,23	0,32	25,9	87,2	22,58	0,06	-
A _{eg}	7,69	2,8	0,11	0,16	13,7	78,8	10,79	1,61	0,03
B _s	14,15	4,5	0,08	0,27	19,4	97,9	19,00	0,27	-
B _h	15,75	8,0	0,05	0,17	25,9	92,5	23,97	0,06	-

Tabelle 2: Humuskennzahlen von Profil 2

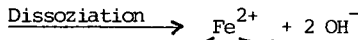
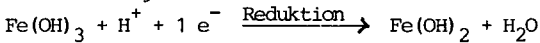
	A_h	B_{gh}
<u>Humifizierungszahl</u> (bez. a. org. Substanz; Extr. m. NaOH-Na-Oxalat, 530 nm)	20 %	19 %
<u>Humifizierungsart</u> (Q 4 / Q 6 , Extr. m. NaOH und Na-Oxalat)	6,7	8,6
<u>Bewegliche Humusstoffe</u> (bez. auf C_t ; Extr. m. NH_4 -Oxalat, 472 nm)	2,1 %	13,6 %

	Huminsäure A			Huminsäure B		
	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N
A_h	13,79	0,78	17,68	21,01	1,65	12,73
B_{gh}	14,65	0,92	15,92	7,74	0,54	14,33

Tabelle 5: Prozessgeschehen in Profil 2

- 1) Bei Schneeschmelze Überschuß an elektrolytarmem H_2O = Wasserstau = Redoxpotential sinkt; Perkolat ionen jedoch nicht völlig unterbunden.
- 2) Bei tiefem Redoxpotential reduzieren Mikroorganismen organische Substanz: es entstehen niedermolekulare, wanderfähige Stoffe. Außerdem Peptisation organischer Kolloide.

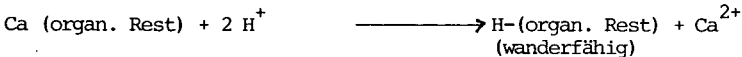
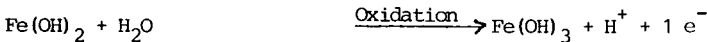
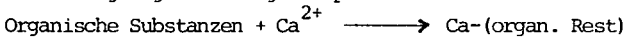
- 3) Fe-Verbindungen werden reduziert. Vereinfacht:



ionendisperse
Verlagerung

Verlagerung
als Chelat

- 4) Ausfällung wegen Anstieg des pH und Luftzutritt



Über "dunkle Böden" in Rheinhessen

von

Stöhr, W.Th.⁺

Bei den hier zu besprechenden "dunklen Böden" soll der in Rheinhessen verbreitet auf Löß vorkommende "Rheintal-Tschernosem" (Horizontfolge: Ap-AhBv-Ah-ACc-Cvn) ausgenommen sein. Vielmehr handelt es sich um "dunkle Böden" auf tertiärzeitlichen Ablagerungen.

Rheinhessen liegt südwestlich des Rheinknies bei Mainz und umfaßt die Kreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms. Es liegt damit im zentralen Teil des Mainzer Beckens; in das in der Tertiärzeit marine bis brackisch-limnische Sedimente eingelagert wurden. Diese lassen sich grob in 2 Gruppen gliedern: die oligozäne Ton- und Mergelabfolge mit Sandeinlagerungen (Rupelton, Schleichsand, Cyrenen-Mergel, Süßwasser Schichten) und die miozäne Mergel- und Kalksteinserie (Cerithien-, Corbicula- und Hydrobien-Schichten). Diese Sedimente liegen auf rotliegendzeitlichem Untergrund. Demnach fehlen hier alle Ablagerungen des Mesozoikums (etwa 150 Mio. Jahre). Bereits im Miozän begann die terrestrische Entwicklung des Gebietes mit Verwitterungs-, Bodenbildungs- und Umlagerungsvorgängen in einem zunächst subtropisch-mediterranem Klima. Der Urrhein, Urmain und die Urnahe entwickelten ihre Flußsysteme. Das Pleistozän brachte neben Terrassenabsätzen den Löß, der verbreitet auf den Plateaus sowie an den Nord- und Osthängen abgesetzt wurde. An den heute mit Reben bestockten Süd- und Westhängen stehen dagegen die tertiären Ablagerungen an, auf denen unter bestimmten Voraussetzungen kleinflächig "dunkle Böden" vorkommen.

Es fällt auf, daß die Verbreitung dieser Böden mit dem Alzey-Niersteiner Horst, einer Fortsetzung des Pfälzer Sattels

⁺Geologisches Landesamt Rhld.-Pfalz, Emmerausstr. 36,
D 6500 Mainz

im Mainzer Becken, zusammenfällt. Daraus kann gefolgert werden, daß die Entwicklung dieser Böden etwas mit der Geologie im weitesten Sinne zu tun hat.

Im Bereich des Sattels wurden im Jungpleistozän ältere, ton- und schluffreiche Schichtglieder des Tertiärs (Rupelton, Schleichsand und Cyrenen-Mergel) freigelegt. Diese stehen heute verbreitet in den Tälern und den Ausräumzonen Rheinhessens an. (Ausraumzonen sind weite, wannenförmige, fast abflußlose, zu zeitweiser Vernässung neigende Geländekohlformen des Mainzer Beckens, die durch Ausräumung und Tektonik bedingt sind.)

Die "dunklen Böden" Rheinhessens lassen sich nach ihrer Lage und Horizontfolge grob in 2 Gruppen gliedern, und zwar in eine hydromorphe Feucht- und eine terrestrische Trockenform.

1. Die Feuchtformen der "dunklen Böden" kommen verbreitet in den tieferen Teilen der Ausräumzonen und am Hangfuß der Täler auf Rupelton vor. Sie sind meist von einem Braunen oder Schwarzen Kolluvium überlagert und entzogen sich dadurch lange Zeit der Beobachtung.

Das Braune Kolluvium ist kalkreich, sandig-schluffig und durchlässig. Es läßt sich von Löß und sandigen Tertiärlagerungen (Schleichsand) ableiten.

Das Schwarze Kolluvium ist kalkarm, schluffig-tonig und neigt zur Dichtlagerung und Vernässung. Es stammt vorwiegend von den dunklen, ton- und schluffreichen Böden der höheren Hangbereiche (Rupelton bis Cyrenen-Mergel) (Platz et al. 1977).

Die Bildung dieser Kolluvien hängt mit der Rodung der sonnseitigen Hangbereiche und der Herrichtung ihrer Böden für den Weinbau zusammen, welcher von den Römern hier eingeführt wurde. Vorher sind diese Hanglagen wegen der Hangneigung und der Schwere der Böden nicht landwirtschaftlich genutzt worden.

Sie waren mit Wald, Hecken oder Gebüsch bestockt.

Die Feuchtformen der "dunklen Böden" zeigen folgenden Profilaufbau

(Muldenlage mit Kolluvium)	1.1. M - fAh Go - Co Go - Gr
bis	1.2. M - fAh - Co - Cy Go - Gr
(Hangfuß bis Niederterrasse)	1.3. Ah - Ah Go - Co Go - Gr bis
(mit geringem oder fehlendem Kolluvium)	1.4. Ah - Co - Go - Gr

Nach einer Grundwasserabsenkung (Dränage, Bachbegradigung usw.) bilden sich Übergänge zu 2., der Trockenform aus.

Horizontfolge: 1.5. M - Ah - Cc - Cvn - Go bis
1.6. Ah - Cc - Cvn - Go

Örtlich ist der Ah-Horizont stärker verdichtet und wirkt als Stauschicht (Sd). Die Böden werden wechsellagernd.

Horizontfolge: 1.7. M - MSw - AhSd - Cc - Go oder Cvn

Im MSw-Horizont treten Rostflecken und kleine Fe-Mn-Konkretionen auf.

Der dunkle Ah-Horizont (meist 30 - 50 cm mächtig) ist durch einen fehlenden oder geringen Kalkgehalt gekennzeichnet. Vereinzelt tritt in Grablöchern H_2S -Geruch auf.

Die Bodenstruktur des Ah-Horizontes ist grobpolyedrisch mit meist glatten, schwarzglänzenden Gefügeflächen. Die mächtige kolluviale Überlagerung verhindert ein stärkeres Austrocknen des Bodens. Damit fehlt die für den "Selfmulching-Effekt" notwendige Trockenrißbildung. Auch Hinweise auf eine ausgeprägte Bioturbation fehlen. (Über die Mikromorphologie dieser Böden berichtet a. O. Herr Stephan, Bonn.) Der Humus ist gleichmäßig im Ah-Horizont verteilt. Die Humusakkumulation und Konservierung weist Parallelen mit den Feuchtschwarzerden (Feuchtschernoerden, Wiesenböden, Auenschwarzerden usw.) auf.

2. Die terrestrischen (trockenen) Formen der "dunklen Böden"

Der Übergang der "dunklen Böden" von der Talbodenterrasse (Feuchtf orm) zur Nieder- und Mittelerrasse (Trockenform) vollzieht sich ganz allmählich. Diese Terrassen sind in den Ausraumzonen wegen einer fehlenden stärkeren Wasserführung nur als Flächenterrasse ohne Schotterbedeckung ausgebildet. Anhand einer Catena bei Weinsheim wurde die Abfolge der einzelnen Bodentypen untersucht. (Darüber wird in einer weiteren in Druckvorbereitung befindlichen Gemeinschaftsarbeit berichtet).

Meist unterliegen diese A-C-Böden der Erosion (Ah-Horizont 25 - 40 cm mächtig).

Horizontfolge: 2.1. Ap - Ah - Cc - Cvn oder
2.2. Ap - Ah - Cvc - Cn

Die Böden trocknen im Sommer stark aus. Die Folge sind klaffende Trockenrisse, die zur Bildung grober Polygone führen. Dadurch wird der "Selfmulching-Effekt" begünstigt. Die Oberkrume ist subpolyedrisch, die Unterkrume prismatisch mit rauhen Gefügeflächen. Wurmröhren und einzelne Krotowinen belegen eine ausgeprägte Bioturbation. Die Humusakkumulation und Konservierung ist dem Rheintal-Tschernosem sehr ähnlich. Im allgemeinen sind die Humusgehalte der Trockenform niedriger als in der Feuchtform. Der Kalkgehalt ist dagegen hier höher. Kalkknötchen erinnern an die Bjeloglaskas der Tschernoseme. Der Cc-Horizont ist nicht mehr so ausgeprägt beziehungsweise in Auflösung begriffen. Das wird auf eine Klimaänderung und Abtrag zurückgeführt.

Gemeinsame Merkmale sind neben der dunklen Bodenfarbe 10YR 2/1 - 4/2 das enge Ton-:Schluff-Verhältnis von etwa 1:1, und zwar unabhängig vom Alter des Gesteins.

(Im Rheintal-Tschernosem liegt es bei 1:3). Die Summe von Ton und Schluff ist in beiden Fällen größer als 90 %.

Keine Unterschiede bestehen auch in den Tongehalten der Feucht- und Trockenform in den Ah-Horizonten. Sie sind hier am höchsten. Dieser Horizont stellt somit den Bereich der höchsten Verwitterungsintensität dar. Einer Verwitterung, die sich früher unter einer anderen Vegetation, vermutlich lichter gras- und krautreicher Auen- bzw. Buschwald, bei niedrigen pH-Werten vollzog. Die Ah-Horizonte sind ferner dadurch gekennzeichnet, daß hier die Maximalwerte für austauschbares Ca O, Gesamt-Kali, - Fe₂ O₃, - Al₂ O₃ und die Dithionitwerte ermittelt wurden.

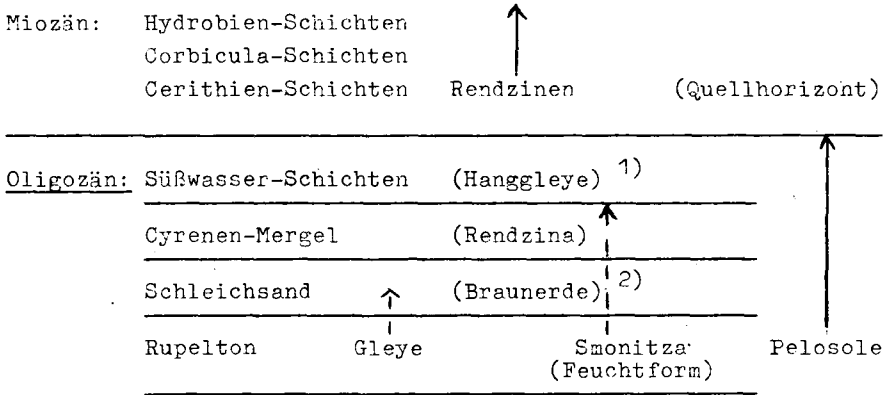
Das austauschbare Mg nimmt im Profil von oben nach unten zu, Gesamt-P₂ O₅ dagegen ab (Düngungseffekt).

Die Tonmineraluntersuchungen wurden dankenswerter Weise im Institut für Bodenkunde in Bonn durchgeführt.

Als Beweis für die Lössheimengung wird das Vorherrschen der Illitgruppe in den kolluvialen Oberböden angesehen.

In den Ah-Horizonten stellt dagegen die Montmorillonit-Gruppe das vorherrschende Tonmineral, die Illit- und Chloritgruppe bilden die Nebenbestandteile. Die Vertreter der Kaolinitgruppe lassen sich nur in Spuren nachweisen.

Tab. 1: Geologische Schichtfolge und Bodenformen in Rhein-
hessen auf tertiärzeitlichen Ablagerungen



1) kleinflächige Vorkommen (...)

↑ 2) Trockenform auch Tonmergel-Tschernosem oder
Pellic-Smonitza (Pellic Vertisols)

Rückblick

Zuerst wurden die "dunklen Böden" Rheinhessens auf dem Rupelton bekannt (1959), dessen Gesteinsfarbe örtlich dem Löß sehr ähnlich ist. In der Körnung unterscheidet er sich aber ganz wesentlich von ihm. Es lag daher nahe, seine dunklen Böden als "Paratschernoseme" zu bezeichnen. In besonderen Fällen wurde auch der Begriff "Auenschwarzerde" erwogen. Nach dem Erscheinen der Arbeit von Neugebauer und Zakosek (1962) wurden sie als Smonica (Smonitza) bezeichnet, auf Bodenkarten dargestellt (Stöhr 1965, 1966) und in einer Blatterläuterung (Stöhr 1972) beschrieben. Bei einem internationalen Vergleich zeigt es sich, daß für derartige "dunkle Böden" auch noch andere Bezeichnungen üblich sind, wie: Feuchttchernosem, Wiesenboden, Grumusol, Smolnitza, Black Cotton Soil, Gleyic Vertisols, Pellic Vertisols (pellic, gr. = dunkel) und andere.

Es wird angeregt, die Bezeichnung "Smonitza" (Smonica) bzw. "Gley-Smonitza" für die hydromorphen Böden im Grenzbereich Aue : Niederterrasse zu verwenden und bei den terrestrischen Formen von "Tonmergel-Tschernosemen" oder in Anlehnung an den internationalen Sprachgebrauch (Pellic Vertisols) von "Pellic-Smonitza" zu sprechen. Über weitere Einzelheiten dieser Bodenformen wird in einer Gemeinschaftsarbeit demnächst berichtet.

Zusammenfassung

Es wird über "dunkle Böden" auf tertiärzeitlichen Ablagerungen in Rheinhessen vorgetragen, für welche bisher die Bezeichnung "Smonica" gebräuchlich war. Diese Bodenformen treten reliefabhängig als hydromorphe Ah-Cc-Go und terrestrische Böden Ah-Cc-Cvn auf. Sie sind aber auch litho-, klima- und phytomorph geprägt worden.

Literatur

- NEUGEBAUER, V. & ZAKOSEK, H. (1962): Die Smonica,- Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 90, S. 341-353, 2 Tab., Wiesbaden.
- PLAR, W., POETSCH, T., TRIBUTH, H. & ZAKOSEK, H. (1977): Zur Entstehung eines Smonica-Profiles in Rheinhessen.- Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 140, S. 317-328, 3 Abb., 5 Tab., Weinheim.
- STÖHR, W. Th., (1965): Bodenübersichtskarte von Rheinland-Pfalz 1:500 000.- Deutsch. Plan. Atlas, VII, Akademie für Raumforsch. und Landesplan. und Staatskanzlei Rheinl.-Pfalz, Mainz.
- _____ (1966): Übersichtskarte der Bodentypengesellschaften von Rheinland-Pfalz 1:250 000 mit Kurz-Erläuterungen (1968), 18 S., Mainz (Geol. L.-Amt, Rheinland-Pfalz).
- _____ (1972): 7. Böden - in Sonne, V. et al. (1972): Erläuterungen zur geologischen Karte 1:25 000, Bl. 6115 Udenheim. - S. 53-65, 2 Tab., Mainz (Geol. L.-Amt Rheinland-Pfalz).
- ZAKOSEK, H. (1962): Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal.-Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., 37, 46 S., 1 Abb. 19 Tab., Wiesbaden.

Peaty hydromorphic soils of the Welsh uplands

ISSN-0343-107X

by
Clayden, B.⁺

Introduction

The classification of hydromorphic soils in Britain is closely related to that in West Germany since the distinction between surface-water and ground-water gley soils is parallel to that made between Stauwasser - and Grundwasserböden. The scheme introduced by Avery (1973) as a basis for soil survey in England and Wales attempts to use specific soil properties to define class limits, as in the system designed for a similar purpose in the United States (Soil Survey Staff, 1975). The morphological criteria proposed to distinguish surface-water from ground-water gley soils have since been supplemented by the introduction of a diagnostic 'impermeable subsurface horizon' defined by morphological and physical features. The application of these concepts is discussed with reference to three kinds of peaty hydromorphic soils occurring in high rainfall areas of Wales.

Classification of hydromorphic soils in England and Wales

The classification adopted by the Soil Survey of England and Wales in 1973 distinguishes three classes of hydromorphic soil at the highest categorical level of major group. They are briefly defined by Avery as follows -

1. Hydric raw soils (raw gley soils). 'Gleyed mineral soils, normally in very recent marine or estuarine alluvium, with no distinct topsoil, and/or ripened no deeper than 20 cm.'
2. Surface-water gley soils. 'Non-alluvial soils with distinct, humose or peaty topsoil, non-calcareous Eg and/or Bg or Btg horizon, and no G or relatively pervious Cg horizon affected by free groundwater.'
3. Ground-water gley soils. 'With distinct, humose or peaty topsoil and diagnostic gleyed horizon at less than 40 cm, in recent alluvium ripened to more than 20 cm, and/or with G or relatively pervious Cg horizon affected by free groundwater.'

Differentiation of the non-raw soils was based on the identification of 'relatively pervious horizons' and, as in the German system, on profile morphology and presumed genesis. The definitions of Cg and CG horizons are given in the Soil Survey Field Handbook (Hodgson 1976) and both horizons appear to be included in the German concept of the Gr horizon (Kohl 1971).

⁺ Soil Survey of England and Wales, Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts, England.

Their characteristics are summarised below.

Cg - C horizon with dominantly greyish colours due to gleying, normally with a dominant chroma of 2 or less. Peds are absent or weakly developed, and any ferruginous segregations occur chiefly as coats on grains or around voids, or as root tubules.

CG - Intensely gleyed (reduced) horizon with chroma of 1 or less that changes on exposure to air.

Peaty hydromorphic soils of both major groups are distinguished by having humose or peaty topsoils (Avery 1973) with minimum values of organic matter depending on clay content. A humose topsoil is at least 15 cm thick and has more than 4.5 - 7.0 per cent. organic carbon, and a peaty topsoil is 7.5 - 40 cm thick with more than 12 - 18 per cent. organic carbon.

Application of these criteria to soil survey in different parts of the country has resulted in some inconsistent identification, particularly in soils of medium particle-size class. It also became clear that some permeable soils with lower horizons saturated with water for much of the year are without Cg or CG horizons. An attempt was therefore made to improve the criteria for distinguishing the two major groups.

In 1977 Avery produced an unpublished Supplement to the 1973 paper, to assist survey staff in implementing the system, in which the 'impermeable subsurface horizon' was introduced as the main basis for the distinction between surface-water and ground-water gley soils. The introduction was based on proposals by Thomasson (Hall *et al.* 1977) who built on work in West Germany (Benecke 1966, Renger 1971). Thus the Supplement requires surface-water gley soils to have an impermeable B or BC horizon starting with 80 cm' except for some soils as described below with a gleyed subsurface horizon directly below a peaty or humose topsoil and with little or no evidence of gleying in lower horizons. The following definition is taken from the Supplement.

Impermeable subsurface horizons. 'These are conceived as subsurface horizons (normally B, BC or C), at least 15 cm thick, with horizontal hydraulic conductivity (Ks) less than 10 cm/day. In the absence of saturated conductivity measurements, they are identified by the following properties. Subsurface horizons not meeting these requirements are considered permeable.

1. Upper boundary within 80 cm depth.
2. Massive, platy, prismatic or coarse or weakly developed angular blocky structure. Peds, if present, are at least moderately firm at all moisture states and contain few continuous macropores; channels formed by earthworms or roots are absent, or few and widely spaced, and fissures may be present when the horizon is dried close more or less

completely when it is wet.

3. Greyish colours attributable to gleying in or immediately above the horizon as follows.
 - a. if peds are present, they have greyish faces and ferruginous mottles or matrix colours of higher chroma internally.
 - b. if the horizon is massive or platy (BC or C) and has a dominant chroma of 3 or more, greyer colours are mainly associated with widely spaced fissures or channels.
 - c. if the horizon is massive or platy and has a dominant chroma less than 3, ferruginous segregations (if present) occur mainly as mottles in the matrix rather than as coats lining fissures or channels.
4. Very small air capacity ($C_a < 5\%$), high packing density ($L_d > 1.75$), or both.'

Classification of peaty hydromorphic soils in Wales

Peaty hydromorphic soils are widespread in the oceanic perhumid climate of Wales (Avery et al. 1975). The three examples cited below were described in the south-west at elevations ranging from 150 to 250m with a mean annual rainfall of between 1200 and 1800 mm. The mean maximum potential soil moisture deficit (Hall et al. 1977) is about 50mm, with 1200 to 1600 day degrees C above 5.6°.

The soils are developed in stony loamy materials derived from last-glaciation till (boulder clay) or late glacial solifluxion deposits. They are moderately to strongly acid with pH values in water (1:2.5) ranging from 4.0 to 5.0. All three types have a prominent bleached E horizon below the peaty topsoil with minimum values of dithionite-extractable Fe (Table 1), and are without argillic horizons.

Soil A. Soils of this type occur widely on undulating plateaux or in broad basins, and are associated with variants without humose or peaty topsoils. The strongly gleyed E horizons pass to less altered lower horizons retaining more of the original colour, the contrast being best expressed in reddish parent materials derived from Old Red Sandstone (Devonian) rocks. The lower horizons are compact and commonly meet the criteria for fragipans (Soil Survey Staff, 1975).

The very low air capacities and high bulk densities of the B and BC horizons of the profile quoted (Table 1) leave no doubt as to the presence of an 'impermeable subsurface horizon'. Thus the profile clearly qualifies as a surface-water gley soil and is classed with stagnohumic gley soils at group level.

Soil B. Soils of this type occur under semi-natural grassland or wet heath

Table 1

Analytical data* on peaty hydromorphic soils

Hor.**	Depth cm	Clay %	Org.C %	Fed %	Bulk density	Packing density	Air capacity
					g cm ⁻³	g cm ⁻³	% vol.
A + Wenallt series in reddish loamy drift from Old Red Sandstone siltstone (SN 727224)†							
Oh	0-16		20		0.44		15
Eg	16-28	23	2.3	0.4	1.18	1.39	9.5
Bg	28-36	17		0.7	1.83	1.98	1.0
BCg	46-64	18		1.2			
BC(g)	64-100				1.89	2.05	0.7
B Rhondda series in loamy drift from Carboniferous sandstone (SN 643060)							
Oh	0-7						
Ah	7-19	7	11				
Eag	19-30	7	2.2	0.3	1.39	1.45	11
Bg	30-54	18	1.5	3.0	1.12	1.28	16
BC(g)	54-78	11	1.1	1.7	1.43	1.53	11
Cu	78-105	11	0.9	1.0			
C Freni series in loamy drift from Ordovician shale (SN 487178)							
Oh	0-15		27				
Ah	15-22	32	12	0.5			
Eag	22-37	18	1.2	0.3			
Cg1	37-85	18	0.6	1.3	1.52	1.68	2.3
Cg2	85-100	15	0.5	0.8	1.61	1.75	2.7
Cg3	100-130	16	0.6	1.0	1.56	1.70	4.0

* Avery and Bascomb (1974)

** Hodgson (1976)

+ Wright (in press)

† National grid reference

on gently sloping ridges or plateaux, and are associated with stagnopodzols (Staupodsol). They are developed in stony solifluxion deposits or quasi-residual materials and can be relatively shallow to bedrock. The soils differ from those of Type A in having no impermeable layer below the E horizon, suggesting that surface wetness and peat formation is bioclimatic in origin.

Laboratory measurements of the representative profile (Table 1) indicate that the subsurface horizons are moderately porous. The marked increase in clay content in the Bg horizon is presumably related to a discontinuity in the parent material as few argillans were found in thin sections.

Despite the absence of an impermeable horizon such soils are nevertheless classed with Type A as stagnohumic gley soils since anaerobiosis is related to the upland climate and vegetation rather than to the influence of groundwater.

Soil C. Soils of this type occur in low-lying sites often surrounding areas of peat (organic) soils (Avery 1973) in which the organic surface layer is more than 40 cm thick. Horizons below the E are essentially apedal, have neutral light grey colours with prominent ferruginous segregations along common old root channels and are designated Cg. Packing density of the Cg horizons can be only medium ($1.40 - 1.75 \text{ g cm}^{-3}$) (Table 1) but laboratory measurements of air capacity give very low values and determinations of saturated hydraulic conductivity by the auger hole method gave an average figure of 0.13 cm/day.

Following the morphological criteria of Avery (1973) the soils are ground-water gley soils and are placed in the groups of humic gley soils (sensu stricto). However the physical determinations indicate that the Cg horizons can be classed as impermeable.

Conclusions

Examples of peaty hydromorphic soils classed as stagnohumic gley soils (Stagnogley) and humic gley soils (Moorgley) are used to illustrate some of the problems in differentiating surface-water from ground-water gley soils in perhumid areas of western Britain. The widespread occurrence of permeable soils like Type B indicate the limitations of using the exactly defined 'impermeable subsurface horizon' as diagnostic of 'surface-water' soils not affected by fluctuating groundwater. On the other hand humic gley soils of Type C appear to have impermeable layers in conjunction with the morphological features considered characteristic of Cg or Gr horizons.

Investigations continue to develop differentiating criteria that are consistently applicable. However, as it has been found that many soils of medium and fine particle-size share characteristics of both surface-and ground-water gley soils, the distinction is likely to be made at a lower categoric level in a revised and extended version of the classification that is in preparation. In this case hydromorphic soils will occupy a single class

at the highest categorical level as in the West German system (Mückenhausen 1977).

Acknowledgements

The study of Welsh soils was done in collaboration with P.S. Wright and encouraged by B.W. Avery.

References

- Avery, B.W. 1973. Soil classification in the Soil Survey of England and Wales. *J. Soil Sci.* 24, 324-338.
- Avery, B.W. and Bascomb, C.L.(ed) 1974. Soil Survey laboratory methods. *Soil Surv.Tech.Monogr.* No.6.
- Avery, B.W., Findlay, D.C. and Mackney, D. 1975. Soil map of England and Wales, 1:1,000,000. Ordnance Survey. Southampton.
- Benecke, P. 1966. Die Geländeansprache des Bodenfuges in Verbindung mit Entnahme von Stechzylinderproben für Durchlässigkeit-messungen. *Z. Kulturtechnik Flurberein.* 10, 20-27.
- Hall, D.G.M., Reeve, M.J., Thomasson, A.J. and Wright, V.F. 1977. Water retention, porosity and density of field soils. *Soil Surv.Tech.Monogr.* No.9.
- Hodgson, J.M. (ed) 1976. Soil Survey field handbook. *Soil Surv.Tech.* Monogr.No.5.
- Kohl, F. (ed) 1971. Kartieranleitung. Hannover.
- Mückenhausen, E. 1977. Entstehung, Eigenschaften und Sytematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. 2.Afl.DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Renger, M.1971. Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. *Z. PflErnähr. Bodenk.* 130, 53-67.
- Soil Survey Staff 1975. Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agric.Handb.* U.S. Dept. Agric.No.436. U.S.Govt. Printing Office, Washington D.C.
- Wright, P.S. (in press). Soils in Dyfed. Sheet SN72 (Llangadog). *Soil Surv.Rec.*

Bodenentwicklung aus spätpleistozänen und
holozänen Hochflutlehmen des Niederrheins

von

D. Schröder ⁺

Der zeitliche Ablauf bodenbildender Prozesse im Spätpleistozän und Holozän ist bisher nur unvollständig geklärt. Das liegt daran, daß es an Bodenbildungen mit bekannter zeitlicher Abstufung fehlt. Aber auch die sonstigen bodenbildenden Faktoren sind nicht hinreichend konstant und erschweren dadurch ebenfalls die diesbezüglichen Aussagen. Für den Niederrhein hat BRUNNACKER (1978) mit Hilfe geomorphologischer, feldbodenkundlicher und chemischer Untersuchungen, prähistorischer Funde, historischen Belegen, Bimslagen, Pollenanalysen und C 14-Datierungen eine Feinstratigraphie erarbeitet, in der er neben spätpleistozänen Terrassenstufen auch einige altholozäne, mittelholozäne und jungholozäne Stufen ausscheidet. Damit ist eine Grundlage gegeben, die zeitabhängige Entwicklung von Böden aus Hochflutlehm zu studieren. Anhand des Ausprägungsgrades einiger Merkmale soll daher untersucht werden, ob seit dem Spätpleistozän eine nachweisbare Bodenentwicklung in diesen Sedimenten stattgefunden hat.

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich auf die Niederterrasse des Rheines und seine holozänen Stufen zwischen Bonn und Emmerich. Die Entnahmestellen der Proben und die Profilnummern sind in Darst. 1 angegeben.

Die klimatischen Verhältnisse innerhalb des Untersuchungsgebietes variieren wenig. Die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur in den einzelnen Räumen bewegt sich zwischen 9 und 10 ° C; die Niederschläge schwanken zwischen 650 und 700 mm.

⁺

Institut für Bodenkunde, Nußallee 13, 5300 Bonn 1

Alle Standorte sind überflutungsfrei.

Qualmwasser dringt nur noch bei extremen Hochwasserständen in das Solum einiger jüngerer, tief gelegener Böden in Deichnähe ein.

Untersuchungsmaterial

Der starke Wechsel der Bodenart fluviatiler Sedimente macht Paralleluntersuchungen an mehreren Profilen erforderlich. Um dieser Forderung zu genügen, wurden auf den entsprechenden Terrassenstufen an je zwei Lokalitäten zwei Parallelprofile beprobt, so daß jede Altersstufe durch vier Profile repräsentiert wird. In den Abbildungen sind sie zu jeweils einer Gruppe zusammengefaßt worden. Die jüngste Gruppe trägt die niedrigste, die älteste die höchste Gruppennummer. Die Profildnummern, der Beginn der Bodenbildung, die Formation und die von BRUNNACKER verwendete Bodentypenbezeichnung finden sich in Tab. 1.

Die Bodenarten wechseln zwischen sandigem Lehm und Lehm und sind unabhängig vom Alter der Gruppen; Schichtungen sind zahlreich; der durch schwermineralogische Untersuchungen der Fraktion 40 - 600 μ ermittelte Stoffbestand ist jedoch einheitlich.

Untersuchungsmethoden

Zur Ermittlung der hier beschriebenen Ergebnisse wurden folgende Methoden angewandt:

Bodenfarbe : In feldfrischem Zustand nach MUNSELL

Gefügeform : Makrofeingefüge nach Kartieranleitung

Gefügefestigkeit : Zusammenhalt der Aggregate

Trockenraumgewicht : Aus Nettogewicht von Stechringen

C-Gehalt : Naße Veraschung nach der Methode LICHTERFELDE

Carbonat : Nach SCHEIBLER

T-Wert und V-Wert : Nach MEHLICH

Pedogene Oxide : Nach SCHLICHTING und BLUME 1962

Gesamtelementgehalte : Flußsäureaufschluß.

Ergebnisse und Diskussion

Die feldbodenkundlichen Untersuchungen lassen eine deutliche Beziehung zwischen der Dauer der Bodenbildung und der Bodenfarbe erkennen. Mit zunehmendem Alter der Gruppen steigt der YR-Wert, d.h., daß die Böden einen stärkeren Rotton annehmen (Abb. 1).

Die Gefügeform, die bei den jüngeren Gruppen im wesentlichen krümelig bis subpolyedrisch beschaffen ist, geht zu den älteren Gruppen hin in grobpolyedrisches

Gefüge über (Abb. 2). Hierin kommt die Entwicklung von relativ undifferenzierten Böden zu solchen mit B_t -Horizont zum Ausdruck. Parallel mit dem Wandel in der Gefügeform nimmt auch die Festigkeit der Aggregate zu (Abb. 3). Das stimmt ebenfalls mit dem höheren Trockenraumgewicht der älteren Gruppen gegenüber den jüngeren überein (Abb. 4).

Die Kohlenstoffgehalte sinken mit der Dauer der Bodenbildung (Abb. 5). Die Gruppen 6 und 7 der Niederterrasse können wegen fehlender Vegetation im Spätpleistozän kaum Kohlenstoff mit dem Sediment empfangen haben. Ihr Humusgehalt ist daher niedriger als der der jüngeren Gruppen und nimmt vor allem mit der Tiefe schneller ab. Die jüngeren Gruppen sind dagegen häufig bis in größere Tiefe stark humos, bisweilen sogar in Form fossiler Humushorizonte.

Deutlicher als bei allen übrigen Merkmalen kommt die Bodenentwicklung im Carbonatgehalt zum Ausdruck (Abb. 6). Während die 4 jüngeren Gruppen noch carbonathaltig sind und z.T. Carbonatanreicherungen im Untergrund erkennen lassen, haben die drei älteren Gruppen, ihr Carbonat bereits verloren. Damit geht eine Abnahme des pH-Wertes auf 6,5 vereinzelt auch auf $pH < 6$ einher.

Die Sorptionskapazität erreicht im allgemeinen hohe bis sehr hohe Werte (Abb. 7). Nach Abzug des humusbedingten Anteils werden 60 mval/100 g Boden jedoch nur selten überschritten. In den älteren Gruppen fallen sie auf unter 50 ab. Dies mag die Folge des in den älteren Gruppen geringeren Montmorillonitanteils sein.

In enger Beziehung zu den Carbonatgehalten steht der V-Wert (Abb. 8). Er beträgt in den 4 jüngeren Gruppen 100 % und nimmt in den älteren leicht ab. Mit einer Ausnahme bleibt er aber im Bereich hoher Basensättigung. Teilweise läßt sich dieser hohe Sättigungsgrad auf Düngungsmaßnahmen zurückführen.

Bodenentwicklung läßt sich im allgemeinen auch recht gut an der Tiefenfunktion pedogener Oxide oder bei Chronosequenzen an steigenden Gehalten erkennen. In geschichteten Substraten kann diese Tendenz gestört sein. Beim Bezug der labilen Fraktion pedogener Oxide auf die stabile Gesamtfraktion sollte sich eine Entwicklung zu höheren pedogen gebildeten Anteilen mit zunehmender Bodenbildungsdauer aber abzeichnen, wie sie aus den Abb. 9 und 10 auch zu ersehen ist. Der dithionitlösliche Eisen- und Mangananteil an der Gesamtfraktion nimmt von den jüngeren zu den älteren Gruppen hin zu. Damit erhält die stärkere Rotbraunfärbung der älteren Gruppen eine Erklärung.

Ein relativ fortgeschrittenes Stadium der Bodenentwicklung wird durch die Tonverlagerung ausgewiesen. Sie setzt in den untersuchten Hochflutsedimenten sehr bald nach der Entkalkung ein und gewinnt mit zunehmender Bodenbildungsdauer an

Intensität (Abb. 11 und 12). Sowohl der Anteil tonbelegter Hohlräume als auch die Dicke der doppelbrechenden Tonbeläge nehmen zur Tiefe hin zu. In den oberen Horizonten fehlen Tonbeläge weitgehend. Daraus darf gefolgert werden, daß die Profile vollständig erhalten sind. Da sich andererseits keine Beziehung zwischen dem Feintonanteil und der Bodenbildungsdauer wie Profiltiefe nachweisen läßt, sind wahrscheinlich nur geringe Tonmengen über kurze Strecken verlagert worden.

Um prüfen zu können, welche Beziehungen zwischen den Merkmalen untereinander und zwischen ihnen und der Bodenbildungsdauer bestehen, wurden multiple Korrelations- und Regressionsrechnungen durchgeführt. nach dem Ausschluß solcher Merkmale die nur wenig mit dem Alter korrelierten, und solchen, die eine Interkorrelation zeigten, gingen die in Tab. 1 aufgeführten in eine Analyse mit dem Alter als Y ein. Hieraus resultierte ein Bestimmtheitsmaß von $B=0,84$, d.h., daß 84 % der Streuung des Alters durch die Streuung der untersuchten Merkmale erklärt werden können. Das auf der Basis der Merkmale errechnete Alter stimmt gemäß dem hohen Bestimmtheitsmaß gut mit dem angenommenen überein. Allerdings lassen sich die beiden jüngeren Gruppen untereinander nicht differenzieren. Zudem wird ihr Alter überschätzt. Es hat den Anschein, als ob diese Überschätzung teilweise auf die nivellierenden Einflüsse der Vorverwitterung zurückgehen, da bei getrennter Eingabe von Merkmalen, die am vorherigen Standort schon vorgeprägt worden sind, wie Fe_d/Fe_t , Mn_d/Mn_t und Mg_t eine schlechtere Beziehung zwischen Merkmalsausprägung und Alter besteht als bei ausschließlicher Berücksichtigung der Merkmale, die überwiegend autochthon ausgebildet wurden. Eine horizontweise durchgeführte Berechnung erbrachte hingegen keine wesentlich unterschiedliche Schätzgenauigkeit für die einzelnen Horizonte.

Zusammenfassung

Trotz gewisser Inhomogenitäten bezüglich Körnung des Ausgangsmaterials ist es bei zweckmäßiger Auswahl der Merkmale, ausreichender Anzahl von Parallelen und geeigneter statistischer Auswertungsverfahren möglich, Bodenentwicklung in Hochflutsedimenten nachzuweisen. Die Merkmalsausprägung der Böden zwischen den spätpleistozänen und jungholozänen Gruppen differiert deutlich. Recht ähnliche Ergebnisse fanden ZAKOSEK (1962), SCHALICH (1965), WILKE (1975), ZECH und WILKE (1977 und HOFFMANN und BLUME (1977). Als sichere Anzeiger für Bodenentwicklung im untersuchten Material erwiesen sich Bodenfarbe, Gefügeverhältnisse, Lagerungsdichte, Carbonatgehalte, Kohlenstoffgehalte, Tonbeläge, pedogene Oxidanteile an den Gesamtgehalten und einige andere in dieser noch nicht abgeschlossenen Untersuchung unerwähnt gebliebenen Merkmale. Zur Klassifikation dieser Böden wird zu einem späteren Zeitpunkt Stellung genommen.

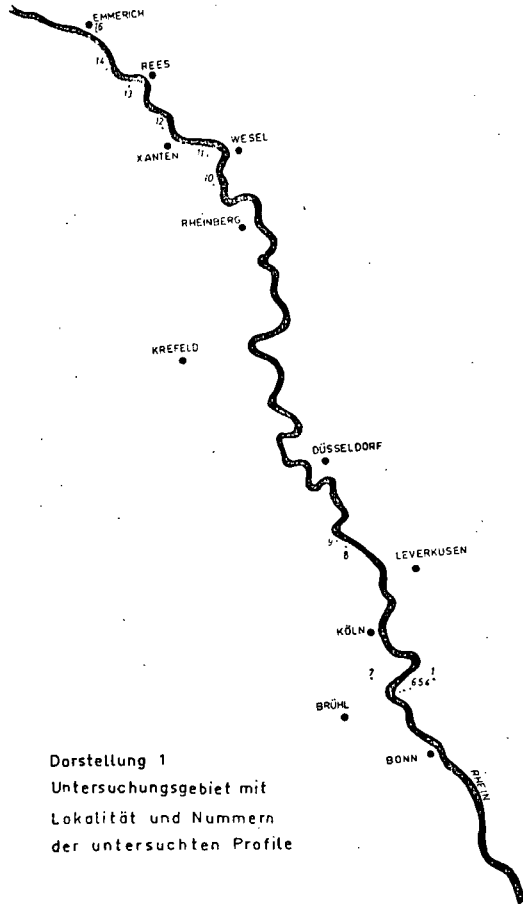
Sehr zu danken habe ich den Herren Proff. BRUNNACKER, MÖCKENHAUSEN und ZAKOSEK für die Fragestellung, Standortauswahl und stets wohlwollende Beratung und Unterstützung. Mein Dank gilt ferner den Herren Dr. BECKMANN und Dr. GEWEHR für tonmineralogische und mineralogische, Dr. STEPHAN für mikromorphologische sowie Prof. WIECHMANN für bodenchemische Untersuchungen und vielfältige Hilfen.

Literatur

- DE BAKKER, H. (1965): Tonverlagerung in Flußablagerungen verschiedener Art.- Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 4, S. 123-128.
- BRUNNACKER, K. (1978): Der Niederrhein im Holozän.- Fortschr Geol. Rheinld. u. Westf., 28, S. 399-440.
- HOFFMANN, R. und BLUME, H. P. (1977): Holozäne Tonverlagerung als profilprägender Prozeß lehmiger Landböden norddeutscher Jungmoränenlandschaften ?- Catena, 4, S. 359-368.
- WILKE, B. M. (1975): Bodenchronosequenzen aus Lockersedimenten der Lechterrassen.- Z. Pflanzenern. Bodenkdl., 138, S. 153-171.
- ZAKOSEK, H. (1962): Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal.- Abh. Hess. L. Amt Bodenforsch., 37, S. 1-46.
- SCHALICH, J. (1965): Bodenbildung und Sedimentation im Rur- und Indetal.- Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Gesellsch., 4, S. 119-122.
- ZECH, N. und WILKE, B. M. (1977): Vorläufige Ergebnisse einer Bodenchronosequenzstudie im Zillertal.- Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Gesell., 25, S. 571-586.

Tab. 1 Alterstellung der Böden (BRUNNACKER 1978)

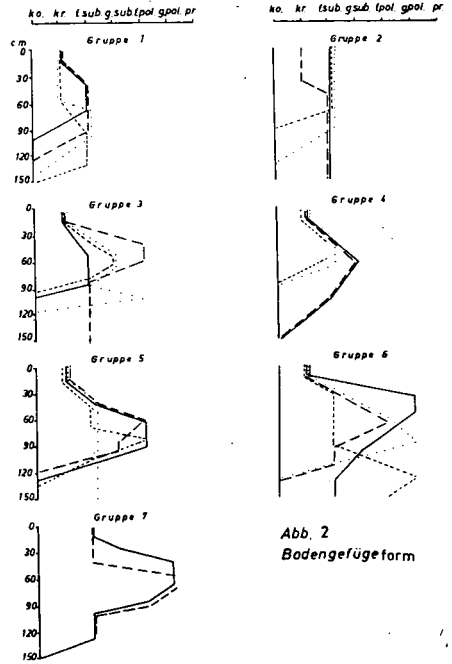
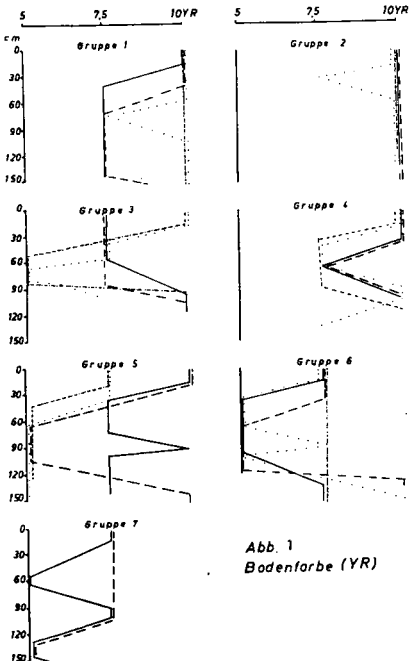
Gruppe	Profil-Nr.	Alter (Jahre)	Formation	Bodentyp
1	6	500	Jüngsthol.	Br. Auenböden verb. Pararendzina
	14			
2	16	2.000	Junghol.	verbr. Pararendzina verbr. Pararendzina
	10			
3	13	4.000	Mittelhol.	schw. entw. Braunerde Braunerde
	5			
4	12	6.000	Althol.	Braunerde Braunerde
	8			
5	11	8.000	Althol.	Br./Parabr. Br./Parabr.
	9			
6	4	10.000	jüng. NT	Br./Parabr. Parabr.
	7			
7	1	12.000	ält. NT	Parabr.

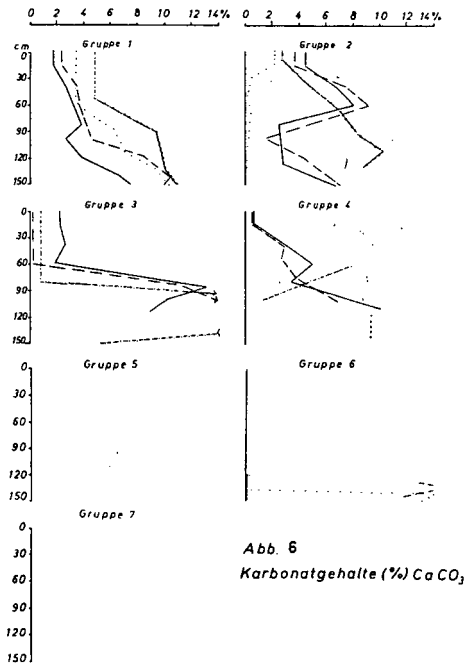
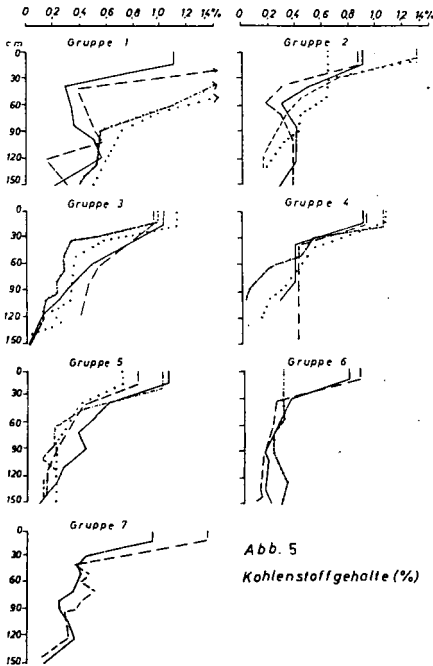
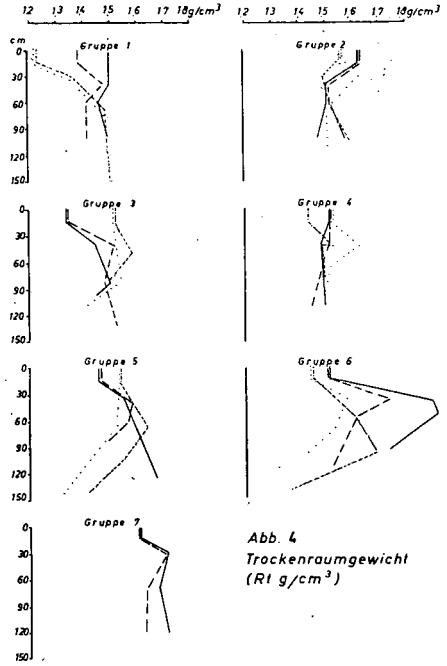
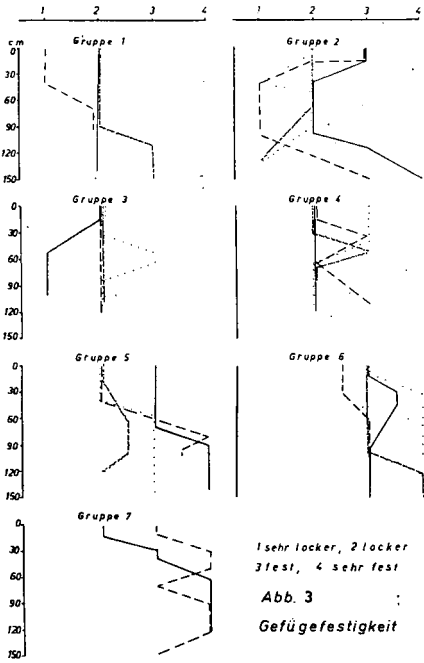


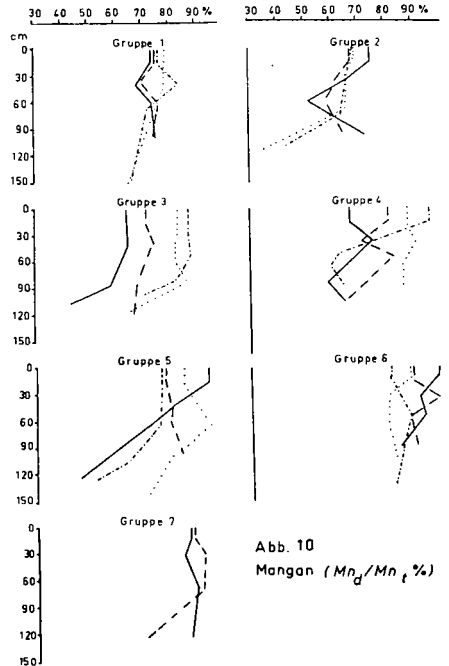
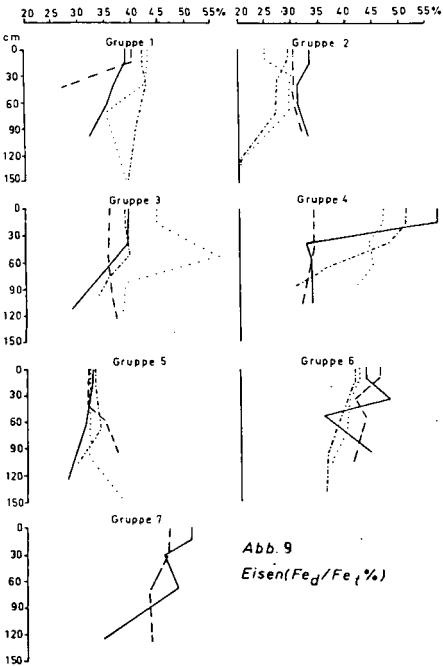
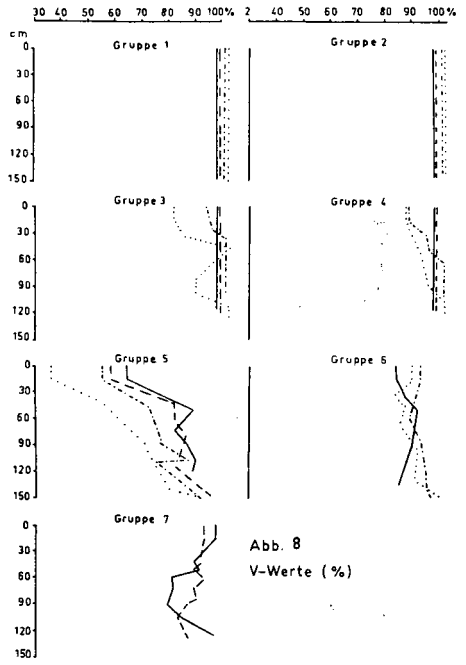
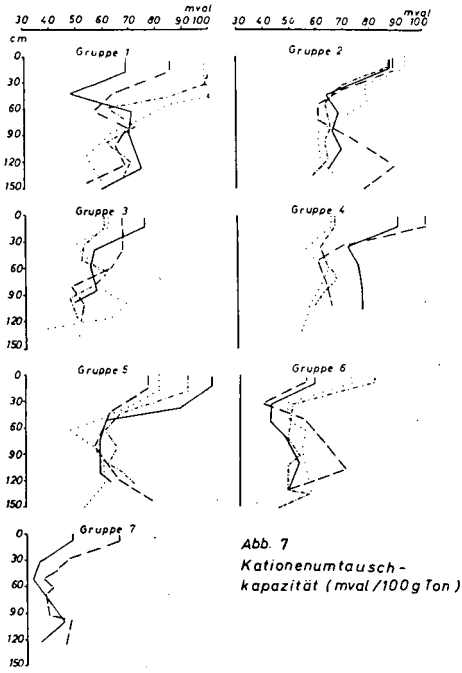
Darstellung 1
Untersuchungsgebiet mit
Lokalität und Nummern
der untersuchten Profile

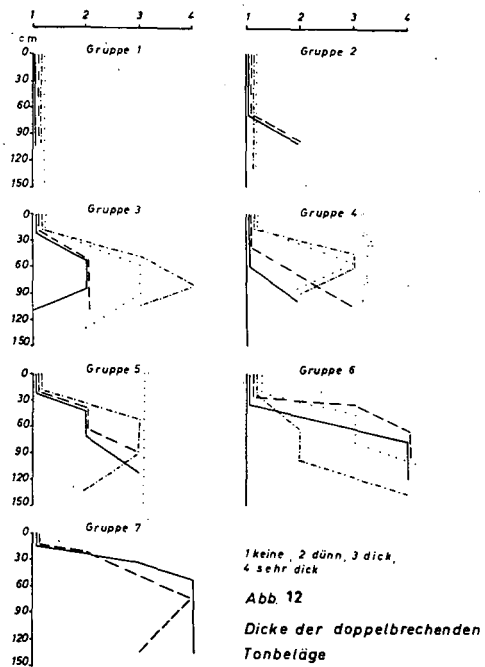
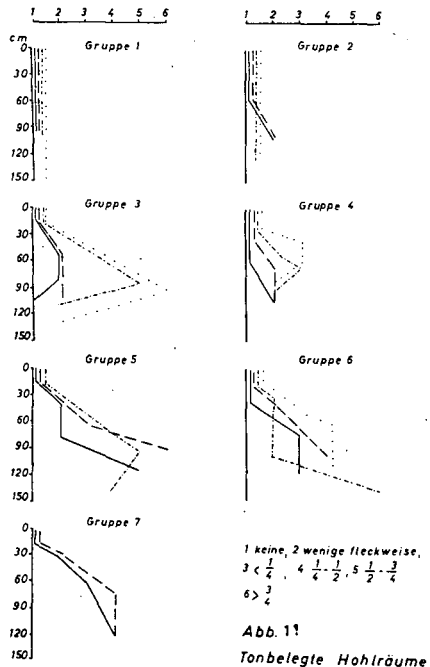
Tab. 2 Korrelationsmatrix für die Gesamtheit der Horizonte (n = 104)

Farbe YR	Gefügest.	Rt	CaCO ₃	Mg _t	T-Wert 100 g Ton	V-Wert	K fix. naß	Tonbeläge	Kohlenstoff	Fe _d /Fe _t	Mn _d /Mn _t	Alter
Farbe YR	-0,60	-0,31	-0,45	0,38	0,47	0,35	-0,06	-0,70	0,34	-0,41	-0,35	-0,61
Gefügest.		0,40	-0,41	-0,28	-0,37	-0,34	-0,18	0,54	-0,18	0,29	0,41	0,69
Rt			-0,19	-0,27	-0,48	-0,17	-0,09	0,16	-0,44	0,10	0,27	0,47
CaCO ₃				0,52	-0,10	0,39	0,41	-0,24	-0,19	0,27	-0,51	-0,42
Mg _t					0,22	0,49	0,08	-0,12	0,18	-0,26	-0,40	-0,56
T - Wert 100 g Ton						0,01	-0,16	-0,41	0,63	-0,16	-0,14	-0,46
V-Wert							0,31	-0,21	0,07	0,01	-0,34	-0,51
K fix. naß								0,16	-0,45	-0,45	-0,50	-0,19
Tonbeläge									-0,37	-0,02	0,11	0,46
Kohlenstoff										0,25	0,15	-0,30
Fe _d /Fe _t											0,59	0,31
Mn _d /Mn _t												0,51
Alter												









Terrae calcis der Slowakei - klimatomorphe oder
lithomorphe Böden ?

von

Bronger, A.⁺ und Kalk, E.⁺⁺

Über die Bildungsbedingungen von Terrae fuscae und (besonders) Terrae rossae gibt es bis heute divergierende Auffassungen. Der Lösungs- oder Rückstandstheorie steht u.a. die weitverbreitete Auffassung gegenüber, daß insbesondere die Terra rossa sich vor allem oder ausschließlich in warmen Klimaten bildet. Fossile Terrae rossae wurden deshalb häufig als Zeugen für mindestens subtropisches Klima angesehen. - Gründe für diese divergierenden Auffassungen sind auch darin zu sehen, daß der bodenbildende Faktor Ausgangsgestein nicht immer ausreichend berücksichtigt, oft überhaupt nicht mituntersucht wurde. Oft liegen nur chemische Bauschanalysen vor, mineralogische Bilanz-Analysen sind äußerst selten (zusammenfassend s. BRONGER 1976 b).

Neben mikromorphologischen Studien wurde der Primärmineralbestand ($> 2 \mu\text{m}$) mineraloptisch und röntgenographisch, die Ton-teilfraktionen ($2-0,2 \mu\text{m}$ und $< 0,2 \mu\text{m}$) röntgenographisch von sieben Terrae rossae pliozänen bis altpleistozänen Alters sowie von drei Terrae fuscae alt- bis mittelpleistozänen Alters mit jeweiligem Kalksteinlösungsrückstand (KLR) von Kalken bzw. Travertinen mit sehr hohem Carbonatgehalt (> 90 bis $> 95 \%$) untersucht. Ziel war es, zu angenäherten Mineral-Verwitterungsbilanzen zu kommen, die Antworten auf die eingangs gestellte Frage geben können. Die Untersuchungsergebnisse⁽¹⁾ lassen sich wie folgt zusammenfassen:

-
- (1) Die sehr zeitaufwendigen Untersuchungen wurden dankenswerterweise von der DFG durch Personal-, Reise- und Sachmittel (Br 303/9+11) unterstützt.
- + Geographisches Institut der Universität Kiel, 2300 Kiel, Olshausenstr. 40-60.
 - ++ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, 2300 Kiel, Olshausenstr. 40-60.

1. Von den zehn Terrae calcis erwiesen sich beim quantitativen Vergleich des Bestandes an Primär ($> 2 \mu\text{m}$)- und Tonmineralen (bei letzteren war nur eine relativ-quantitative Abschätzung möglich; zur Methode s. BRONGER, KALK u. SCHROEDER 1976) mit dem jeweiligen KLR die beiden Terrae fuscae von Ludrova (s. Fig. 4 S-Y) als ursprünglich petrographisch inhomogen: der Tongehalt des jeweiligen KLR (Fig. 4 W bzw. Y) ist deutlich höher als der der zugehörnden Terrae fuscae (Fig. 4 V bzw. X). Im oberen Teil des einen Profils (vgl. Fig. 4 U, T, S) ist eine allochthone, schluffreiche (wahrscheinlich Löß-)Komponente beigemischt. - Bei den übrigen Terrae calcis-Profilen darf von einer ursprünglich weitgehenden petrographischen Homogenität ausgegangen werden. Der KLR der beiden Terrae rossae des unteren Profils im "Zlaty Onyx" bei Levice (vgl. Fig. 3 N bzw. P) weist jedoch einen jeweils deutlich höheren Montmorillonitgehalt - insgesamt aber stets $\leq 15 \%$ - als der zugehörnde Kalkstein-Rotlehm (vgl. Fig. 3 M bzw. O) auf. Ob die Montmorillonite zu dem in den Terrae rossae erhöhten Kaolinitgehalt beigetragen haben (vgl. zusammenfassend z.B. LOUGHNAN 1969, S. 58), oder ob hier eine (im Ganzen geringe) petrographische Inhomogenität vorliegt, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. - Jedenfalls widerlegen die in Fig. 1-3 zusammengefaßten Ergebnisse die Auffassung von BORZA et al. (1969), die "Roterden" auf den mesozoischen Kalken bzw. Travertinen seien allochthone Bodensedimente, ursprünglich entstanden aus jungtertiären Eruptivgesteinen.

2. Beim Vergleich der sieben Terrae rossae und der Terra fusca mit ihrem jeweiligen KLR (vgl. Fig. 1-3) ergeben sich hinsichtlich unserer Fragestellung wesentliche Unterschiede:

- a) Beim Vergleich insbesondere der Kalkstein-Rotlehme von Dreveník (Fig. 1 A u. B), Ivanovce (Fig. 2 E u. F) und im oberen Aufschluß ("Vo Viniciach") von Levice (Fig. 3 Q u. R) und bedingt auch in den beiden Terrae rossae des unteren Aufschlusses von Levice (Fig. M - P, vgl. Punkt 1) hat sich der Mineral- und Tonmineralbestand im Vergleich zum KLR qualitativ wie (mindestens in den drei erstgenannten) quantitativ nicht oder wenig verändert. Diese Böden müssen als lithomorphe Böden (i.S. SCHROEDERs 1978) angesprochen werden.
- b) Bei der Terra rossa von Ratnovce (Fig. 2 G u. H) ist der Tongehalt zwar mit 87 % sehr hoch, der KLR des Ausgangsmaterials

(pliozäner Travertin) besteht aber bereits zu gut 75 % aus Tonmineralen. Auf Kosten der Feldspäte (gewichtsmäßig geringe Anteile) und des größten Teiles der Phyllosilikate fand eine Bildung von Illiten und eine Neubildung von Kaoliniten statt. Jedoch ist die Tonbildung im Vergleich zu interglazialen Paläoböden aus Löß (BRONGER 1976 a; BRONGER, KALK u. SCHROEDER 1976) im benachbarten Karpatenbecken recht gering; der größte Teil der Tonminerale in dieser Terra rossa muß ebenfalls als *v e r e r b t* angesehen werden.

c) In Koliňany Málok (Fig.2K u. L) ist umgekehrt im KLR der Anteil an Primärmineralen $> 2 \mu\text{m}$ mit 78 % recht hoch. In der Terra rossa hat sich der Tonanteil reichlich verdoppelt (von 22 auf 47 %). Wenn auch die Tonbildungsrate eher noch unter der eines mittelpleistozänen rubefizierten erdigen Braunlehms aus Löß liegt (Lit.s.o.), so hat die Verwitterung des größten Teiles der Feldspäte und Phyllosilikate neben der Bildung von Illiten (und Chloriten) - im Vergleich zu interglazialen rubefizierten erdigen Braunlehmen aus Löß - offenbar auch zu einer nicht unbedeutenden Neubildung von Kaoliniten geführt.

d) In der Terra fusca von Hradiště pod Vrátnom (Fig. 1 C u. D) aus alt- bis mittelpleistozänem Interglazialtravertin ist die Mineralverwitterung und Tonmineralbildung gering, obwohl der KLR hier eine höhere Grob- und Mittelschluff- (wahrscheinlich Löß-) Komponente enthält.

Nur klimatomorphe Böden lassen sich paläoklimatisch auswerten; die Beispiele zeigen aber, daß man hierfür in jedem Einzelfall den Mineral- und Tonmineralbestand eines Kalkstein-Rotlehms *u n d* seines zugehörigen KLR untersuchen muß.

Durchgeführte Untersuchungen der pedogenen Fe-Oxide (Fe_d -, im Vergleich zu Fe_o - und Fe_t -Werten) der Feinton-, Grobton- und Schluff-Fraktion der genannten Terrae calcis ergaben trotz der o.g. Unterschiede im Ausmaß der Mineralverwitterung und Tonmineralbildung so gut wie keine entsprechenden Hinweise - ähnlich wie bei fossilen Lößböden (vgl. BRONGER 1974).

Die für die Rubefizierung in Betracht kommenden Hämatite wie auch die Goethite erwiesen sich in den Terrae calcis und den zugehörigen KLR als röntgenamorph. Erste Ergebnisse von mößbauerspek-

trooskopischen Untersuchungen⁽²⁾ an der Terra rossa von Koliňany Málók (Fig. 5) und der Terra fusca von Hradiště p.V. (Fig. 6) erlauben einmal den Schluß, daß sich in der Terra rossa Hämatit gebildet hat: das Hämatit/Goethit-Verhältnis - abgeschätzt aus den Flächen über den Resonanzlinien - hat sich auf etwa 55:45 gegenüber etwa 30:70 im zugehörigen KLR erhöht. Dagegen ist in der Terra fusca (Fig. 6) ausschließlich Goethit gebildet worden. Aufgrund der Abnahme des jeweiligen Flächenanteils des (magnetischen) Sextetts im Vergleich zum (paramagnetisch) Dublett der Terra fusca zum KLR darf gefolgert werden (vgl. u.a. GANGAS et al. 1973), daß in der Terra fusca die (superparamagnetischen) Goethite kleiner sind (zum großen Teil < 100 Å) als im KLR; diese Abnahme der Teilchengröße der Fe-Oxide ist in der Terra rossa (Fig. 5) weniger ausgeprägt.

L i t e r a t u r

- BORZA, K., ČINCÚRA, J. u. MARTINY, E. (1969): Herkunft der Roterden in der südwestlichen Slowakei. - Geol. Zbornik - Geologica Carpathica 20, 2: 351-359, Bratislava.
- BRONGER, A. (1974): Zur postpedogenen Veränderung bodenchemischer Kenndaten insbesondere von pedogenen Eisenoxiden in fossilen Lössböden. - Transact. X. Internat. Congress of Soil Science VI(II): 429-441, Moskau.
- BRONGER, A. (1976): Zur quartären Klima- und Landschaftsentwicklung des Karpatenbeckens auf (paläo)pedologischer und bodengeographischer Grundlage. - Kieler Geogr. Schriften 45, 269 S., Kiel (1976 a).
- BRONGER, A. (1976): Kalksteinverwitterungslehme als Klimazeugen? - Z. Geomorph. N.F., Supl.-Bd. 24: 138-148, Stuttgart (1976 b).

(2) Die bisherigen Untersuchungen wurden im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem Institut für Anorganische und Analytische Chemie (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Gütllich) und dankenswerter Unterstützung der DFG (Br 303/15) von Herrn Dr. J. Ensling durchgeführt. Die nähere Auswertung dieser wie der (inzwischen fast fertiggestellten) Mößbauer-Spektren an den übrigen hier untersuchten Terra calcis mit jeweiligem KLR wird von Dr. Ensling; und weiteren Kollegen aus der Arbeitsgruppe von Prof. Gütllich vorgenommen. Darüber wird gemeinsam an anderer Stelle berichtet.

- BRONGER, A., KALK, E. u. SCHROEDER, D. (1976): Über Glimmer- und Feldspatverwitterung sowie Entstehung und Umwandlung von Tonmineralen in rezenten und fossilen Lössböden. - Geoderma 16: 21-54.
- GANGAS, N.H., SIMOPOULOS, A., KOSTIKAS, A., YASSOGLU, N.J. and FILIPPAKIS, S. (1973): Mössbauer Studies of small Particles of Iron Oxides in Soil. - Clays and Clay Minerals 21: 151-160.
- SCHROEDER, D. (1978): Bodenkunde in Stichworten. - Kiel.
- SMOLÍKOVÁ, L. (1963): Stratigraphische Bedeutung der Terrae calcis-Böden.- Anthropozoikum, rada A, sv. 1: 101-126, Prag.
- SMOLÍKOVÁ, L. & LOŽEK, V. (1962): Zur Altersfrage der mitteleuropäischen Terrae calcis. - Eiszeitalter u. Gegenwart 13: 157-177.

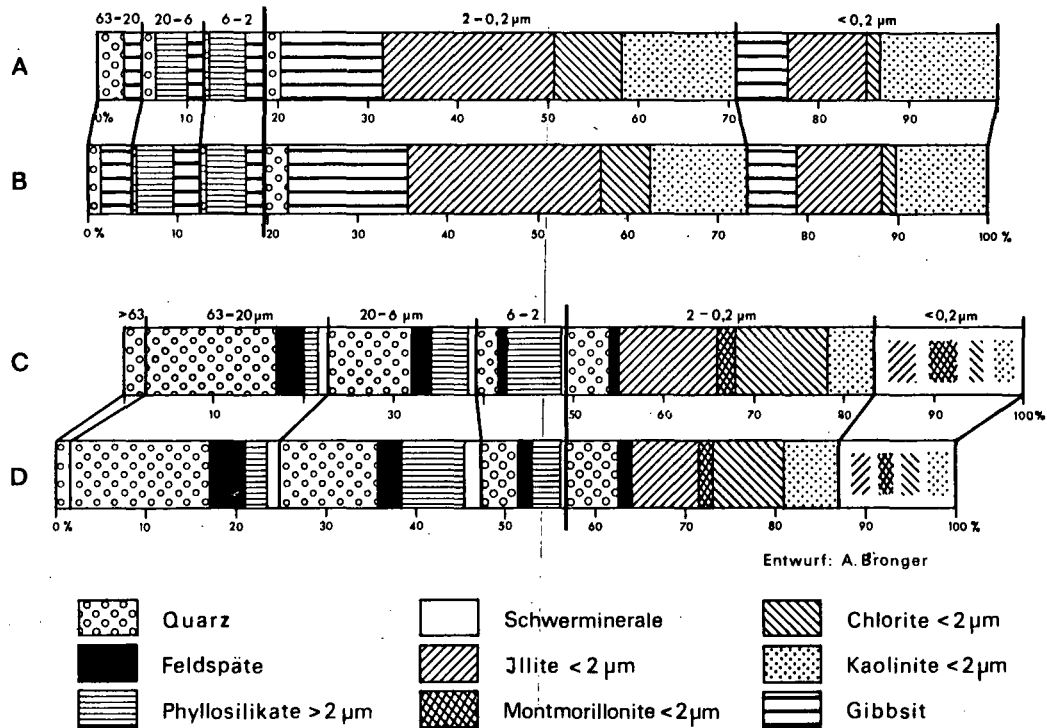
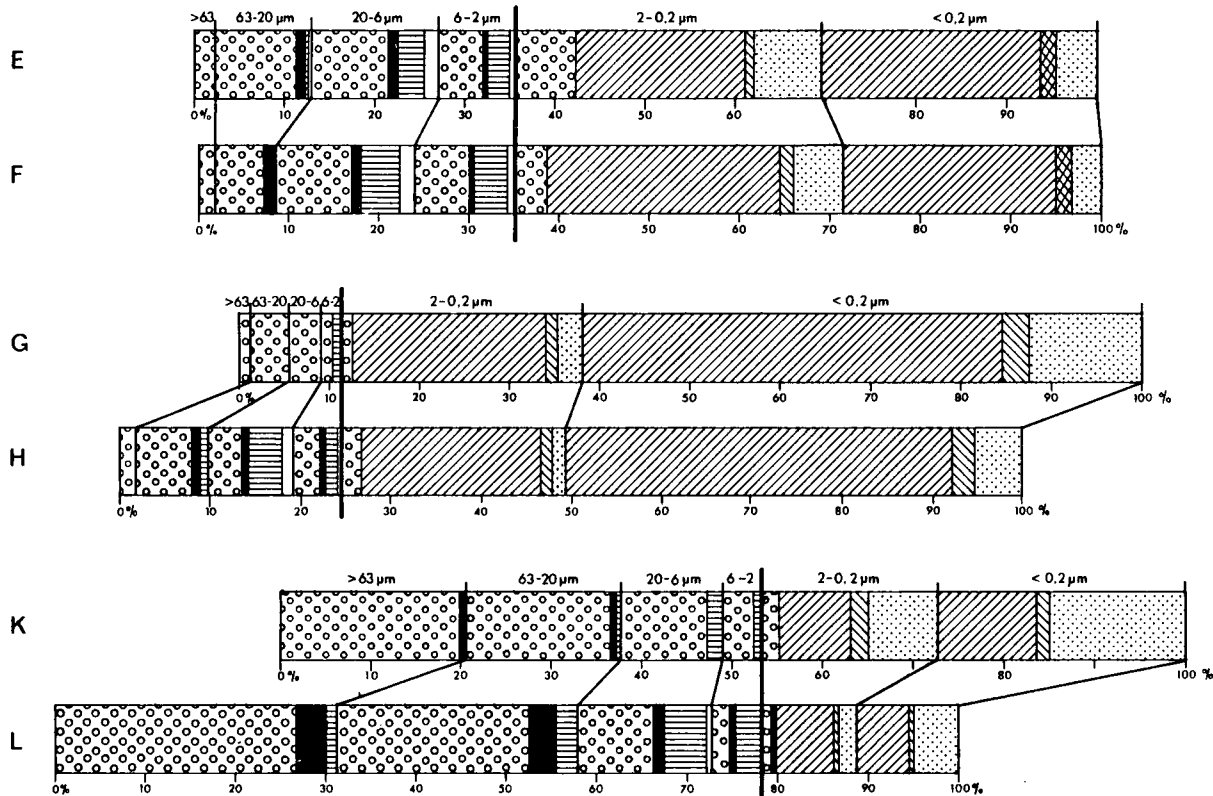
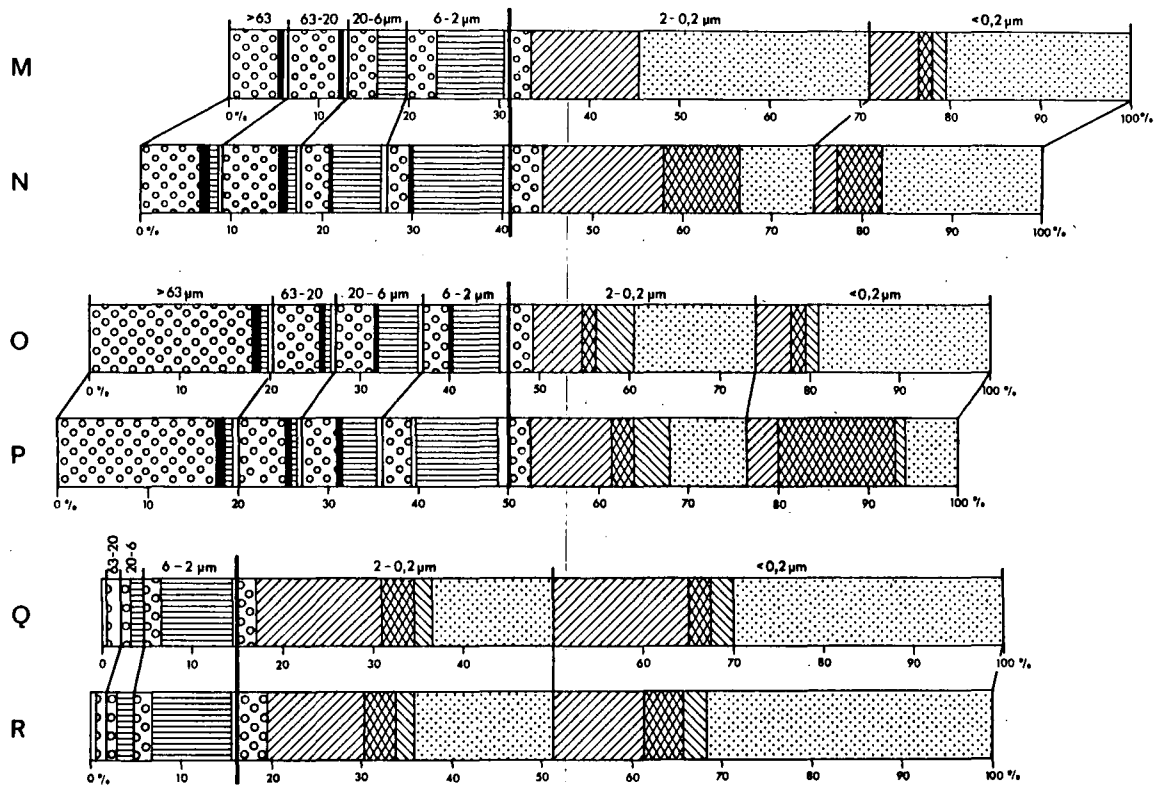


Fig. 1. Mineralzusammensetzung einer Terra rossa (A) aus pliozänem Travertin (B) von Drevenik und einer Terra fusca (C) aus alt- bis mittelpleistozänem Interglazialtravertin (D) von Hradiště pod Vrátnom.



Entwurf: A. Bronger

Fig. 2. Mineralzusammensetzung einer endtertiären bis altpleistozänen Terra rossa (E) aus Triaskalk (F) von Ivanovce, einer Terra rossa (G) aus pliozänem Travertin (H) von Ratnovce und einer altpleistozänen Terra rossa (K) aus Triaskalk (L) von Koliňany Málak.



Entwurf: A. Bronger

Fig. 3. Mineralzusammensetzung zweier Terrae rossae (M, O) im unteren und einer Terra rossa (Q) im oberen Aufschnitt ("Vo Viniciach") jeweils aus pliozänem Travertin (N, P bzw. R, "Zlaty Onyx") bei Levice.

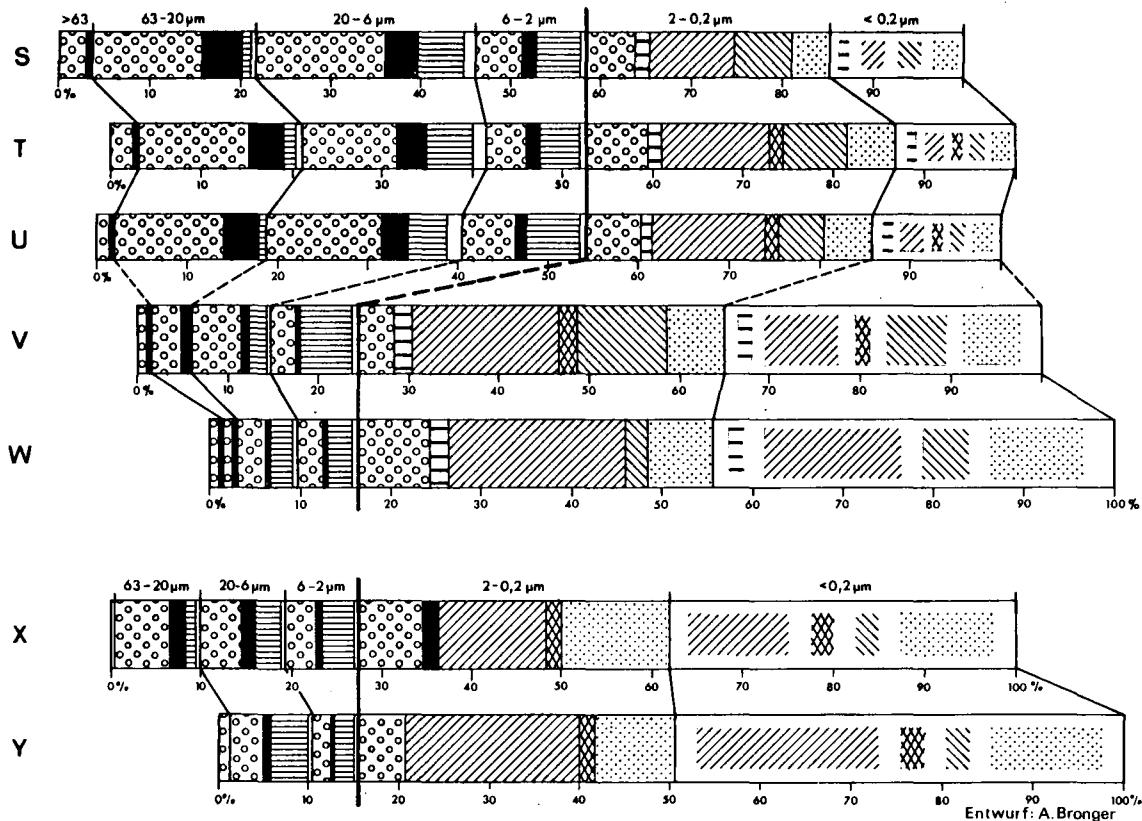


Fig. 4. Mineralzusammensetzung einer Braunerde - Terra fusca (S, T, U) und zweier Terrae fuscae (V bzw. X) jeweils aus mittelpleistozänem (Cromer ? - und Holstein-) Interglazialtravertin (W bzw. Y) von Ludrová.

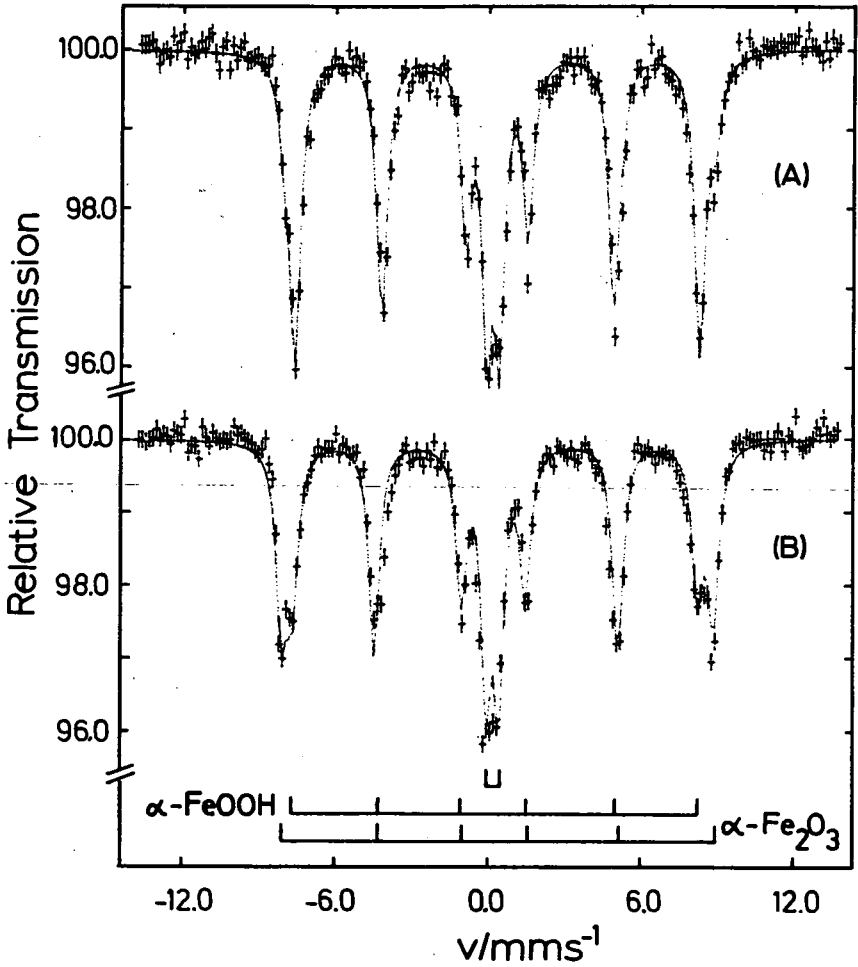


Fig. 5. Mössbauer - Spektren ($T = 5\text{ K}$) der altpleistozänen Terra rossa (B) aus Triaskalk (A) von Koliňany Mállok (vgl. Fig. 2. K und L).

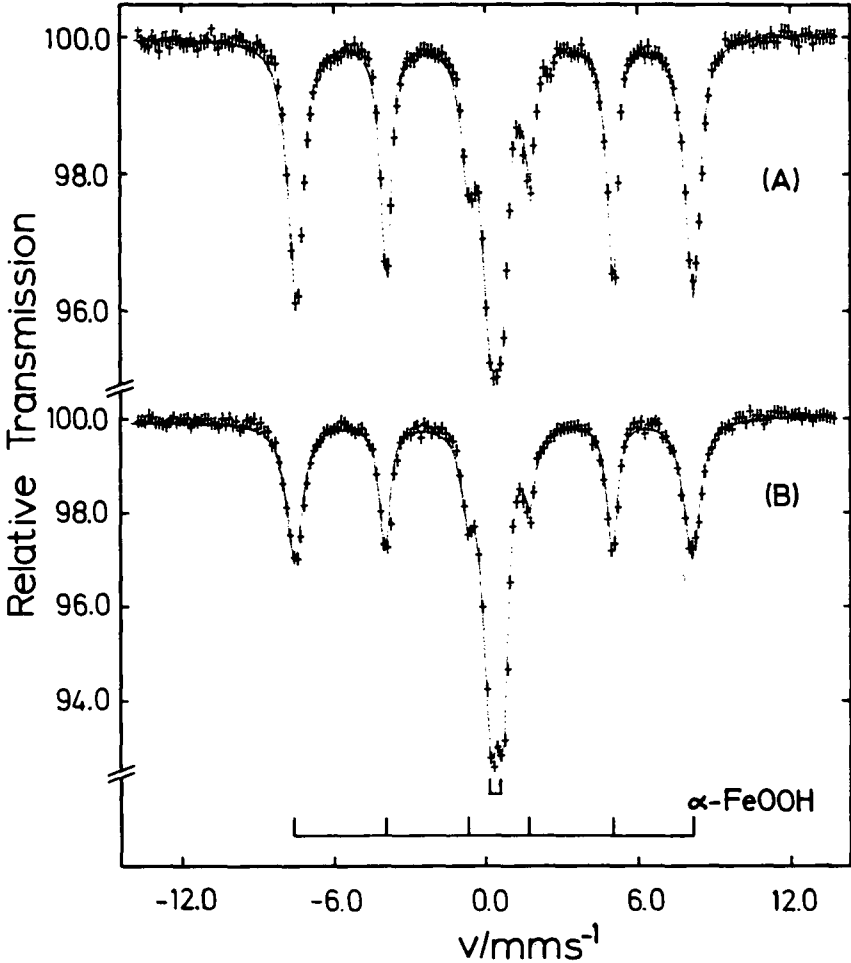


Fig. 6. Mössbauer-Spektren ($T = 5 \text{ K}$) der Terra fusca (B) aus alt- bis mittelpleistozänem Interglazialtravertin (A) von Hradiště pod Vrátnom (vgl. Fig. 1 C und D).

ISSN - 0343 - 107X

Die Entcarbonatierungsrötung als bodengene-
tischer Teilprozeß

von

B. Meyer⁺

Zum Begriff

Die Rotfärbung von verwitterndem Gesteinsmaterial bei der Bodenbildung, das heißt die Herausbildung eines "Hue" von 2.5 YR oder röter nach der MUNSELL-Farbtafel, ist, nachdem inzwischen viele durch Anreicherungs-Röntgenbeugungsanalyse und Mößbauer-Spektrographie gewonnene Bestätigungen vorliegen, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Abscheidung von Hämatit auf den Oberflächen silikatischer Minerale aller Korngrößen zurückzuführen.

Obwohl vieles dafür spricht, daß der Weg der Hämatitbildung im Zuge der Bodengenese generell über die Auflösung eisenreicher Fe-Minerale (Carbonate, Silikate, Sulfate etc.) mit hoher Löslichkeit und Lösungsgeschwindigkeit, über die Fällung von Ferrihydrit und dann Umwandlung — möglichst in Abwesenheit von organischen Lösungsgeossen — erfolgt, mögen die Wege bei der Eisenlösung und -präzipitation je nach Bodentyp und pedogenetischer Faktorenkonstellation unterschiedlich sein.

Der Prozeß "Rubeszenz" — dieser Begriff erscheint mir ethymologisch richtiger als "Rubefikation" oder "Rubefizierung" — ist daher ein polygenetischer und vielgestaltiger Prozeß. Dessen weitere Erforschung (siehe "Memorandum Bodenkunde"!) ist umso dringender, als die Bodengeographie heute immer noch in unzulässiger Weise dazu neigt, die Rotfärbung undifferenziert als ein generelles warmklimatisches oder — in weiterer Abstraktion — als paläogenetisches Indiz für den betreffenden Boden zu bewerten.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf denjenigen Prozeß der Rubeszenz, der bei der pedogenetischen Auflösung von Carbonatgestein ("Entcarbonatierung") auftritt, das Fe in carbonatischer Bindung (z.B. Ferrodolomit, Ankerit, Siderit) enthält. Dabei wird ohne besondere Hervorhebung derjenige Rötungsprozeß mit eingeschlossen, der bei der Auflösung bestimmter FeS- und FeSO₄-haltiger Gipsgesteine am Harzrand auftritt.

Beobachtungen zum Prozeß

Die Ent- oder Decarbonatierungs-Rubeszenz tritt bei der Lösungsverwitterung von carbonatischem Gestein (Kalkstein, kalkhaltige äolische Sande, Kalksandstein, Carbonatschotter) im "statu solvendi", d.h. während der An- und Auflösung der carbonatischen Komponente ein. Das aus carbonatischer Bindung stammende Fe-hydrogencarbonat wird nach mehr oder weniger langer Diffusionsstrecke im porösen durchlüfteten Kalkgesteinsverband oder im Carbonatsand als Hämatit-

⁺ Institut für Bodenkunde, von-Siebold-Str. 4, D-3400 Göttingen

abgeschieden — z.T. auf Calcitoberflächen, zumeist aber auf den ebenfalls bei der Kalkauflösung freigelegten nichtcarbonatischen Mineralkörnern — im Falle von Carbonatsanden und Mergeln auf den bereits frei vorliegenden Sand-, Schluff- und Tonteilchen, die dabei ihre rote Farbe erhalten (vgl. KING.etal., KRUSE.etal.). — Wird der Hämatit auf Calcitoberflächen abgeschieden, so kann er später nach dessen Auflösung als feindisperser Körper mit dem Sickerwasser verfrachtet werden. Ich fand in türkischen Tropfsteinhöhlen der mediterranen Terra rossa — Karstgebiete analytisch, daß die rötliche Farbe von Tropfsteinen durch fein verteilten Hämatit verursacht wird, der im ursprünglichen Kalkstein nicht enthalten ist — im Gegensatz zu dem im Tropfstein wie im Kalk enthaltenen Ton, wie z.B. Palygorskit.

Decarbonatierungs-rötung erfolgt dort, wo Carbonatauflösung stattfindet, d.h. in Oberflächennähe wie in vielen Metern Tiefe. In Karstgebieten kann das dazu führen, daß mit langsamer Aufzehrung eines Kalkgebirges eines Tages rotes Verwitterungsmaterial oberflächlich exponiert wird, das früher in größerer Tiefe gebildet worden war und sich nun mit rezenter oberflächlich gebildetem gerötetem Lösungsrückstand mischt. Dieses Phänomen hat bislang häufig eine sichere zeitliche Einordnung von Böden mit Decarbonatierungs-Rubescenz unmöglich gemacht.

Beobachtungen zur Bildungszeit, Bildungsdauer und zum Bildungsmilieu

Ich habe mich während der letzten 10 Jahre bemüht, Beispiele stratigraphisch eindeutiger bodenbildender Substrate zusammenzutragen, die Aussagen über die geochronologische Bildungsphase, die Entwicklungsdauer und das klimatische Bildungsmilieu ihrer roten Böden gestatten. Anhand von Bildern aus den Höhenzonen der Anden, aus Zechsteinkalkgebieten und Dolomit-Schotterflächen Mitteleuropas, Karstgebieten im Randbereich des Amazonasbeckens und anderen Gebieten, die hier nicht wiedergegeben werden können, ist der Schluß zu ziehen, daß Decarbonatierungs rubescenz sowohl ein alter, ganz gewiß aber auch ein ganz junger Prozeß sein kann, der im Holozän in fast allen Klimaten möglich ist. Anhand von zwei Beispielen, die sich hier ebenfalls nicht demonstrieren lassen, habe ich versucht zu zeigen, daß dieser bodengenetische Prozeß, der eigentlich nur als ein "attributiver", d.h. ein Prozeß von geringer pedogenetischer Bedeutung bezeichnet werden kann, in erstaunlich kurzer Zeit intensive Rotfärbungen durch Hämatit bewirken kann (Rubescenz der Ruinen von Neapolis, Türkei. — Rötung von Sideritgeoden-Lagen in Ziegeleigruben).

These

Die Entkalkungs-rötung ist kein klima- oder vegetationsanzeigender Prozeß. Sie kann damit -- wenn man einmal von der sie bedingenden Rate der Kalkauflösung absieht -- ohne andere sichere stratigraphische Hinweise nicht als ein Indiz für ein bestimmtes Bildungsmilieu oder eine bestimmte Altersstellung des betreffenden Bodens dienen.

Sie ist vielmehr in erster Linie ein vom Ausgangsgestein her bestimmter attributiver pedogenetischer Teilprozeß, der eher Aussagen über das bodenbildende Gestein zuläßt.

Ein Zugeständnis an die frühere Theorie von der Begünstigung der Rubescenz durch warme und trockene Klimate könnte man eventuell lediglich in der Hinsicht machen, daß die Hämatitbildung in oberflächennahen Bodenhorizonten durch Abwesenheit von Humus als Lösungspartner begünstigt wird, d.h. durch eine geringe Humus-Akkumulation.

Beobachtungen zum Ausgangsgestein der Bodenbildung

Zahlreiche chemische Analysen von Carbonatsteinen verschiedener europäischer Provenienz lassen folgenden Zusammenhang zwischen Gesteinsqualität und Neigung zur Rubeszenz bei der Bodenbildung erkennen:

Ein hoher Gehalt an FeCO_3 — maximal wurden 1,4 % gefunden, was 1% Fe_2O_3 entspricht und bei 4,5 % silikatischem Kalksteinanteil zu einem Eisenoxidgehalt des Lösungsrückstandes des Carbonatgesteins, sprich Boden, von 18% führte — ist der Rubeszenz zwar förderlich, muß aber auf die Menge des nichtcarbonatischen Lösungsrückstandes bezogen werden. Je

Auch die Körnung des nichtcarbonatischen Lösungsrückstandes ist dabei zu berücksichtigen. Je größer diese ist, d.h. je geringer die spezifische Oberfläche des Lösungsrückstandes ist, über die sich der Hämatit zu verteilen hat, desto intensiver ist in der Regel die Rubeszenz. (Problemkreis: Gegensatz Kalksteinroterde (Terra rossa) ↔ Kalksteinrotlehm).

Als weiterer Faktor für den Prozeß der Rubeszenz tritt die Eigenfarbe des nichtcarbonatischen Lösungsrückstandes hinzu. In Carbonatsteinen ohne Eisencarbonat hat der im Boden angereicherte tonig-schluffige Lösungsrückstand meist diejenige Farbe, die er auch bei der Gewinnung durch Auflösung im Labor aufweist. Meist beruht diese auf dem Goethit, der die Tonteilchen umhüllt und ihnen eine braune Farbe verleiht. Kommt es bei der natürlichen Auflösung FeCO_3 -haltigem Carbonatgestein zur Rubeszenz, so entstehen braunrote Mischfarben — siehe den Begriff "terra fusca" in seiner ursprünglichen Bedeutung!

Ich habe in meinem Vortrag anhand von Farbdias verschiedene Farbfolgen von stärker entwickelten Böden und Horizonten aus Kalkstein demonstriert: Das Braun des Kalkstein-Braunlehms z.B. aus göttinger oberem Muschelkalk, das Rot des Kalkstein-Rotlehms aus Zechstein-Plattendolomit oder Gips im südniedersächsisch-nordhessischen Bergland und die fuchsbraune Mischfarbe des Kalkstein-Rotbraunlehms aus gemischten Kalkstein-Dolomitstein-Schottern. In diesem Zusammenhang schien mir eine kritische Betrachtung zur Definition und Verwendung der Begriffe "Terra fusca" und "Terra rossa" am Platze.

Entscheidend für das Zustandekommen der Rubeszenz ist darüber hinaus aber die Porosität des verwitternden Carbonatgesteinskörpers. Einer unserer Ankerit sehr reichen Kalkmergel, der Gelbkalk im unteren Muschelkalk zeigt allen Beobachtungen zufolge nur deswegen bei der Bodenentwicklung keine Rubeszenz, weil er bei der Verwitterung leicht mazeriert und breiig zerfließt. Ich nenne diese Form der Lösungsverwitterung von Carbonatgestein, bei der zwar die Calcite voneinander getrennt werden, aber in einem wenn auch lockeren, so doch sehr dichten Verband liegen bleiben, "Mazerationsverwitterung". Sie ist typisch für viele plattige Kalke mit einer periglazialen lehmig-kiesigen Frostschuttdecke.

Für die Rubeszenz ist dagegen offensichtlich eine kavernöse Verwitterung des Kalksteins oder das an Luftporen reiche Gefüge eines Dolomitschotter- oder -Sandkörpers eine weitere Voraussetzung. Eine tiefreichende Durchlüftung des Gesteins bis an die mikroskopischen Kompartimente der Carbonatauflösung durch CO_2 scheint die Bedingung zu sein. Möglicherweise besteht hier ein Zusammenhang mit den CO_2 -Partialdrücken der Bodenatmosphäre, die dadurch niedrig gehalten werden.

Zur Karstverwitterung neigende dolomitische Bank- oder Rifffalke neigen daher eher zur Rubeszenz als plattige Carbonatgesteine mit frontal nach unten voranschreitender Lösungsverwitterung mehr oder weniger homogener Frostschutt-Auflagen.

Für die bodengenetisch-analytische Charakterisierung von Carbonatgesteinen und Carbonatgesteinsböden empfiehlt sich nach dem Gesagten, zumindest für die Charakterisierung von Gestein und Gesteinsbrocken neben der üblichen Bestimmung von CaCO_3 und MgCO_3 sowie dem Lösungsrückstand auch den Anteil an FeCO_3 zu erfassen (bei Gipsen FeS bzw. FeSO_4). Porositätsparameter oder andere Meßgrößen, die das strukturelle Lösungsverhalten zu charakterisieren vermögen, können darüber hinaus hilfreich sein.

Literatur

Kruse, W., u. B. Meyer, 1970: Untersuchungen zum Prozeß der Rubefizierung (Entkalkungsrötung) mediterraner Böden am Beispiel kalkhaltiger marokkanischer Küsten-Dünen.-Göttinger Bodenkundl. Ber. 13, 77-140 (1970)

Gebhardt, H., M. T. King u. B. Meyer, 1969: Mineralogisch-chemische Untersuchungen zum Prozeß der Rubefizierung in Kalkstein-Rotlehm und fossilem Laterit in Nordhessen.-Göttinger Bodenkundl. Ber. 9, 65-129 (1969)

Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (Hrsgb.): Memorandum Bodenkunde, Selbstverl., Göttingen, 44 S. (S. 19)

Analytische Kennzeichnung der Terra preta do indio

von

W. Zech^{*}, E. Pabst^{**}, G. Bechtold^{**}

1. Einleitung und Fragestellung

Im Amazonasgebiet gibt es kleinflächig (bis zu 1.000 m²) schwarzerdeähnliche Böden inmitten der Oxisollandschaft. Sie heißen Indianerschwarzerde bzw. Terra preta do indio. Typisch für sie ist ein mächtiger humoser Oberboden und Keramikreste, d.h. es handelt sich um anthropogene Böden.

Nach SOMBROEK (1968) sind die Indianerschwarzerden nachhaltig fruchtbar, im Gegensatz zu den Oxisolen; außerdem werden Pflanzen (z. B. Gummibäume) weniger von Schädlingen befallen.

Uns interessieren folgende Fragen:

- 1) Ist Terra preta-Humus im Vergleich zum Oxisolhumus tatsächlich stabiler?
- 2) Welche chemischen Reaktionen bedingen die Stabilität?
- 3) Wie kann man im Gelände und Labor unter kontrollierten Bedingungen stabilen Terra preta-Humus herstellen?

2. Untersuchungsmaterial und Methoden

Untersucht werden Terra preta- und Oxisol-Profile aus Santarem, Brasilien. Herrn Dr. Falesi, Direktor des Departments für Bodenkunde EMBRAPA, Belém, danken wir verbindlichst für die Unterstützung bei den Geländearbeiten.

Soweit nicht speziell angegeben, führten wir die Analysen nach SCHLICHTING und BLUME (1966) durch.

* Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, Postfach 3008, 8580 Bayreuth

** dto.

3. Ergebnisse

Als Test für die Stabilität des Terra preta-Humus bebrüteten wir unter Laborbedingungen (25° C, 60 % WK, A_{11} aus 0 - 5 cm Bodentiefe). Abb. 1 zeigt, daß Oxisolhumus auf C_t bezogen stets rascher abgebaut wird als Terra preta-Humus. Das Verhältnis der Abbaurate beträgt etwa 6/1 und zwar sowohl zu Beginn der Incubation als auch am Ende, nach 23 Tagen.

Die Kohlenstoffgehalte (Tab. 1) beider Profile nehmen von oben nach unten ab (Terra preta: 9,2 - 0,6 %; Oxisol: 3,0 - 0,3 % C_t). Eine vergleichbare Tiefenfunktion zeigt Stickstoff (Terra preta: 6,8 - 0,4 mg/g; Oxisol: 2,7 - 0,4 mg/g N_t). Die C/N-Verhältnisse sind eng (Oxisol 11,3 - 8,0) bzw. relativ eng (Terra preta 13,6 - 17,6). Unter Berücksichtigung der Volumengewichte errechnen sich für den Oxisol beachtlich hohe N-Vorräte von 11.200 kg/ha/1m; für Terra preta sogar 17.500 kg/ha/1m.

Der leicht mineralisierbare Stickstoff nach NOMMIK* (1976) beträgt:

	Oxisol	Terra preta
0 - 6 cm	0,161 ‰	0,086 ‰
6 - 15 cm	0,158 ‰	0,025 ‰
entspr.kg N/ha/15 cm:	290 kg	44 kg

Auch dieses Ergebnis weist auf die höhere Stabilität des Terra preta-Humus hin.

Die in Tab. 2 beschriebenen Humuskennzahlen passen zu den bisherigen Ergebnissen. Danach ist die organische Substanz der Terra preta intensiver humifiziert (Humifizierungszahl 51 %) und reicher an höhermolekularen Säuren ($Q_4/Q_6 = 4,43$) als der Oxisolhumus (Humifizierungszahl 22 %; $Q_4/Q_6 = 4,98$). Der Gehalt an beweglichen Humusstoffen ist in der Terra preta halb so hoch wie im Oxisol (1,2 bzw. 2,5 %).

Die Fraktionierung der organischen Substanz nach ANDERSON (1979) ergibt für die leicht extrahierbare Huminsäurefraktion A höhere C-Werte beim Oxisol (14,4 %) als bei der Terra preta (9,4 % bezogen auf Gesamt-C). Die stabilen Humusfraktionen (Huminsäuren B und Humine) der Terra preta sind im Gegensatz dazu stets C- und N-reicher (bezogen auf das Gesamt C und -N; vgl. Tab. 2 unten).

* Den Herren Rehfuss und Baum vom Lehrstuhl Bodenkunde der LMU München danken wir verbindlichst für den Hinweis auf diese Methode.

Deutliche Unterschiede lassen die pH-Werte erkennen. Nach Tab. 1 bestimmten wir im A_{h1} der Terra preta pH (CaCl_2) 6,3, in der Oxisolprobe 3,7.

Diese Ergebnisse werden beeinflusst von der Kationengarnitur am Austauschkomplex (Tab. 1). Die potentielle KAK des Oxisols beträgt im Oberboden 14,9 mval und nimmt im Unterboden auf 5,9 mval ab. Am Austauschkomplex dominieren Al^{3+} und H^+ ; die Basensättigung liegt unter 6 %.

Im Gegensatz dazu bestimmten wir im Terra preta-Oberboden eine KAK von 44 mval, im Unterboden 9 mval. Im oberen Profilteil dominieren Ca^{2+} am Austauschkomplex (im A_{h1} 38,7 mval). Jedoch nehmen diese Gehalte nach unten stark ab; die Unterschiede zwischen Oxisol und Terra preta verringern sich. Zwischen KAK und C_t findet man eine positive Korrelation (Abb. 2). Die Ausgleichsgerade weist einen stärkeren Anstieg auf als für Urwaldböden typisch. SOMBROEK (1968) interpretiert diesen Befund als Hinweis auf die besondere Qualität des Terra preta-Humus bezüglich der KAK.

Studiert man die Fe-Fractionen (Abb. 3), so zeigen Gesamteisen (= Fe_t) und Dithioniteisen (Fe_d) keine wesentlichen Unterschiede. Das gilt nicht für das oxalatlösliche und pyrogenphosphatlösliche Eisen (Fe_o , Fe_{py}), die in der Terra preta deutlich höhere Gehalte aufweisen als im Oxisol, mit einem Maximum bei 20 - 30 cm Profiltiefe.

Abb. 4 informiert über die P-Fraktionierung. Auffallend sind zum einen die sehr hohen P_t -Gehalte von 1.500 ppm im Terra preta- A_{h1} (Oxisol 220 ppm), zum anderen die prozentuelle Zunahme der $\text{P}_{\text{Al,Fe}}$ -Fraktion: Sie beträgt im Terra preta Oberboden um 50 %, im Latosol-Oberboden dagegen nur etwa die Hälfte (21 - 28 %) von P_t .

Die röntgenographische Überprüfung der Tonfraktion ergab für beide Profile ausschließlich Kaolinit; die optische Untersuchung der Schwerminerale (Fraktion 200 - 100 μm) eine Dominanz von Rutil, Zirkon und Turmalin. Wir vermuten folgenden Stabilisierungsmechanismus (Abb. 5, vereinfacht). Die anthropogen eingebrachte Phosphorsäure (Fäkalien) wird bei tiefem pH über Anionenaustausch an Kaolinit gebunden. Sie reagiert außerdem mit Al- und Fe-Verbindungen, die ihrerseits organische Moleküle binden. Entscheidend ist der gleichzeitige Eintrag von P und organischer Substanz. Unsere Hypothese wird durch Experimente im Labor und Gelände überprüft.

Herrn Forstmeister Gregor, Forstamt Bad Neustadt, danken wir verbindlichst für den Hinweis auf Terra pretas und für die Unterstützung bei der Kontaktaufnahme mit brasilianischen Behörden.

Literatur

ANDERSON, D. W. (1979): Processes of humus formation and transformation in soils of the Canadian Great Plains.

J. Soil Sci. 30, 77-84

NOMMIK, H. (1976): Predicting the Nitrogen-Supplying Power of Acid Soils from Data on the Release of CO₂ and NH₃ on Partial Oxidation.

Commun. in Soil Science and Plant Analysis, 7 (6), 569-584

SCHLICHTING, E. und BLUME, H.-P. (1966): Bodenkundliches Praktikum, Parey Verlag, Hamburg, Berlin.

SOMEROEK, W. G. (1966): Amazon Soils. Centre for Agricultural Publications and Documentation. Wageningen, 1966

Tab. 1: Analysenergebnisse

<u>Terra preta</u> cm	% C _t	% N	C/N	KAK mval/100 g	Ca mval	pH (CaCl ₂)
0 - 3	9,2	6,8	13,5	43,7	38,7	6,3
3 - 12	6,6	4,4	15,0	40,8	31,8	6,3
12 - 20	6,0	3,9	15,4	43,6	19,6	5,6
20 - 30	4,3	2,4	17,9	29,0	10,8	5,4
30 - 50	2,8	1,6	17,5	21,8	4,9	5,1
50 - 70	2,2	1,2	18,3	19,1	2,7	4,7
70 - 95	1,3	0,7	18,6	13,4	1,4	4,5
95 - 120	0,8	0,6	18,6	10,5	1,0	4,6
120 - 150	0,6	0,4	13,3	8,7	0,7	4,7
<u>Oxisol</u>						
0 - 3	3,0	2,7	11,1	14,9	Spuren	3,7
3 - 11	1,5	1,4	10,7	9,3		3,8
11 - 22	1,0	1,0	10,0	8,5		4,0
22 - 35	0,8	0,8	10,0	7,4		4,1
35 - 55	0,6	0,6	10,0	7,2		4,0
55 - 75	0,5	0,6	8,3	7,0		4,2
75 - 100	0,4	0,5	8,0	6,5		4,1
100 - 125	0,4	0,5	8,0	7,0		4,2
125 - 150	0,3	0,4	7,5	5,9		4,2

Abb. 1 CO₂-Mineralisation von Oxisol- und Terra-Preta-Humus

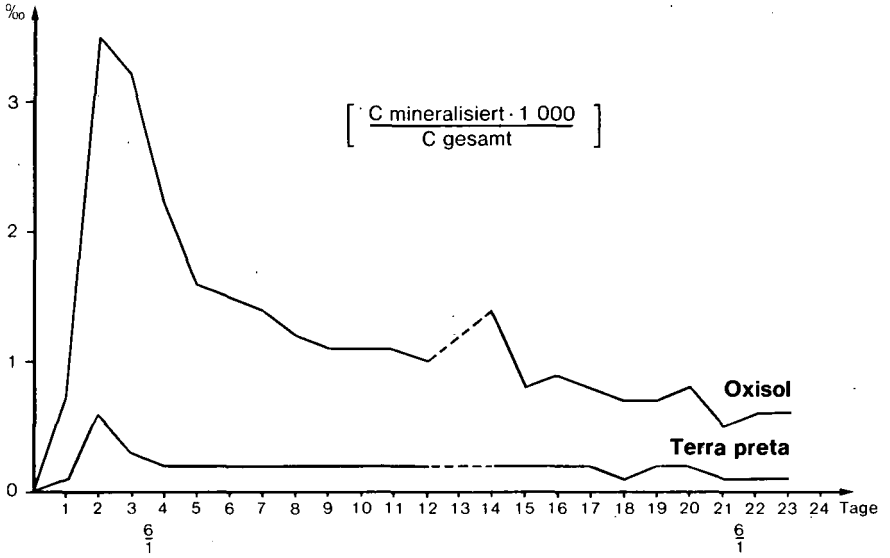


Abb. 2 Beziehung zwischen C_t und KAK

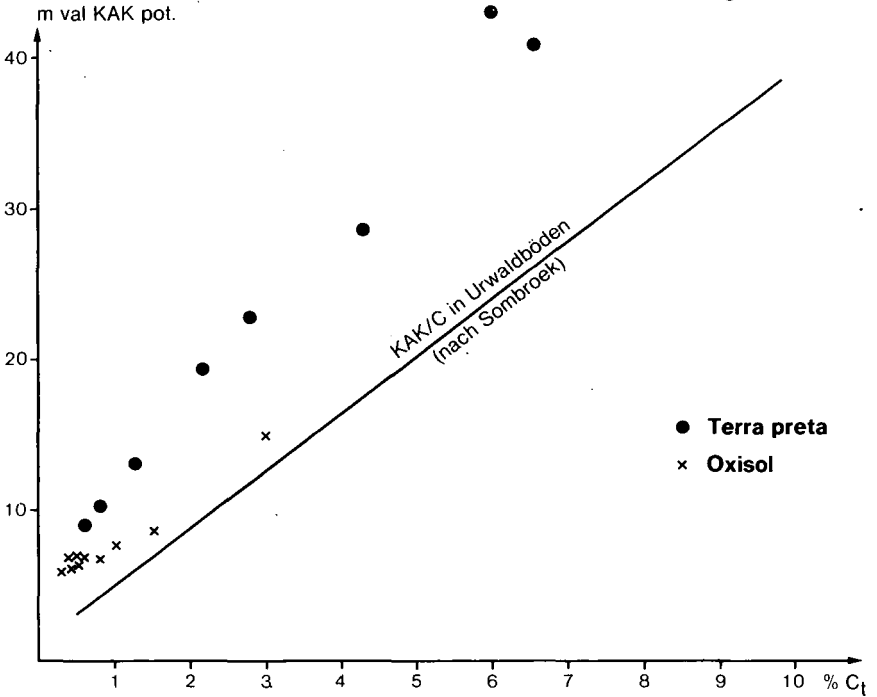


Abb. 3 Fe-Fractionen von Oxisol und Terra preta

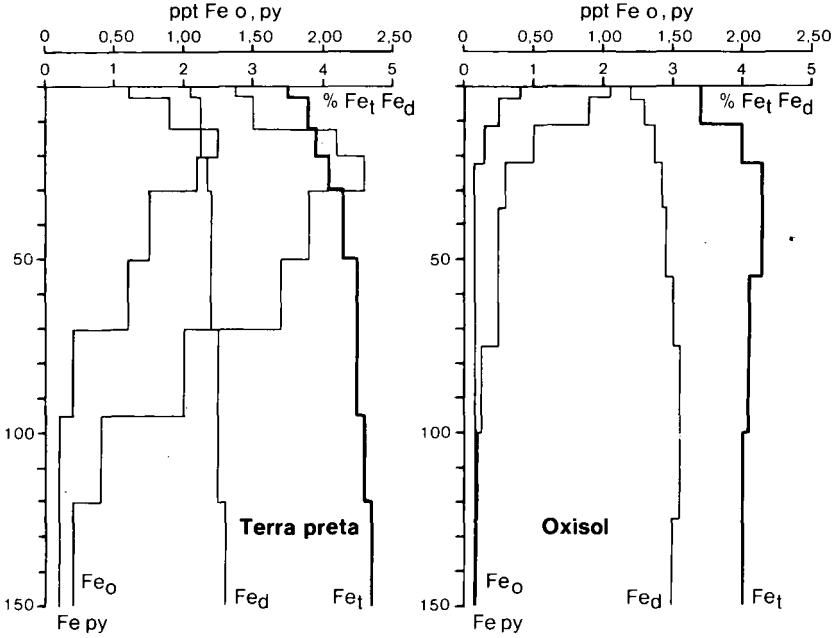


Abb. 4 P-Fraktionierung von Oxisol und Terra preta

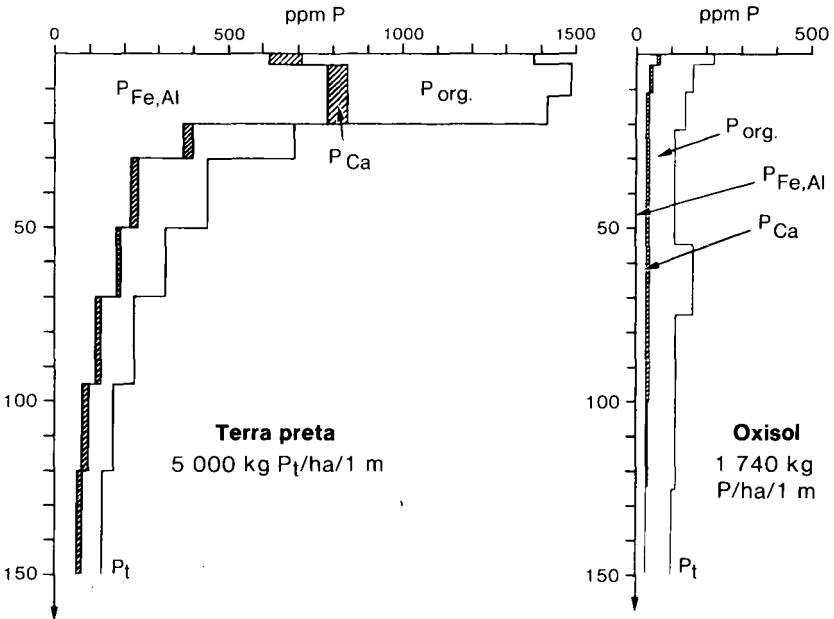
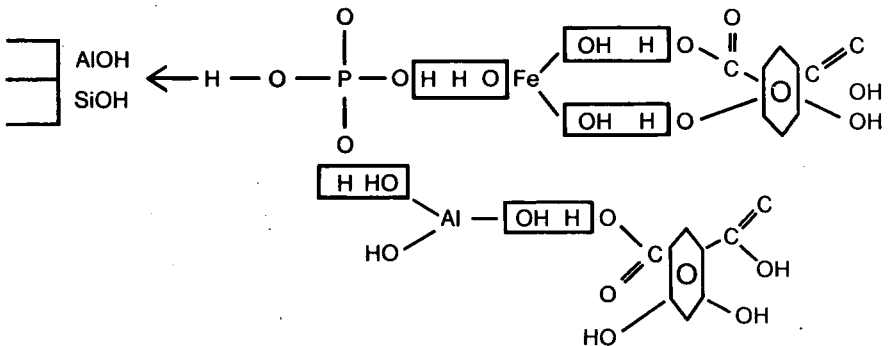


Tabelle 2: Humuskennzahlen des A_{h1}

	<u>Terra preta</u>	<u>Oxisol</u>
<u>Humifizierungszahl</u> (bez. auf organische Substanz (Extr. m. NaOH-Na-Oxalat Messung 530 nm)	51 %	22 %
<u>Humifizierungsart</u> Q 4 / Q 6 - Faktor (Extr. m. NaOH u. Na-Oxalat, Messung 472 u. 664 nm)	4,47 4,40	5,04 4,92
<u>Bewegliche Humusstoffe</u> (bez. a. C_t) (Extr. m. NH_4 -Oxalat, Messung 472 nm)	1,1 % 1,3 %	2,5 %

	Huminsäuren A			Huminsäuren B			Humine		
	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N	% C	% N	C/N
Oxisol	14,4	1,20	12,0	14,4	1,1	13,1	3,95	0,13	30,4
Terra preta	9,4	0,59	15,9	24,8	1,17	14,8	5,79	0,35	16,5

Abb. 5 Stabilisierung organischer Moleküle über Fe, Al- PO_4 -Brücken an Kaolinit (Arbeitshypothese, vereinfacht)



Reaktivierung degradierter Vulkanascheböden in
Südhile durch Aufforstung, Bodenstrukturen,
Phosphat- und Calciumbindung.

von

v. Buch, M.-W. †

Südhile vom 38° bis 47° südlicher Breite ist charakterisiert durch junge Rodungs- und Rodungskulturlandschaften.

Das Untersuchungsgebiet, der Cerro Voipir bei Villarrica, 700 m über N.N. liegt im Andenvorland. Das Klima ist gemäßigt und feucht mit Regenmaximum im frostfreien Winter, kurzen und unregelmäßigen, sommerlichen Trockenperioden, deren Auswirkungen durch Südwinde verstärkt werden und Jahresregensmengen von 2 500 bis 3 000 mm. Vorherrschende Böden sind braune Andosols der humusreichen Entwicklungsphase. Aufgrund des feuchten Klimas sind sie arm an pflanzenverfügbaren Nährstoffen aber reich an nährstoffreichen Mineralen. Die einheimischen Waldformationen werden von Nothofagus- und immergrünen lorbeerblättrigen Arten gebildet, dem dichten und vielstöckigen "Valdivianischen Regenwald" nach Schmithüsen. Hinzu kommen Sekundärwälder, vor allem geschlossene Aufwüchse des sommergrünen Nothofagus alpina.

Umfangreiche Rodungen mit anfangs ertragreichem Ackerbau und Viehwirtschaft begannen in Südhile um 1850. In schwer zugänglichen Gebieten der Anden und Voranden setzten die Rodungen mit begrenzten Mitteln und später ein und sind als eine Mischung von Waldexploitation, Waldweide und Brandrodungsbau heute noch im Gange.

† Bundesforschungsanstalt f. Forst- u. Holzwirtschaft, Institut für Weltforstwirtschaft, 2050 Hamburg 80, Leuschnerstr. 91

Im Untersuchungsgebiet wurde um 1910 ein größerer Waldkomplex nach Teil-
exploitation an Siedler in Parzellengrößen von 10 - 30 ha vergeben. Die
Bodennutzungsfolge verlief nach einer in Südchile häufigen Sequenz:

- a) Abtrieb, Abbrennen, Weizeneinsaat nach Brand,
- b) Weizenanbau 8 - 15 Jahre hintereinander,
- c) Weizenanbau unterbrochen von Hafer und Weidenutzung,
- d) Weideland unterbrochen von Hafer- oder Weizenanbau,
- e) nach etwa 30 Jahren degradiert das Weideland zu kurzhalmigem Chepica-
Rasen, günstigste Parzellen gelegentlich für 1 Jahr Hafer- oder
Weizenanbau.

Während dieser Sequenz sinken die Erträge von etwa 20 dz/ha in der Weizen-
einsaat nach dem ersten Überbrennen auf 2 - 3 dz/ha in der Chepica-
Rasen-Schlußphase.

Düngemittel können auf den Siedlerparzellen in den abgelegenen Gebieten
nicht zur Anwendung kommen.

Auch bei geringer Hangneigung sind Oberflächenerosion und Wegeerosion
stark und verbreitet.

Aufforstungen der Chepica-Weiden mit der grünen Douglasie (*Pseudotsuga*,
Menziesii var. *viridis*) begannen im Untersuchungsgebiet um 1955. Unge-
düngt kümmernten sie in den ersten 3 - 4 Jahren nach der Pflanzung. Nach
erfolgtm Dichtschluß beschleunigten die Bäume ihr Wachstum derart, daß
die Oberhöhen im Baumalter 19 16 - 18 m betragen.

Vergleichende Bodenuntersuchungen unter Urwald, Chepica-Weide und
Douglasienaufforstung ergeben:

I Die Böden unter den 3 genannten Vegetationsformationen entsprechen
sich weitgehend hinsichtlich:

Ausgangsmaterial: feinkörnige andesitische Vulkanaschen

Schichtung: Fließlehmdecken

Entwicklungsphase: brauner Andosol mit starker Humus- und Allophan-
anreicherung

Humusgehalt: incl. Holzkohle im obersten Ah bis zu 20 % C

Azidität:	Ah 0 - 5 cm	4,7 pH KCl
	20 -80 cm	5,0 " "
	80 -150cm	5,5 " "

II Die Böden unter den 3 genannten Vegetationsformationen unterscheiden sich:

- 1) In Humusform, Struktur und mikromorphologischem Aspekt, spez. den Kotaggregatformen der organischen Auflagen und des humosen Mineralbodens, spez. des Ah 0 - 5 cm (ermittelt aus Bodendünnschliffuntersuchungen):
 - Unter Urwald findet sich bei einer Auflage von 3 cm eine rasche tierische Zerkleinerung des Bestandesabfalles, eine starke Melanisierung des Feinhumus, starke Aggregierung, Häufigkeit von Großaggregaten und eine Mannigfaltigkeit von Lösungsformen: Meist locker aufgebaute Dipteren-Lösung im Lv und Fr konzentrisch aufgebaute, mineralkornreiche Diplopodenlösung im obersten Ah. Oribatiden-Lösung in Cavernen von Holzpartikeln fortgeschrittener Zersetzung. Lumbricidenlösung ist überall verbreitet und dominierend, vom Lv bis in begrabene Ah-Horizonte von 120 cm Tiefe.
 - Auf der Chepica-Weide fehlt weitgehend die Auflage; nur örtlich besteht ein dünner Grasfilz. Ah 0 - 4 zeigt eine pulverige Struktur: Holzreste, Holzkohle Collembolenlösung, Lösungsfragmente. Ah 4 - 8 cm ist verdichtet mit plattiger Struktur. Bei 30 cm findet sich eine dichte Struktur, breite Leitbahnen sind schwundrißartig ausgebildet. Feinmaterial wird in diesen Leitbahnen abwärts gespült. Ab 40 cm sind Reste alter Lumbriciden-Tätigkeiten zu finden.
 - Unter der 17jährigen Douglasienaufforstung hat sich eine Auflage von 1 cm Mächtigkeit gebildet; die von Dipteren, Collembolen, Diplopoden und Enchytraeen umgesetzt wird. Im Ah wird die Strukturform durch die Passagen der Bodentiere und durch die intensive Durchwurzelung der Douglasie beeinflusst:

es bilden sich entsprechende Hohlräume und Wandungen. Auch Lumbriciden-Lösung wurde vereinzelt gefunden.

Eine Übersicht der Auflagen, Oberbodenstrukturen und dominanter Lösungsformen der 3 Böden vermittelt folgende Tabelle:

Tab. 1

Struktur Oberböden			
	Urwald	Chepica-Weide	Aufforstung
Auflage	Humusauflage 3 cm	Chepica-Filz 0,5 cm	Humusaufl. 1 cm
Ah 0 - 3 cm	Krümel-Struktur	Einzelkorn-Strukt.	Granular-Strukt.
Struktur	locker	dicht, pulverig	locker-pulverig
dominante koprogene Aggregate	Dipteren, Diplo- den, Lumbriciden	Aggregat- Fragmente Collembolen	Collembolen Dipteren (Lumbr.)

- 2) Die Aggregatstabilität, bestimmt im Ah 0 - 3 cm der 3 Böden, unterscheidet sich stark. Unter Urwald sind stabile Großaggregate vorhanden, unter Chepica-Rasen fehlen sie. Der Aufforstungsboden nimmt eine mittlere Position ein:

Tab. 2 Aggregatsstabilität Ah 0 - 3 cm in %

Aggregat- ϕ in mm	5	4	3	2	1	0,5	0,2	>0,2
Urwald	2,8	6,2	5,1	10,7	12,1	17,6	13,1	32,2
Chepica-Weide	-	-	-	2,3	4,2	9,6	13,6	70,5
17% Aufforstung	-	1,3	2,4	4,3	9,5	15,6	12,4	54,4

Ermittelt wurde der Mengenanteil der Aggregate von 0,2 - 5 mm ϕ , die ein 20maliges Eintauchen auf dem Sieb in Wasser überstanden haben.

Die aus Tab. 2 sich ergebenden deutlichen Abstufungen konnten aber nur in den Oberböden 0 - 3 cm festgestellt werden.

- 3) Der Gehalt an "aufnehmbarem Phosphor", erhalten aus Bodenextraktionen in 1 % Zitronensäure nach MOLL und GREZ, zeigt im Ah 0 - 5 cm charakteristische Unterschiede (s. Abb. 1):

Urwald	12 mg
Chepica	2,8 mg
Aufforstung	7,4 mg/100 g Boden

Bereits ab 20 cm Bodentiefe sind die Unterschiede zwischen den 3 Böden verschwunden.

- 4) Ein ähnliches Bild wie beim Phosphor ergibt sich bei den zitronensäurelöslichen Anteilen von Magnesium, Calcium und Kalium (s. Abb. 2; 3 u. 4). Beim Calcium erreichten die Werte unter Chepica nur 35 % des Ca-Gehaltes der Waldböden im jeweils vergleichbaren Ah.0 - 5 cm. In allen Horizonten der 3 Böden erreichen die Calcium-Werte nur etwa 1/10 des Gehaltes an Magnesium, Kalium und Natrium. Im Gegensatz zum löslichen Phosphor, Magnesium und Calcium sind die Kalium-Werte Ah 0 - 5 cm in der Douglasien-Aufforstung niedriger als in der Chepicaweide, während unter Urwald auch für das Kalium eine stärkere Oberboden-Anreicherung festzustellen ist. Für das zitronensäurelösliche Natrium wurden übereinstimmend in allen 3 Böden keine gesicherten Anreicherungen im Oberboden festgestellt.

Zur Deutung der Befunde

Die untersuchten Böden sind sehr reich an humusreichen Allophankomplexen, die außerdem Eisenoxide und Kieselsäure enthalten.

Der Abbau der Pflanzenreste bis zum Feinhumus erfolgt rasch, die Mineralisation des an niedrigmolekularen, organischen Verbindungen reichen Feinhumus wird durch die erwähnte Komplexbindung weitgehend unterbrochen bzw. verzögert. Hoher Holzkohlegehalt kommt hinzu.

Diese Humus-Allophankomplexe sind derart abgeschirmt und stabil, daß sie durch Perhydrol kaum zu zerstören sind.

Die gealterten Humus-Allophane binden die Phosphate sehr stark in Form einer Anionensorbition unter Bildung echter Sauerstoffbrücken. Die sich aus den Zitronensäure-Extraktionen ergebenden Konzentrationsverläufe wurden durch Phosphatsorbitionsmessungen mit primärem Kaliumphosphat bestätigt.

Auf landwirtschaftlich genutzten Andosols Südchiles ist Phosphor der Hauptmangelfaktor. Gelegentlich auftretende Wuchsstockungen in Douglasienkulturen auf Chepica-Böden lassen sich durch Phosphat-Düngungen beheben.

Calcium wird von den Humus-Allophankomplexen ebenfalls sehr stark festgelegt, Magnesium und Kalium in geringerem AusmaÙe.

Die deutlichen Anreicherungen an zitronensäurelöslichem P, Mg, Ca und K im Ah 0 - 5 cm der Waldböden erklären sich aus den Anlieferungen an Bestandesabfällen, die auf den Chepica-Böden weitgehend fehlen. Außerdem binden die frischen, noch nicht allophan-komplexfixierten, organischen Substanzen die Nähr Elemente in lockerer, den Pflanzenwurzeln und den Zitronensäure-Auszügen zugänglicher Form. Der geringe Kaliumgehalt Aufforstung Ah 0 - 5 kann auf die starke Entnahme durch die Douglasien zurückgeführt werden.

Die Aziditätsunterschiede in den Böden sind gering und beeinflussen die Untersuchungsergebnisse nicht wesentlich. Die Phosphatfixierung mußte aufgrund der saureren PH-Werte im Ah 0 - 5 sogar stärker sein als im Unterboden!

Wichtig sind standortklimatische Unterschiede. Ein Valdivianer Regenwald entsprechender Entwicklungsphase mit ungestörtem Bestandessgefüge scheint sein Innenklima vollständig ab gegen die (episodisch) bis zu 3 1/2 Monate andauernden Trockenperioden, es bleibt dort ständig feucht. Im Chepica-Freilandboden kommt es dagegen dann zu sehr starker Austrocknung und Erhitzung der Bodenoberfläche. Quellbarkeit und Wiederbenetzbarkeit erfahren irreversible Veränderungen, was wiederum die Bodenstruktur und die Phosphatbindung beeinflusst.

Auf den Freiflächen wirkt sich auch der Tropfeinschlag der Starkregen aus, er bedingt Aggregatzerstörung, Verdichtung und Bodenerosion.

Im Urwaldboden erfolgt eine starke Bioturbation durch die Bodenfauna, im Aufforstungsboden ist sie gering, im Chepica-Rasenboden fehlt sie. Daß gerade im Urwaldboden die Elementanreicherungen dennoch so ausgeprägt sind, ist bemerkenswert und unterstreicht die dargelegten Schlußfolgerungen.

Zusammenfassung:

Vergleichende Untersuchungen zur Bodenmikromorphologie, Aggregatstabilität und Bestimmungen des zitronensäurelöslichen Phosphor, Magnesium, Calcium und Kalium unter Urwald, Chepica-Rasen und 17j. Douglasienaufforstungen ergeben, daß im Oberboden unter Urwald eine reichhaltige Bodenfauna, stabile Großaggregate und eine höhere Konzentration zitronensäurelöslicher Nährelemente vorliegen. Im Chepica-Rasen-Boden Ah 0 - 5 findet sich eine arme und einseitige Bodenfauna, Kleinaggregat-Pulverstruktur und sehr geringe zitronensäurelösliche Nährelementmengen.

Der Aufforstungsboden, 17 Jahre nach erfolgter Bepflanzung, zeigt in allen Untersuchungen mittlere Werte zwischen Urwald und Chepica-Rasen, die eine deutliche Regradation anzeigen.

Literaturhinweise

- Buch, M.W.v. (1969). Der Einfluß vulkanischer Eruptionen und Erdbeben auf die Böden Südchiles. Z. Deutsch. Geol. Ges. 121: 225-252.
- Buch, M.W.v. (1977). Formaciones forestales y uso del suelo en la región limitrophe Chileno-Argentina de las comunas Pucon y Conaripe. Actas del VII. Congreso Forestal Mundial. Volumen III. Buenos Aires.
- Ellies, A. (1975). Untersuchungen über einige Aspekte des Wasserhaushaltes vulkanischer Aschenböden aus der gemäßigten Zone Südchiles. Diss. Hannover.
- Greß, R. (1977). Nährelementhaushalt und Genese von Böden aus vulkanischen Aschen. Diss. Freiburg.
- Hartwig, F. (1966). Landschaftswandel und Wirtschaftswandel in der chilenischen Frontera. Mitt. BFH Reinbek-Hamburg, Nr. 61.
- Lauer, W. (1961). Wandlungen im Landschaftsbild des südchilenischen Seengebietes seit Ende der spanischen Kolonialzeit. Beiträge zur Geographie der Neuen Welt. Schriften des Geographischen Instituts der Universität Kiel, Bd. XX, S. 227-276.
- Schmithüsen, I. (1956). Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation. Forschungen in Chile. Bonner Geograph. Abh. H. 17; Bonn.
- Weishet, W. (1970). Chile, seine länderkundliche Individualität und Struktur. Wissenschaftl. Länderkunden Bd. 2/3, Darmstadt.

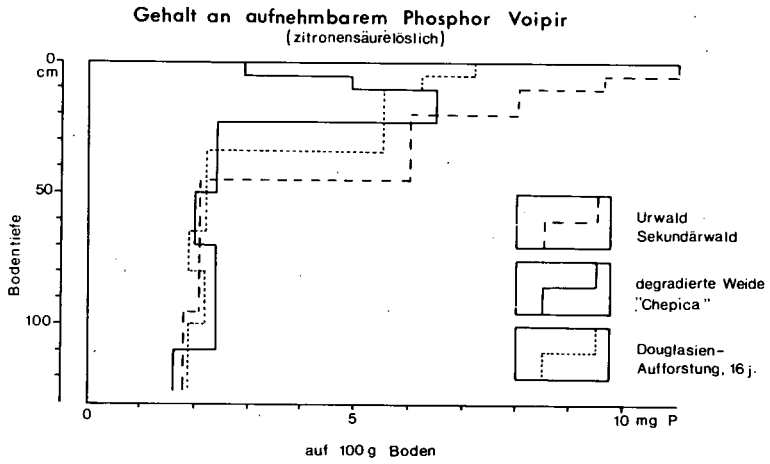


Abb. 1

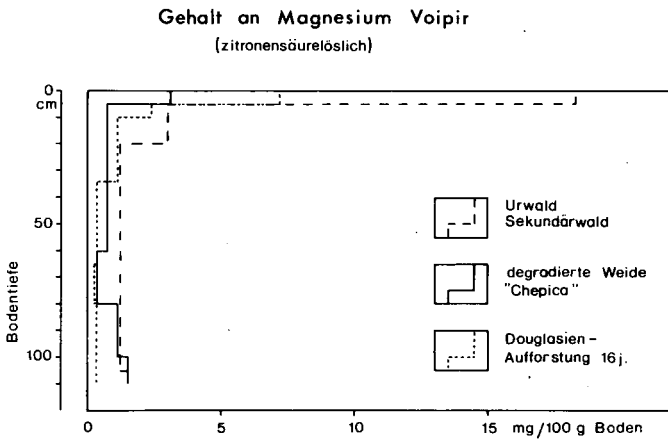


Abb. 2

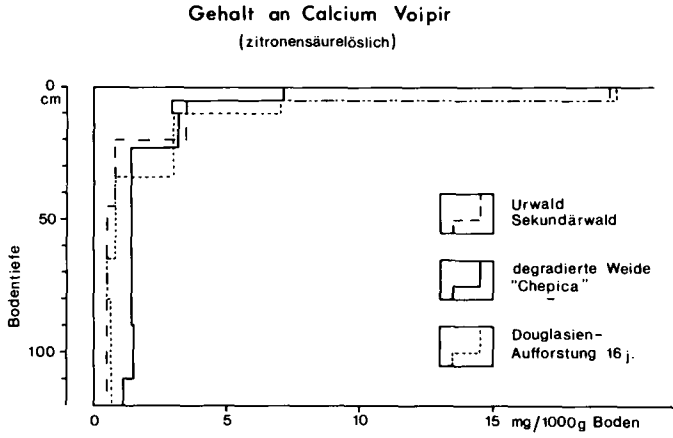


Abb. 3

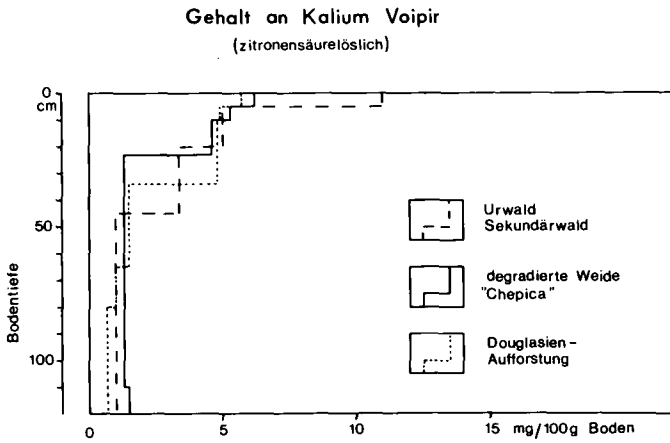


Abb. 4

Vergleichende Analyse der Klassifikation von Vulkan-
ascheböden im randtropischen Klimabereich

von
G. Miehllich⁺

Problemstellung

Im Rahmen des Mexiko-Projekts der DFG werden seit mehreren Jahren Bodenuntersuchungen an Vulkanascheböden im randtropischen Klimabereich durchgeführt (Literaturzusammenstellung vgl. WERNER 1978). Im Gebirgsmassiv der Sierra Nevada sind in Abhängigkeit vom Alter der Pyroklastika und den Klimastufen sehr verschiedene Ausprägungen von Vulkanascheböden entstanden, die in einer Übersichtskartierung erfaßt (KNEIB 1973, KNEIB u.a. 1973) und an 75 Profilen laboranalytisch eingehend untersucht wurden. Das umfangreiche Datenmaterial erlaubt es, zwei Fragestellungen zu untersuchen:

1. Wie unterscheiden sich die vorhandenen Klassifikationssysteme in Abgrenzung und Unterteilung einer Entwicklungsserie von Vulkanascheböden

2. Genügen die Kriterien dieser Klassifikationssysteme zur Beschreibung von Vulkanascheböden im randtropischen Klimabereich

Einigkeit herrscht zwischen den Klassifikationssystemen, daß die Besonderheiten des Substrats die Abtrennung einer speziellen taxonomischen Einheit für die jüngeren Glieder der Entwicklungsserie aus Vulkanaschen erforderlich machen. Einigkeit herrscht auch über das zentrale Konzept, das Böden umfaßt, "which are characterized by a dominance of amorphous material in the clay fraction, a low bulk density, a relatively high content of organic matter in the A horizon, a friable consistence, smeariness and high sorptive capacity" (DUDAL 1976). Große Differenzen bestehen jedoch zwischen den Klassifikationssystemen sowohl hinsichtlich der Abgrenzungsmerkmale, als auch in der Untergliederung der Andoböden.

Soil Taxonomy

In der Soil Taxonomy (U.S.D.A. 1975) sind die Andoböden in der order

+) Ordinariat für Bodenkunde, Von-Melle-Park 10, 2000 Hamburg 13

der Inceptisols untergebracht. Innerhalb der Inceptisols werden sie durch diagnostische Eigenschaften abgetrennt. Da die Soil Taxonomy davon ausgeht, daß der Anteil amorpher Substanz an der Tonfraktion direkt nicht bestimmbar ist, werden eine Fülle von indirekten Kennwerten erarbeitet (Tabelle 1). So müssen zur Feststellung der Ando-Zugehörigkeit die Korngrößenverteilung, die Porengrößenverteilung, der Allophan-Schnelltest, der Kohlenstoffgehalt, die Kationenaustauschkapazität, ein DTA-Diagramm und eine Mineralanalyse vorliegen. Nur in den seltensten Fällen können so viele und so spezielle Analysen durchgeführt werden. In der praktischen Kartierarbeit ist das System unbrauchbar. Aber nicht nur die hohe Zahl der erforderlichen Analysen, sondern auch die Kennwerte selbst sind sehr problematisch. Dies soll an einem Beispiel demonstriert werden. Eine der geforderten Eigenschaften lautet: die Kationenaustauschkapazität der Tonfraktion muß bei pH 8,2 mehr als 150 mval betragen. Die Bestimmung der KAK bei pH 8,2 bringt, wegen der hohen variablen Ladung von Allophan, Werte, die zwei bis dreimal höher liegen, als die für eine ökologische Interpretation geeignete Bestimmung der effektiven KAK. Berücksichtigt man weiterhin, daß zur Unterscheidung von mollic/umbric Horizonten die Bestimmung der KAK bei pH 7 erforderlich ist, so werden drei Bestimmungen für ein Merkmal notwendig. Der zweite Wert, die Tonfraktion, wird nach Dispergierung mit Natriumpyrophosphat bestimmt. Wegen der unzureichenden Dispergierbarkeit erhält man stets nicht nur viel zu kleine, sondern zudem unreproduzierbare Tongehalte. Es gibt noch weitere Einwände gegen die diagnostischen Eigenschaften zur Bestimmung von Andoböden, die hier jedoch aus Platzgründen nicht dargestellt werden können.

Ein generelles Problem der Soil Taxonomy, die Festlegung von starren Mächtigkeitsgrenzen, verstärkt sich bei den Andoböden, so daß im Extremfall sieben sich teilweise überschneidende Probestiefen berücksichtigt werden müssen.

Zur Untergliederung der Andoböden werden auf dem great group Niveau mehrere Sonderformen abgetrennt (Andaquepts, Cryandepts, Durandepts, Placandepts, Hydrandepts) und die übrigen nach Entwicklungsgrad und Basensättigung unterteilt (Vitrandepts, Eutrandepts und Dystandepts).

Cambic Horizonte sind nicht diagnostisch, Böden mit Kieselsäureanreicherung ohne Verhärtung können nicht abgetrennt werden.

FAO-Klassifikation (FAO 1974)

Die diagnostischen Merkmale der FAO-Klassifikation gleichen denen der Soil Taxonomy, so daß die dort' aufgeführten Probleme auch hier gelten. Die Unterteilung der Andoböden erfolgt nach Horizontkombination, Thixotropie und Körnung in vier Einheiten (Tabelle 2). Die Kriterienkombination ist jedoch nicht logisch, so daß ochric, mollic und humic Andosols auch unter die vitric Andosols eingeordnet werden können, solange dort eine and/or Anweisung für Thixotropie und Körnung gegeben wird. Auch die Angabe "texture silt loam or finer" scheint mir nicht eindeutig, weil die Bodenart aus drei Komponenten besteht (ist ein sandy clay feiner als ein silt loam?).

Die Beschränkung auf vier Untereinheiten geht zu Lasten wichtiger Sonderformen (Hydrandepts, Placandepts etc.). Umgekehrt ist der neu eingeführte ochric Andosol nicht sehr einheitlich, weil der ochric epipedon als negativ definierter Horizont sehr vielgestaltig sein kann.

Französische Klassifikation (ORSTOM 1972, CPS 1967)

Im Gegensatz zu den vorgenannten benutzt die Französische Klassifikation nur wenige, im Gelände feststellbare Merkmale zur Abgrenzung der Andoböden (Tabelle 3). Innerhalb der Andoböden werden zwei Entwicklungsstufen unterschieden, die auf dem groupe bzw. sous groupe Niveau teils nach Labortests, teils nach Geländemerkmalen differenziert weiter unterteilt werden. Das Merkmal Kieselsäureanreicherung ohne Verhärtung ist diagnostisch, es wird jedoch auf Böden mit Basensättigung >50% beschränkt, Duripans werden nicht unterschieden.

Da in der Französischen Klassifikation die Merkmale teilweise lediglich als zentrales Konzept beschrieben, teilweise jedoch mit exakten Merkmalsgrenzen versehen wurden, ist eine Einordnung im konkreten Fall oft schwierig. Die teilweise sehr komplex zusammengesetzten Bodenbezeichnungen wirken umständlich.

Sierra Nevada

In der Sierra Nevada bilden andesitische Aschen unterschiedlichen Alters das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung (MIEHLICH 1974a).

Neben dem Alter beeinflusst das Klima die Ausprägung der Böden (MIEHLICH 1974b). In kalt trockenen Lagen oberhalb 4000 m Meereshöhe sind in jungen und mittelalten Aschen Übergangsformen von der unverwitterten Asche zu jungen Andosols entwickelt. Im kühl feuchten Mittelhangbereich haben sich in Abhängigkeit vom Alter Andosols gebildet, die ohne Schwierigkeit in die oben erwähnten Klassifikationssysteme eingeordnet werden können. Als Besonderheit treten hier Topovarianten mit hoher Kieselsäureanreicherung ohne Verhärtung auf. Sie entstehen in Hohlformen und am Unterhang von Talflanken, an denen sich lateral transportierte Kieselsäure stark anreichert.

In den trocken warmen Höhenlagen zwischen 2500 und 3100 m sind in älteren Vulkanaschen verbreitet Böden entwickelt, die der oben gegebenen Definition von Andoböden genügen, aber negativ auf den Allophan-Schnelltest reagieren. Die Ursache liegt in den hohen Gehalten an amorpher Kieselsäure, die aus der Verwitterung stammt, die jedoch bei den geringen Niederschlägen (800-1200 mm) und der hohen Verdunstung nicht vollständig exportiert, sondern im Unterboden angereichert wird (AEPPLI 1973, MIEHLICH 1974c). Werden diese Unterböden durch Erosion freigelegt, so verhärten sie unter dem wechselfeuchten Klima zu "Tepetate", der nur durch Spezialpflüge kultivierbar ist (MIEHLICH 1978).

Im Rahmen einer überwiegend genetischen Arbeit sollte dieses Spektrum von Vulkanascheböden mit möglichst einfachen Tests möglichst differenziert unterteilt werden. Andoböden wurden von Initialstadien der Bodenbildung einerseits und älteren Vulkanascheböden ohne Andomerkmale andererseits durch die Kriterien "Allophantest positiv und Thixotropie - oder - Thixotropie und Kieselsäureanreicherung" abgetrennt. Zur Untergliederung der Andoböden wurden sechs diagnostische Merkmale unterschieden (Tabelle 4), in denen neben den bereits erwähnten Eigenschaften der Tongehalt ⁽¹⁾ und die Festigkeit einbezogen wurden. Aus der Kombination der diagnostischen Merkmale mit den Haupthorizonten der Soil Taxonomy (ohne Mächtigkeitsgrenzen) ergibt sich eine differenzierte Untergliederung der Böden, die sowohl die alters- als auch die klimaabhängige Bodenentwicklung widerspiegelt.

Insbesondere können die im randtropischen Klimabereich weit verbreiteten älteren Vulkanascheböden mit Kieselsäureanreicherung sowohl in ihrer Normform, als auch in der verhärteten Phase in ihrem genetischen Zusammenhang ausgewiesen werden. Dies hat auch erhebliche praktische Bedeutung. Im Bereich der Sierra Nevada konnten mehrere hundert km² auskartiert werden, die, nach Rodung und Erosion durch Tepetatebildung zu "badlands" werden. Die komplizierten Merkmale der Soil Taxonomy und der FAO-Klassifikation lassen sich widerspruchsfrei durch einfache, überwiegend im Gelände feststellbare Merkmale ersetzen.

Systemvergleich

Die Einordnung der Andosols der Sierra Nevada in die Soil Taxonomy führt bei den jüngeren Böden zu Mehrfachbenennungen, weil in dem für diese Böden typischen Mehrschichtprofil, je nach der Mächtigkeit der obersten Aschen- und Bimslage unterschiedliche Schichten diagnostisch werden. Die Altersabhängige Bodenentwicklung wird grobwiedergegeben. Varianten mit cambic Horizont, sowie Kieselsäureanreicherung ohne Verhärtung können nicht gekennzeichnet werden.

Die FAO-Klassifikation gliedert ähnlich wie die Soil Taxonomy. Böden mit cambic Horizonten können jedoch abgetrennt werden, allerdings nur bei einem ochric Oberboden. Die in unserem Gebiet häufige Form mit umbric A und cambic B Horizonten fällt unter die humic Andosols.

In der Französischen Klassifikation ist zwar die Abtrennung der Andosols mit Verbraunung möglich. Böden mit AC-Profil fallen da-

(1) Nach vergeblichen Versuchen, die Andosols der Sierra Nevada mit den in der Literatur angegebenen Methoden zu dispergieren, wurde folgende Methode ausgearbeitet:
10g lufttrockene humusfreie (H₂O₂) Feinerde mit Na-Dithionit extrahieren (nach SCHLICHTING/BLUME 1966, jedoch ohne abschließende MgSO₄-Behandlung); 5' in 1000 ml kochender 0.5 N NaOH extrahieren und rasch abkühlen; 30' in Kühlzentrifuge bei 3000 U/min zentrifugieren und die überstehende klare Flüssigkeit mit einem Saugheber, dessen Spitze umgebogen ist, abhebern; mit dest. Wasser solange waschen bis die Dispergierung schwach einsetzt (pH 7-9, Zentrifuge 10000 U/min); in 1000 ml Schüttelzylinder überführen und mit Na-Pyrophosphat über Nacht dispergieren (SCHLICHTING/BLUME 1966). Berechnung: auf der Bezugsbasis 105°C getrocknete, humus- und dithioniteisenfreie Feinerde werden die Körnungsfractionen wie gewöhnlich berechnet. Die Differenz zu 100% ergibt in guter Näherung den Allophanextraktionsverlust, der der Tonfraktion zugeschlagen wird. Eine ausführliche Methodenbeschreibung, einschließlich eines Methodenvergleichs folgt in Kürze.

gegen alle unter die Andosols humiques, gleichgültig ob es sich um schwach entwickelte Andosols in wenig verwitterten dunklen Aschen oder um voll entwickelte Andosols mit schwarzen organomineralischen Komplexen handelt. Die thixic Formen werden nicht mehr zu den Andosols gerechnet, weil das Merkmal Allophantest positiv diagnostisch ist. Diese Einteilung gibt den genetischen Zusammenhang der Vulkanascheböden der Sierra Nevada nur sehr unvollkommen wieder.

Literatur

AEPPLI, H.: Barroböden und Tepetate. Diss, Gießen 1973. - CPS: Classification des Sols, Grignon 1967. - DUDAL, R.: Correlation of Soils derived from volcanic ash. World Soil Resources Reports 14, 134-137, 1966. - FAO: Soil Map of the World, Vol I, legend. FAO/UNESCO 1974. - KNEIB, W.: Versuch einer Bodengeographischen Gliederung der Sierra Nevada de México. Unveröff. Diplomarbeit, Hamburg 1973. - KNEIB, W., MIEHLICH, G. u. ZÖTTL, H. W.: Clasificación Regional de los Suelos de la Sierra Nevada de México. Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 7, 11-13, 1973. - MIEHLICH, G.: Stratigraphie der jüngeren Pyroklastika der Sierra Nevada de México durch schwermineralogische und pedologische Untersuchungen. Eiszeitalter und Gegenwart 25, 107-125, Öhringen 1974a. - Miehlich G.: Klima- und altersabhängige Bodenentwicklung von Vulkanascheböden der Sierra Nevada de México. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch 18, 360-369, Göttingen 1974b. - MIEHLICH, G.: Der Einfluß mehrhundertjährigen Ackerbaus auf Eigenschaften eines Vulkanaschebodens der Sierra Nevada de México. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 20, 261 - 273, Göttingen 1974c. - MIEHLICH, G.: Eigenschaften und Genese von Verhärtungslagen in Zentralmexiko ("Tepetate"). Münster. Forsch. Geol. Paläont. 44/45, 27-41, Münster 1978. - ORSTOM: Proposition de Classification des Andosols. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie 10, 303-304, 1972. - SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P.: Bodenkundliches Praktikum, Hamburg 1966. - U.S.D.A: Soil Taxonomy, Washington 1975. - WERNER, G. u. a.: Los Suelos de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus Alrededores. Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala 6, Puebla 1978.

TABELLE 1

SOIL TAXONOMY:

DIAGNOSTISCHE EIGENSCHAFTEN ZUR ABGRENZUNG VON ANDOBÖDEN

1.1 RAUMGEWICHT (BEI 1/3B) IN DER FEINERDE $<0,85 \text{ g/cm}^3$ UND

1.2 AM AUSTAUSCHKOMPLEX DOMINIERT AMORPHE SUBSTANZ =

- KAK DER TONFRAKTION BEI PH 8,2 $>150 \text{ mval/100 g}$
- FALLS TOTWASSER $>20\%$: PH IN 1N NAF IN 2' $>9,4$
- RELATION TOTWASSER/TON $>1,0$
- ORGANISCH C $>0,6\%$
- DTA ENDOTHERMER PEAK BEI TIEFEN TEMPERATUREN
- RAUMGEWICHT BEI 1/3B $<0,85 \text{ g/cm}^3$

O D E R

2. $>60 \text{ Gew.}\%$ BESTEHT AUS GLASIGEN PYROKLASTIKA

EINHEITEN

MERKMALE

AQUEPT

ANDAQUEPT

HYDROMORPHIE

ANDEPT

CRYANDEPT

KALT

DURANDEPT

DURIPAN

PLACANDEPT

EISENBÄNDCHEN

HYDRANDEPT

IRREVERSIBLE SCHRUMPFUNG

VITRANDEPT

KEINE THIXO., TOTWASSER $<20\%$

EUTRANDEPT

THIXO., TOTW. $>20\%$, $v >50\%$

DYSTRANDEPT

THIXO., TOTW. $>20\%$, $v <50\%$

TABELLE 2: FAO-KLASSIFIKATION

EINHEITEN

MERKMALE

MOLLIC ANDOSOL

MOLLIC A, EV. CAMBIC B
THIXO. U/O FEINER ALS SILT LOAM

HUMIC ANDOSOL

UMBRIC A, EV. CAMBIC B
THIXO. U/O FEINER ALS SILT LOAM

OCHRIC ANDOSOL

OCHRIC A UND CAMBIC B

VITRIC ANDOSOL

KEINE THIXO. U/O
BODENART GRÖßER SILT LOAM

TABELLE 3

FRANKREICH (ORSTOM 1972):

DIAGNOSTISCHE EIGENSCHAFTEN ZUR ABGRENZUNG VON ANDOBÖDEN

1. STRUKTUR FEINKRÜMELIG UND WEICH
2. FINGERPROBE ERGIBT SCHLUFF BZW. SANDIGER SCHLUFF
3. BÖDEN ZEIGEN THIXOTROPIE
4. F⁻-TEST POSITIV (BEI TEMP $>15^\circ\text{C}$ IN $<30''$)

EINHEITEN

MERKMALE

ANDOSOLS PEU DIFFERENCIES

ANDOSOLS HUMIQUES

ANDOSOLS VITRIQUES

A-C BÖDEN

MELANIQUE, $v <50\%$

CHROMIQUE, $v >50\%$

ANDOSOLS DIFFERENCIES

ANDOSOLS SATURES

-MELANIQUES

-CHROMIQUES

-A ACCUMULATION

A-(B)-C BÖDEN

$v \text{ IM (B) } >50\%$

KARBONAT/KIESELSÄUREANREICHERUNG

ANDOSOLS DESATURES

NON PERHYDRATES

-MELANIQUES

-CHROMIQUES

$v \text{ IM (B) } <50\%$

KEINE IRREVERSIBLE SCHRUMPFUNG

ANDOSOLS DESATURES

PERHYDRATES

-MELANIQUES

-CHROMIQUES

$v \text{ IM (B) } <50\%$

IRREVERSIBLE SCHRUMPFUNG

TABELLE 4

SIERRA NEVADA:
DIAGNOSTISCHE EIGENSCHAFTEN

BEZEICHNUNG	MERKMALE
ANDINE	F ⁻ -TEST +, THIXO. SCHWACH, TON <20%, WEICH BIS FEST
ANDIC	F ⁻ -TEST +, THIXO DEUTLICH TON <20%, WEICH BIS FEST
ANDO	F ⁻ -TEST +, THIXO DEUTLICH TON >20%, WEICH BIS FEST
THIXIC	F ⁻ -TEST -, THIXO DEUTLICH TON >20%, WEICH BIS FEST
SILICIC	KIESELSÄUREBELÄGE ODER SI IN 0,5 N NAOH >30% O SI/AL >4,0, WEICH BIS FEST
DURIC	WIE SILICIC ABER HART UND SEHR HART
EINHEITEN	HORIZONTKOMBINATION
ANDINE ANDOSOLS	
CRYANDINE	ANDINEUMBRIC/ANDINEOCHRIC
MESANDINE	ANDINEUMBRIC
THERMANDINE	ANDINEUMBRIC/ANDINEMOLLIC
ANDIC ANDOSOLS	
HUMANDIC	ANDICUMBRIC
CAMBANDIC	ANDICUMBRIC-ANDICCAMBIC
ANDOS ANDOSOL	
HUMANDOS	ANDOUMBRIC
CAMBANDOS	ANDOUMBRIC-ANDOCAMBIC
SILHUMANDOS	SILICICANDOUMBRIC
THIXIC ANDOSOLS	
CAMBTHIXIC	THIXOMOLLIC/THIXOOCHRIC-SILICICTHIXO- CAMBIC
DURCMBTHIXIC	THIXOOCHRIC-DURCMBIC

TABELLE 5

SYSTEMVERGLEICH

SIERRA NEVADA	SOIL TAXONOMY	FAO	FRANKREICH
ANDINE ANDOSOLS			
CRYANDINE	DYSTR. CRYAND./ TYPIC CRYANDEPT	VITRIC A.	A. HUMIQUES/ S. PEU EVOL. A ALLOPHAN
MESANDINE	HYDR. DYSTRAND./ UMBRIC VITRAND.	VITRIC A.	A. HUMIQUES
THERMANDINE	UMBRIC VITRAND./ TYPIC EUTRAND.	VITRIC A.	A. HUMIQUES
ANDIC ANDOSOLS			
HUMANDIC	HYDR. DYSTRAND.	HUMIC A.	A. HUMIQUES/ A. VITRIQUES
CAMBANDIC	HYDR. DYSTRAND.	HUMIC A.	A. DESAT. CHROMIQUES
ANDOS ANDOSOLS			
HUMANDOS	HYDR. DYSTRAND.	HUMIC A.	A. HUMIQUES
CAMBANDOS	HYDR. DYSTRAND.	HUMIC A./ OCHRIC A.	A. DESAT. CHROMIQUES S. BRUNS ANDIQUES
SILHUMANDOS	HYDR. DYSTRAND.	HUMIC A.	A. HUMIQUES
THIXIC ANDOSOLS			
CAMBTHIXIC	TYPIC EUTRAND.	MOLLIC A.	S. BRUNS EUTR. TROP. PEU EVOLUES
DURCMBTHIXIC	EUTR. DURAND.	OCHRIC A. (DURIPAN)	S. BRUNS EUTR. TROP. PEU EVOLUES

Die Anwendung der FAO/UNESCO-Klassifikation für die
Bodenkartierung im Maßstab 1 : 100 000, dargestellt
am Beispiel einer Bodenkarte im Zentralen Hochland
von Mexiko*

von

Werner, G.**

Einleitung: Im Rahmen des Mexiko-Projekts der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde in den Jahren 1974 bis 1976 das Projektgebiet, das den Raum Puebla-Tlaxcala im randtropischen Zentralen Hochland umfaßt, bodenkundlich kartiert. Zu Beginn der Kartierung war zu entscheiden, nach welchen Kriterien die Bodenkarte erstellt und in welche Systematik die kartierten Einheiten einzuordnen seien. Aus Gründen, die ich später erläutern werde, entschieden wir uns für die 1974 als Legende zur Weltbodenkarte veröffentlichte Systematik der FAO/UNESCO (1974).

Die Einstufung der Böden des Gebietes von Puebla-Tlaxcala in die
FAO-Systematik

Die FAO-Legende beansprucht "the first appraisal of world's soil resources" (FAO/UNESCO 1974, p 2) und will eine Basis bilden für eine bessere Vergleichbarkeit der Böden in den verschiedenen Ländern und zugleich als Rahmen für detaillierte Bodenkartierungen dienen. Diesen Anspruch galt es zu prüfen:

Das FAO-System erfaßt die Böden, obwohl es als monocategoriales System bezeichnet wird, in 2 Niveaustufen. Es ist nicht, wie das taxonomische System der Soil Taxonomy (USDA 1975) in verschiedene Kategorien unterschiedlichen Niveaus unterteilt; die Ableitung aus der Soil Taxonomy aufgrund sog. Schlüsseleigenschaften (key properties) überwiegend nach diagnostischen Horizontmerkmalen (diagnostic horizons) ist dennoch nicht zu übersehen.

* Die Untersuchungen wurden im Rahmen des Mexiko-Projektes der DFG durchgeführt

** Institut für Bodenkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen,
Ludwigstraße 23

Nach diesen Schlüsseleigenschaften werden 106 Boden-Subeinheiten 26 Bodenhaupteinheiten zugeordnet, die im Maßstab 1 : 5 Mill. alle Böden der Erde umfassen.

Es soll hier nicht untersucht werden, ob mit diesen Bodenhaupteinheiten tatsächlich alle Böden erfaßt werden können, auch eine Kritik an der Legende der Weltbodenkarte ist nicht vorgesehen.

MÜCKENHAUSEN (1978) wies bereits auf die Vor- und Nachteile der Bodenkarte von Europa im Maßstab 1 : 1 Mill. nach FAO-System hin. Man kann allerdings bei der FAO-Karte im Maßstab 1 : 5 Mill. nicht übersehen, daß hier Kartiereinheiten zugleich Klassifikationseinheiten sein können. Außerdem scheint es nicht zufällig zu sein, daß die 26 Bodenhaupteinheiten denen die Böden der Erde zugeordnet und die jede mit einem Buchstaben gekennzeichnet wurden, in gleicher Anzahl den Buchstaben des lateinischen Alphabetes entsprechen!

Das Klassifikationssystem der FAO besteht jedoch im Vergleich zu allen anderen Systemen gerade in seiner Einfachheit und Übersichtlichkeit, sowie in seiner Verständlichkeit, insbesondere

- a) in der Begrenzung auf wenige Bodeneinheiten
- b) in der einfachen und nahezu jedem bekannten Nomen - klatur, so daß man sich auf nur wenig neue Terminologie einstellen muß
- c) in den knappen und straffen Erläuterungstexten zu den einzelnen Bodeneinheiten.

Letzteres kann allerdings zur Folge haben, daß man bei weitergehenden Informationen über Horizonteigenschaften, hydromorphologische und klimatologische Merkmale von Bodeneinheiten auf die Definitionen der entsprechenden Suborder der Soil Taxonomy zurückgreifen muß; wie MIEHLICH (1979, sowie frdl.mündl.Mitteilung) es nannte: "Man muß die Soil Taxonomy parallel lesen".

Wir versuchten, die FAO-Klassifikation aus zwei praktikablen Gründen für die Bodenkarte des Projektgebietes zu Grunde zu legen: Einmal war von AEPPLI in den Jahren 1972-1974 eine Bodenkarte im Maßstab 1 : 100 000 auf der Grundlage des FAO-Systems von 1968/1969 erarbeitet worden, die von AEPPLI & SCHÖNHALS (1975) veröffentlicht wurde. Ebenfalls auf der Grundlage dieses Systems wurde von KNEIB & MIEHLICH die Sierra Nevada kartiert und erste Ergebnisse von KNEIB, MIEHLICH & ZÖTTL (1973) veröffentlicht. Somit war für die folgende Kartierung des Projektgebietes eine Art "Modell" bereits erarbeitet. Zum anderen läßt die mexikanische Regierung durch eine

eigene Institution neben topographischen, geologischen und Bodennutzungskarten des gesamten Landes im Maßstab 1 : 50 000 auch Bodenkarten im gleichen Maßstab herstellen. Grundlage dieser Bodenkarten ist das FAO-System, das man für diesen Maßstab nahezu undifferenziert übernahm (CETENAL 1974,1975). Die sich daraus ergebende Konsequenz ist, daß in wenigen Jahren die ausgebildeten Benutzer von Bodenkarten in Mexiko ausschließlich die FAO-Bezeichnungen kennen und danach arbeiten werden.

Für uns blieb zu prüfen, wie leistungsfähig die FAO-Klassifikation für den gewählten Maßstab 1 : 100 000 war und inwieweit wir konsequent dann noch dieses System beibehalten konnten.

Modifikation der Bodeneinheiten des FAO-Systems

Es stellte sich bald heraus, daß es nicht immer möglich war, Kartiereinheiten so in das System einzuordnen, daß dessen Forderungen voll befriedigt wurden. Dominierend lithogene, klimatologische und/oder ökologische Eigenschaften, die ausschlaggebend für die Abgrenzung der Kartiereinheiten gewesen waren, stimmten natürlich nicht immer mit den primär geprägten Forderungen des FAO-Systems überein. Hier zeigte sich besonders stark die Diskrepanz zwischen den Kartiereinheiten einerseits, die die FAO-Legende zur Weltbodenkarte durch den Begriff der dominierenden Bodeneinheit (dominant soil unit) zu umgehen versucht, in der andere Bodeneinheiten (sowohl Haupt- als auch Subeinheiten) bis zu nicht genannten bzw. unbekanntem Flächenanteilen mit dieser dominierenden Bodeneinheit vergesellschaftet werden.

AEPPLI & SCHÖNHALS (1975), die im Kartiergebiet vor dem gleichen Problem standen, stuften hilfsweise sowohl pedogenetische als auch ökologisch abgegrenzte Kartiereinheiten auf dem Niveau der Bodenhaupteinheit (soil unit) ein und erweiterten dadurch für ihre Zwecke beliebig das FAO-System. Eine vergleichbare Betrachtung war damit allerdings nicht mehr gegeben, zumal die hinzugekommenen "soil units" teilweise nach Kriterien abgegrenzt wurden, die den diagnostischen Einstufungsbefunden nach der FAO widersprachen.

Beispiel: Die Böden aus den älteren, ⁺ umgelagerten Feinaschen, den sog. "Toba-Sedimenten" (HEINE & SCHÖNHALS (1973) wurden als "Barroböden" (AEPPLI 1973) auf dem Niveau der Bodenhaupteinheiten eingestuft; auf das gleiche Niveau angehoben wurden auch die durch Erosion freigelegten kieselsäurereichen, verhärteten Unterbodenhorizonte (Duripans)- nach AEPPLI (1973) "Tepetate" - dieser Barroböden

und somit ebenfalls als eigene Haupteinheit betrachtet. Das Klassifikationssystem der FAO (1974, p5) ordnet aber Verhärtungen (Duripans) vorerst "soil phases" zu, weist aber ausdrücklich darauf hin, daß u.a. Duripans diagnostische Horizontmerkmale sind, zur Unterscheidung in verschiedene Bodenkategorien (offensichtlich in der 2. Niveaustufe), ohne diese wiederum zu katalogisieren, wie bei der SOIL TAXONOMY üblich. Bei der Erweiterung der Kartierung auf das gesamte Projektgebiet ordneten wir diese Kartiereinheiten unter strenger Anwendung der FAO-Systematik den CAMBISOLS zu. Bei den DURIPANS jedoch, waren wir wie AEPPLI & SCHÖNHALS der Ansicht, daß diese "badlands" wegen ihrer besonderen Eigenschaften auf der Karte als eigene Einheit auszuweisen seien.

Da sonst alle anderen Kartiereinheiten auf dem Niveau der Subeinheiten auf der Bodenkarte dargestellt sind, nahmen wir bei den Duripans die Inkonsequenz in der Darstellung in Kauf, indem wir sie wie Subeinheiten behandelten.

Aus Fig. 1 ist am Beispiel der Cambisols zu ersehen, daß bei konsequenter Anwendung der FAO-Klassifikation die 4 Kartiereinheiten der Duripans (Tepetate) gemäß den Forderungen der Systematik der Subeinheit Eutric Cambisols zuzuordnen sind, obwohl die Duripans D 1, D 2 und D 4 als Erosionsformen von Vertic, Chromic und Humic Cambisols auftreten. Allein dieses Beispiel zeigt, daß die Anwendung des FAO-Systems für eine Bodenkarte 1 : 100 000 mit einer gewissen Modifikation verbunden war. Die notwendigen Veränderungen sollten jedoch auf ein Minimum innerhalb der Klassifikation beschränkt bleiben und für den Kartenbenutzer noch nachvollziehbar sein. Der stärkste anwendungsbezogene Eingriff in die Klassifikation war daher die Unterteilung der Kartiereinheiten in die Boden-Subeinheiten und deren zahlenmäßige Erhöhung.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Zahl der Kartiereinheiten für die Duripans eng begrenzt blieb im Vergleich zu einer alternativen Einordnung nach der (SOIL TAXONOMY, 1975), bei der es - bei diesem Beispiel - allein 32 Möglichkeiten auf dem Niveau der "Subgroup" gegeben hätte. (Fig. 2).

Auch die vorgenommene Zuordnung der Duripans zu den Cambisols als deren Erosionsform zeigt beim Versuch der Einordnung in die SOIL TAXONOMY einerseits eine Fülle von Möglichkeiten im Bereich der Subgroup, andererseits aber auch die Tatsache, daß drei der Cambisols den Forderungen der Soil Taxonomy genügen, um sie in nur eine Subgroup (Typic Eutrochrepts) einzuordnen.

Selbst wenn man den Versuch mit nur einer Kartiereinheit, beispielsweise den Chromic Cambisols konsequent durchführt, so wäre das Bild wie bei den Duripans verwirrend genug. Je nach den Analysenwerten der verschiedenen Aschenlagen sind allein schon bei einer Zuordnung zu den CAMBORTHIDS auf dem Niveau der Subgroup theoretisch 19 Einheiten möglich. (Fig. 3)

Aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, daß - bei konsequenter Anwendung einer Systematik - man mit dem System der SOIL TAXONOMY besser zurecht kommt. Allerdings wird dann eine Bodenkarte nur noch für einen "Systemanalytiker" lesbar, wenn man keine Übersetzung beifügt.

Zurück zu der FAO-Nomenklatur unserer Bodenkarte: Nach der Zuordnung der Kartiereinheiten zu den Böden-Subeinheiten war die der Kartiereinheiten die mit den Subeinheiten der Systematik nicht deckungsgleich waren, noch lange nicht erschöpft, d.h. es blieben Kartiereinheiten "übrig", die zwar in der ersten Kategorie beispielsweise den CAMBISOLS zugeordnet waren, in der Kategorie der Subeinheiten aber keinen "Platz" mehr fanden, da dieser bereits belegt war. Dem Vorschlag von AMERIJKX (1975 a, b), der bei der Legende für die FAO-Europakarte 1 : 1 Mill. ein drittes Klassifikationsniveau eingeführt hatte, wollten wir aus praktikablen Gründen bei der Bodenkarte einer begrenzten Region im Maßstab 1 : 100 000 nicht folgen. Wir versuchten daher, auf dem Niveau der Subeinheiten keine weitere Unterteilung mehr vorzunehmen, sondern die abgegrenzten Kartiereinheiten gleichberechtigt nebeneinander zu reihen, sie der entsprechenden Subeinheit zuzuordnen und sie auf der Karte ggf. durch Farbnuancen bei gleichem Farbgrundton zu unterscheiden. Am Beispiel der Andosols kann das Vorgehen erläutert werden:

Die Haupteinheit "Andosols" wurde aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausgangsmaterialien regional unterteilt in:

- Andosols der Malinche
- Andosols der Sierra Nevada

Die regionale Unterteilung in diesem Maßstab war wegen der unterschiedlichen Erscheinungsformen der Böden aus völlig verschiedenen Herkunftsgebieten der Aschen notwendig. Bei den andesitisch dazitischen Aschen der Malinche handelt es sich um gleiche Ausgangsmaterialien, die $\frac{1}{2}$ gleichmäßig zur Ablagerung kamen.

Bei den andesitischen Aschen des Popocatepétl dagegen konnten wenigstens 3 Altersstufen sicher datiert werden (MIEHLICH 1974).

Alle Kartiereinheiten der Andosols in der gesamten Region ließen sich den Subeinheiten entsprechend zuordnen:

- a) vitric Andosols
- b) humic Andosols
- c) mollic Andosols
- d) ochric Andosols

Innerhalb der Subeinheiten traten jedoch erhebliche Differenzen auf, die im Maßstab 1 : 100 000 aber noch sicher zu trennen und als Kartiereinheiten darzustellen waren. Beispielsweise mußten alle Andosols der Malinche den Forderungen des FAO-Systems entsprechend den Vitric Andosols zugeordnet werden, unabhängig davon, ob es sich um voll entwickelte, schwach erodierte oder umgelagerte Böden handelte. Um diese wiederum voneinander unterscheiden zu können, wurden alle Andosols mit dem Buchstaben "T" (Haupteinheit nach der FAO) und anschließend mit Ziffern von 1 - 14 gekennzeichnet, um die Unterscheidung zu erleichtern. (WERNER et al. 1978)

Darstellung der Bodeneinheiten in der Legende:

Nach Haupt- und Subeinheiten gegliedert wurden in der Kartenlegende nur die wichtigsten Eigenschaften der jeweils zugeordneten Kartiereinheit genannt. Für eine weitergehende Darstellung stand kein Raum zur Verfügung, da die Kartenlegende in Spanisch und Deutsch gedruckt werden sollte.

Der Anhang des Erläuterungsbandes zur Bodenkarte bekam eine erweiterte Legende, die die Eigenschaften der Bodeneinheit besser herausstellt. Die Gliederung entspricht der auf der Kartenlegende und in den Erläuterungen. Nach Symbolgebung und dargestellten Bodengesellschaften erfolgt die Angabe über die Ausgangsgesteine der dominierenden Einheiten, gefolgt von Bodenart, Stein- und Carbonatgehalt sowie einer Spalte für die Gründigkeit. Aus Bodenart und Gründigkeit wurde die nutzbare Wasserkapazität des durchwurzelbaren Bodenraumes geschätzt und in der Legende angegeben: Nach der FAO-Legende wurde die Hangneigung in drei Stufen angegeben; für die Erosionsgefährdung wurden 5 Gefahrenstufen herausgestellt. Eine Spalte über die Verbreitung der Böden erleichtert das Auffinden auf der Karte. In der letzten Spalte wurden Nutzungsempfehlungen, Bearbeitungs- und Erosionsschutzmaßnahmen, sowie Hinweise für Beregnung und Melioration gegeben (vgl. Fig. 4, Legendenausschnitt der erweiterten Legende zur Bodenkarte).

Zusammenfassung:

Es ist möglich, Inhalt und Nomenklatur einer für die Weltbodenkarte im Maßstab 1 : 5 Mill. entwickelten Klassifikation auf eine Bodenkarte im Maßstab 1 : 100 000 zu übertragen, falls man gewisse Modifikationen vornimmt. Die FAO-Klassifikation wurde nur in dem Rahmen verändert, daß ihre Verständlichkeit dem Kartenbenutzer gegenüber nicht eingeschränkt wurde und die Modifikation für den gegebenen Maßstab logisch erschien. Sie wird in den Erläuterungen begründet. Das Beispiel der Bodenkarte aus dem mexikanischen Hochland zeigt, daß die FAO/UNESCO-Klassifikation für eine regionale Bodenkartierung im Maßstab 1 : 100 000 erfolgreich angewendet werden kann.

Literatur:

- AEPPLI, H. (1973): Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselseuchtem gemäßigtem Klima im zentralen Hochland von Mexiko.- Diss. Fachbereich Umweltsicherung, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- AEPPLI, H. & SCHÖNHALS, E. (1975): Los Suelos en la Cuenca de Puebla-Tlaxcala.- Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, VIII: 1-156, Wiesbaden (Steiner).
- AMERIJKX, J.B. (1975 a): Soil Units for the Soil Map of Europe 1 : 1 000 000.- Manuscrito, 1-8, Gent
- AMERIJKX, J.B. (1975 b): Mapping Soil Units (first draft). Soil Map of Europe 1 : 1 000 000.- (Manuscrito para FAO/ECA, 1 - 51), Gent
- HEINE, K. & SCHÖNHALS, E. (1973): Entstehung und Alter der "Toba"-Sedimente in Mexiko.- Eiszeitalter und Gegenwart, 23/ 24; 201-215, Öhringen
- KNEIB, W., MIEHLICH, G. & ZÖTTL, H.W. (1973): Clasificación regional de los suelos de la Sierra Nevada de México.- Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, 7; 11-13, Puebla
- MIEHLICH, G. (1974): Klima- und altersabhängige Bodenentwicklung von Vulkanascheböden der Sierra Nevada de México.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 18; 360-369, Göttingen
- MIEHLICH, G. (1978): Eigenschaften und Genese von Verhärtungslagen in Zentralmexiko ("Tepetate").- Münstersche Forsch. zur Geologie und Paläontologie 44/45; 27-41, Münster
- MIEHLICH, G. (1979): Vergleichende Analyse der Klassifikation von vulkanischen Ascheböden randtropischer Gebirge.- Mitteilng. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 29; (im Druck)
- MÜCKENHAUSEN, E. (1978): Die neue, von der FAO in Ausarbeitung gegebene Bodenkarte von Europa i.M. 1 : 1 Mill., ihre Mängel und ihr Wert.- In: Nagel, H. (Hrsg.): Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung.- Festschr. 60. Geburtstag v. Julius Fink, 357-363, Wien (Hirt)
- SCHÖNHALS, E. (1977): Duripans als Ursache der Bodenerosion im Hochbecken von Puebla-Tlaxcala.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 25; 489-496, Göttingen
- WERNER, G., AEPPLI, H., MIEHLICH, G. & SCHÖNHALS, E. (1978): Los Suelos de la Cuenca Alta de Puebla-Tlaxcala y sus Alrededores (Comentarios a un mapa de suelos).- Suplemento Comunicaciones Proyecto Puebla-Tlaxcala, VI; 1-95, 4 mapas, Puebla
- CETENAL (1974): Claves de Unidades de Suelos FAO/UNESCO, 1970, modificada por CETENAL (Comisión de Estudios del Territorio Nacional), México, D.F.
- CETENAL (1975): Definición de horizontes diagnósticos según FAO/UNESCO, 1970, modificada por CETENAL (manuscrito) México. D.F.
- FAO (1968): Definitions of Soil Units for the Soil Map of the World. World Soil Resources Report, 33; Rome
- FAO (1969): Supplement to Definitions of Soil Units for the Soil Map of the World. Rome
- USDA (1975): Soil Taxonomy.- A basic system for making and interpreting soil surveys.- Soil Survey Staff-Agricultural Handbook No 436; 1-754, Washington, D.C.

Bodeneinheit

nach FAO/UNESCO 1 : 5 000 000

Karteneinheiten

modifiziert für die Kartierung 1 : 100 000
im Hochland von Mexiko

Haupteinheit

Cambisol (B)

Cambisol (B) aus umgelagerten pyroklastischen Sedimenten
ohne freigelegten Duripan mit freigelegtem Duripan

Vertic Cambisol (Bv)

Vertic Cambisol (B1)

Hellgrauer Tepetate (D1)

Chromic Cambisol (Bc)

Chromic Cambisol (B2)

Gelbbrauner Tepetate (D2)

Subeinheiten

Eutric Cambisol (Be)

Eutric Cambisol (B3)
Eutric Cambisol (B6)

Hellbrauner Tepetate (D3)
- -

Humic Cambisol (Bh)

Humic Cambisol (B4)
Humic Cambisol (B5)

Grauer Tepetate (D4)
- -

Gleyic Cambisol (Bg)

Gleyic Cambisol (B7)

- -

nach der Einordnung in die FAO-Klassifikation
"Eutric Cambisol mit Duripanphase"

Fig. 1
Modifikation von Kartiereinheiten bei der Einordnung in die Bodeneinheiten nach der FAO/UNESCO-Klassifikation, dargestellt am Beispiel der Cambisols auf einer Bodenkarte 1 : 100 000 des Zentralen Hochlandes von Mexiko.

Order	Suborder	Great Group	Subgroup
Alfisols	Aqualfs	Duraqualfs	-----
	Ustalfs	Durustalfs	-----
	Xeralfs	Durixeralfs	Typic Durixeralfs Abruptic D. Abruptic Haplic D. Haplic D. Natric D.
Aridisols	Argids	Duragids	Typic Duragids Abruptic D. Abruptic Xerollic D. Haplic D. Haploxerollic D. Xerollic D.
	Orthids	Durorthids	Typic Durorthids Aquentic D. Aquic D. Entic D. Haploxerollic D. Xerollic D.
Inceptisols	Andepts	Durandepts	Typic Durandepts Entic D. Xeric D.
	Ochrepts	Durochrepts	Typic Durochrepts Dystric Entic D. Entic D.
Mollisols	Aquolls	Duraquolls	Typic Duraquolls Argic D. Natric D.
	Ustolls	Durustolls	-----
	Xerolls	Durixerolls	Typic Durixerolls Argic D. Aridic D. Entic D. Haplic D. Orthidic D.
Spodosols	Aquods	Duraquods	-----

Fig. 2:
Mögliche Einordnung der "Tepetate"(Duripans) in das System der
SOIL TAXONOMY (USDA 1975)

Order	Suborder	Great Group	Subgroup
Aridisol	Orthids	** Camborthids	Anthropic Camborthids Aquic C. Aquic Duric C. Borollic C. Borollic Lithic C. Borollic Vertic C. Duric C. Durixerollic C. Durixerollic Lithic C. Fluventic C. Lithic C. Lithic Xerollic C. Natric C. Ustertic C. Ustochreptic C. Ustollic C. Vertic C. Xerertic C. Xerollic C.
		* Durorthids	Typic Durorthids Aquentic D. Aquic D. Entic D. Haploxerollic D. Xerollic D.

Fig. 3:

Möglichkeiten der Einordnung der Kartiereinheit
 "Chromic Cambisol" ** mit ihrer Erosionsform
 "Gelbbrauner Tepetate" (Duripan) * in das System
 der SOIL TAXONOMY (USDA 1975)

Fig. 4: Erweiterte Legende zur Bodenkarte (Ausschnitt)

Symbol	Bodengesellschaft		Ausgangsgesteine	Bodenart,	Gründigkeit	Nutzbare Wasser-	Hangneigung	Erosionsgefährdung	Verbreitung	Nutzungsmöglichkeit
	dominierende Einheit	begleitende Einheit	der dominierenden Einheit	Stein- u. Carbonatgehalt		Kapazität des durchwurzelten Bodenraumes				und sonstige Hinweise
7. CAMBISOLS										
7.1 Cambisols ohne freigelegte Duripans (*Tepetate)										
7.1.1 Vertic Cambisols										
B1	vertisol-ähnliche Barroböden	Tepetate(D1) Tepetate(D2) Vertisols(V)	weißgraue Toba-Sedimente (umgelagerte vulkanische Aschen) häufig mit Kolluvialer Deckschicht	sandig-toniger Lehm bis lehmiger Ton, über lehmigem bis schluffigem Lehm	mittel- bis sehr tiefgründig	mittel bis hoch	a, b	3-4	Im Block von Tlaxcala; Umgebung von Puebla; im Südwesten des Projektgebietes assoziiert mit Vertisols	Für Ackerbau geeignet, aber schwierig zu bearbeiten. Mit zunehmender Mächtigkeit der Deckschicht Verbesserung der Nutzungseignung. Erosionsschutz erforderlich
7.1.2 Chromic Cambisols										
B2	gelbbraune Barroböden	Tepetate(D2) Tepetate(D1) Barroboden(B1)	gelbbraune Toba-Sedimente, häufig mit Kolluvialer Deckschicht	sandiger Lehm bis toniger Lehm über lehmigem Sand	mittel- bis tiefgründig	mittel bis hoch	a, b	3-4	Im gesamten Projektgebiet bis ca. 2700 m überwiegend im Block von Tlaxcala, an der Hängen der Sierra Nevada u. Malinche	Für Ackerbau geeignet, jedoch Neigung zur Austrocknung und Verhärtung. Bei Deckschicht keine Verhärtung und Verbesserung der Nutzungseignung. Erosionsschutz erforderlich.
7.1.3 Humic Cambisols										
B4	schwarzbraune Barroböden	Tepetate(D4)	hellgraue quart. Beckensedimente, meist stark geschichtet, häufig mit CaCO ₃ Lamellen; mit Kolluvialer Deckschicht	sandig-toniger Lehm bis lehmiger Ton, humos über lehmigem Sand örtlich carbonathaltig	mittelgründig	mittel	a, b	2-4	Becken von Apizaco-Muñoz	Für Ackerbau noch geeignet. Bearbeitbarkeit durch hohen Tongehalt beeinträchtigt. Bei Deckschicht Zunahme der Nutzungseignung
B5	dunkelbraune Barroböden	Tepetate(D2) Barroboden(B2)	dunkelbraune, humose kolluviale Sedimente aus Toba-Material, häufig mit Kolluvialer Deckschicht	schluffiger Sand bis sandiger Lehm, über schluffigem bis lehmigem Sand	sehr tiefgründig	sehr hoch	a, b	2-4	Zwischen Huejotzingo u. Puebla; Südhang des Popocatepetl; süd. d. Cerros Piñon bis Acaxtango	Für Ackerbau trotz geringer Verhärtungsneigung sehr gut geeignet, daher besser geeignet als die Barroböden (B1, B2, B3, B4 u. B7). B5 überlagern häufig ältere Duripans, die aus B2 gebildet wurden; Erosionsschutz erforderlich

Mikromorphologische Untersuchungen zur Genese
der Barroböden im zentralen Hochland von Mexiko

von

Poetsch, T.⁺

Die mikromorphologischen Untersuchungen konzentrierten sich auf die Böden des zentralen Beckenbereiches von Puebla - Tlaxcala (vgl. Bodenkarte von Werner u.a., 1978). In diesem Gebiet sind vor allem die sogenannten Barroböden (Cambisols nach der FAO - Klassifikation) sehr weit verbreitet. Innerhalb dieser Gruppe wurden die aus den hellgrauen Pyroklastika gebildeten vertisolähnlichen Barroböden (vertic Cambisols) mikromorphologisch detailliert untersucht.

Die Ausgangsgesteine dieser Böden sind, im Gegensatz zu vielen anderen Pyroklastiken, sehr komplex zusammengesetzt. Als größere Körner und Hauptbestandteile treten Feldspäte (überwiegend Hochtemperatur - Plagioklase), Glas- und Vulkanitbruchstücke und als Nebengemengteile Quarz, Hornblende, Pyroxen, Biotit und Olivin auf. Neben diesen vulkanischen Komponenten liegt eine relativ große Menge (ca. 10 Vol.-% der Festsubstanz) verschiedener Opale vor. Die Grundmasse bilden Tonminerale, sowie kleinste angewitterte Glassplitter (Hydrogelglas?) und andere nicht näher identifizierbare Glas - Verwitterungsprodukte. Akzessorisch treten opake Körner auf, sowie Eisen-Mangan - Anlagerungen in Form von Flecken und Konkretionen. In groben Poren sind Tonminerale und teilweise Opal angelagert.

Außer vieler anderer Bioopale enthalten die Ausgangsgesteine als auffallendes Merkmal viele Diatomeenschalen. Die Diatomeen sind bekanntlich vorwiegend planktonische Organismen und

⁺ Institut für Geographie und Wirtschaftsgeographie,
Universität Hamburg, Bundesstr. 55, 2000 Hamburg 13

dieser Befund zeigt, daß die Pyroklastika im Wasser sedimentiert worden sind. Dabei muß dieser ehemalige Sedimentationsraum nicht unbedingt ein See oder Fluß, sondern eher ein System von Tümpeln gewesen sein. Das Sedimentationsmilieu hat nachweislich einen Einfluß auf die Dichte der Kornpackung, d.h. auf die Porosität der Substrate: Grundsätzlich sind - bei vergleichbarer Korngrößenzusammensetzung - aquatisch sedimentierte Pyroklastika primär dichter gepackt als die subaerisch abgelagerten. Dementsprechend weist das zusätzlich auch noch sehr ungleichkörnige Substrat ein relativ dichtes Gefüge auf.

Gegenüber dem Ausgangsgestein zeigt das Solum deutliche Unterschiede: Das Verhältnis der räumlichen Verteilung der Tonminerale einerseits und der feinen Glassplitter andererseits läßt darauf schließen, daß die hohen Tongehalte der vertisol-ähnlichen Böden auf die Verwitterung ehemals hoher Glasreserven im Substrat zurückzuführen sind. Das Verteilungsmuster und die Form der Tonkomponente zeigen an, daß der Ton überwiegend "in situ" neugebildet worden ist, was mit dem Bilanzierungsergebnis von Aeppli (1973) gut übereinstimmt.

Nur ein kleiner Teil des Tons ist verlagert und kleidet größere Hohlräume aus. Der in Hohlräumen angelagerte Ton besteht häufig aus mehreren feinen Schichten unterschiedlicher Eigenschaften, wie vor allem in differenzierter Färbung; dies hauptsächlich als Funktion unterschiedlicher Gehalte an organischer Substanz. Eine weitere Differenzierung der Tonanlagerungen ergibt sich daraus, daß sie gelegentlich feine Ausscheidungen von "freier Kieselsäure" (Opal) in unregelmäßiger Wechsellagerung mit Tonmineralen aufweisen. Solche Ausscheidungen können allerdings erst unter Einsatz moderner phasenkontrast- und interferenzkontrastmikroskopischer Methoden sichtbar gemacht werden (Altemüller, 1974). Aufgrund mehrerer mikroskopischer Merkmale ist anzunehmen, daß sich diese Wechsellagerung auch im kleinsten lichtmikroskopisch nicht mehr auflösbaren Größenbereich fortsetzt.

Manchmal sind auch größere Ansammlungen reiner Opalmassen auszumachen (vgl. auch Miehllich, 1978). Ihre Kohärenz und Kompaktionsgrad ist sehr unterschiedlich: Zunächst entstehen als frische Präzipitate stark poröse und mechanisch wenig

widerstandsfähige Opalkörper, die vom Rande her - vermutlich hauptsächlich durch Wasserverlust - kompaktiert und durch Risse aufgegliedert werden. Endprodukte sind mechanisch feste charakteristische Opalkörner, die neben den Bioopalen eine wesentliche Komponente des Bodens darstellen.

Literatur

- AEPPLI, H., 1973: Barroböden und Tepetate. Unveröff. Diss., Universität Gießen
- AEPPLI, H. und SCHÖNHALS, E., 1975: Los Suelos de la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. - Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft, VIII, Wiesbaden
- ALTEMÜLLER, H.-J., 1964: Die Anwendung des Phasenkontrastverfahrens bei der Untersuchung von Bodendünnschliffen.
in: Jongerius, A. (Hrsg.): Soil Micromorphology, 371 - 390, Amsterdam
- ALTEMÜLLER, H.-J., 1974: Mikroskopie der Böden mit Hilfe von Dünnschliffen.
in: Freund, H. (Hrsg.): Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Bd. IV, Teil 2, Frankfurt a.M.
- BESOAIN, M.E., 1969: Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens. Unveröff. Diss. Univ. Bonn
- MIEHLICH, G., 1978: Eigenschaften und Genese von Verhärtungslagen in Zentralmexiko ("Tepetate")
Münster. Forsch. Geol. Paläont., 44/45, 27-41.
- TRÖGER, W.E., 1967: Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil II, E. Schweizerbart, Stuttgart
- WERNER, G., MIEHLICH, G., AEPPLI, H. und SCHÖNHALS, E., 1978: Bodenkarte des Hochbeckens von Puebla-Tlaxcala und seiner Randgebiete. Maßstab 1:100 000, Gießen

Danksagung: Die Arbeiten wurden im Rahmen des Mexiko-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter Leitung von Herrn Prof. Dr. E. Schönhals durchgeführt und finanziert. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft möchte ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

Mikromorphologische Eigenheiten rheinhessischer
Smonica - Profile

von

Stephan, S.

Der Name "Smonica" bezeichnet ursprünglich dunkle, schwere Böden der Balkan-Länder (Neugebauer u. Zakosek, 1962; Kabaktschiew u. Mückenhausen, 1969). Diese sind oft reich an Smectiten und dann sehr quellfähig. Nur für dunkle, tonreiche Böden mit starker Quellfähigkeit wird der Name Smonica jetzt noch gebraucht. Dieser so gefaßte Bodentyp entspricht den Vertisolen anderer Kontinente und Taxonomien.

Die Entwicklung der Smonica wird durch einen kräftigen Wechsel von Vernässung und Austrocknung begünstigt, so daß sie in unserem ausgeglichenen Klima selten vorkommt. Sie ist kein Waldboden, denn das Wurzelwerk des Waldes behindert ein Abscheren von Segregaten, wie dieses die Ausbildung bleibender Wurzeln behindert. Wo aber Klima und Vegetation günstig sind und ein geeignetes Substrat ansteht, wie hier und da in Rheinhessen, kann auch in Mitteleuropa Smonica vorkommen. Als Entstehungszeit gelten hier kontinentalere Klimaphasen. Über Verbreitung und Eigenschaften der rheinhessischen Smonica unterrichtet der Vortrag von Herrn Stöhr (Stöhr, 1979).

MIKROSKOPISCHE MERKMALE UND BODENBILDENDE PROZESSE

Die Mikromorphologie hat einen offenbaren Bezug zu den Prozessen des Bodens. Eine Bewertung dieses Zusammenhanges wird durch den Vergleich mit anderen vertischen Böden erleichtert. Hierfür standen Proben von bulgarischen Smonica-Profilen und ägyptischen Vertisolen zur Verfügung, die wir den Kollegen Kabaktschiew und Hanna verdanken.

Bioturbation und Pedoturbation

Gewöhnlich sieht man Pedoturbation und Bioturbation als Alternativen an. In den untersuchten Smonica- und Vertisol-Horizonten beruht die Durchmischung jedoch weitgehend auf der Kombination beider Prozesse. Immer zeigen sich Spuren einer biologischen Aktivität, wie sie sich in anderen Tonböden nicht so stark finden. Neben Rissen treten regelmäßig zahlreiche Bioporen auf. Häufig bilden die Füllungen von Tiergängen auffällige Flecken, wenn Materialunterschiede auftreten. Inkorporiert werden diese Flecken jedoch durch Verknetung, die sich an der eigenartigen Form vieler Flecken zeigt (z.B. Abb.1). Das Einkneteten ist wichtig, da eine vollständig biogene Einmischung in so schwerem Material nicht stattfindet.

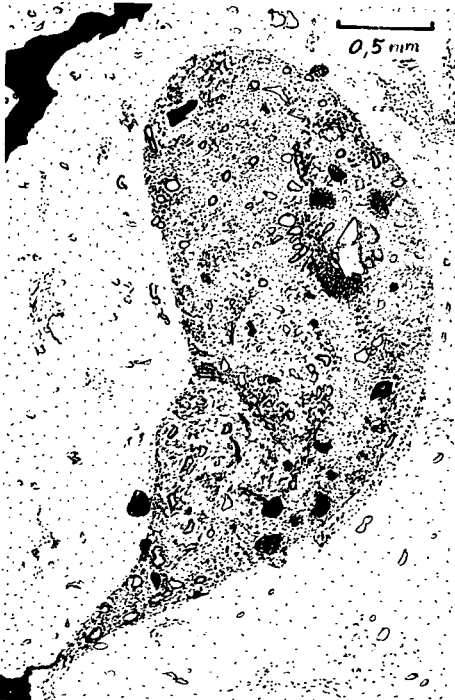


Abb.1

Verwürgte Füllung (Ah-Material)
eines Tierbaues im Cc-Horizont
der Smonica von Weinolsheim.
Gekreuzte Polarisatoren,
Hohlräume schwarz.

Humuskörper

Aufgrund dieser Einmischung ist in den Ah-Horizonten vertischer Böden das tonreiche, ziemlich kohärente Kolloid von dunklen Humuskörnern erfüllt, die oft Übergänge zu größeren organischen Resten zeigen. Hingegen gibt es keinen Hinweis darauf, daß ein erheblicher

Anteil der organischen Substanz kolloiddispers in organomineralischer Bindung vorliege. Dieser Aspekt verdient weitere Untersuchungen, zumal wir auch Hinweise fanden auf eine konzentrierende Sorption von ^{14}C -PCB durch organische Partikel in einer Parabraunerde (Stephan, 1978).

Segregation und Aufpressung

Für alle vertikalen Böden ist die keilförmige Segregation längs geeigneter Risse charakteristisch. Sie ermöglicht die größeren Materialverschiebungen. Wir fanden im allgemeinen einen Wechsel kohärenter Bezirke und zerrissener Schwächezonen entsprechender Lage. Manchmal läßt sich das Aufreißen in der Trockenheit bis in kleinste Dimensionen verfolgen. Es führt dann zur Bildung von Pseudosand bzw. zum selfmulching. Man muß daran erinnern, daß die Risse in der Feuchtphase des Bodens nicht existieren, also nur zeitweise zur Permeabilität beitragen. Die Smonica ist durch oberflächlichen Abfluß bei geringer Reliefenergie gekennzeichnet.

Plasma und Tonkutanen

Regelmäßig finden wir das Plasma differenziert, wobei vor allem eine klare, kolloidale Komponente zu erwähnen ist. Außerdem liegt eine doppelbrechende Komponente vor, die kleine, begrenzte oder verlaufende Schuppen bildet und mit verwitterndem Glimmer in Verbindung stehen kann. Meist ist die Zusammensetzung des Plasmas verdeckt durch die erwähnten Humuskörnchen und oft noch stärker durch große Mengen feiner Kalkschuppen.

Die für Terrae und Lehme typische, fleckweise Orientierung der Tonpartikelchen ist nur manchmal angedeutet. Scharen dünner Streßkutanen auf Scherflächen treten vor allem in bulgarischen Proben hervor, sie haben jedoch keine generelle Bedeutung und sind außerdem in weit entwickelten Bt-Horizonten anderer Böden häufiger und stärker, wo sie den Beginn vertikaler Prozesse anzeigen mögen. Ihr Fehlen könnte zwei Gründe haben: 1. Sichtbar ist die passiv eingeregeltere, illitische Komponente, die wirkenden Smectite bleiben unsichtbar. 2. In den erwähnten Bt-Horizonten ist die Matrix starr, während die in vertikalen Böden vielleicht gebildeten Kutanen wieder zerstört werden: Vertikale Böden bewahren eine erreichte Ordnung sehr schlecht. Aus den gleichen Gründen, vor allem aber mangels längerer

Durchsickerung treten die typischen Illuviationskutanen, also Tonbeläge in Leitbahnen kaum auf, und ggf. eingearbeitete Bruchstücke solcher Beläge bleiben nicht erhalten.

Eisenkonzentrierung

Im Dünnsschliff wird oft eine Eisenkonzentrierung sichtbar, die wegen der kurzen Wanderwege des Eisens und wegen der Humosität makroskopisch selten erscheint. Einige Profile zeigen Übergänge zu hydromorphen Böden.

KURZE KENNZEICHNUNG DER RHEINHESSENISCHEN PROFILE (ABB.2)

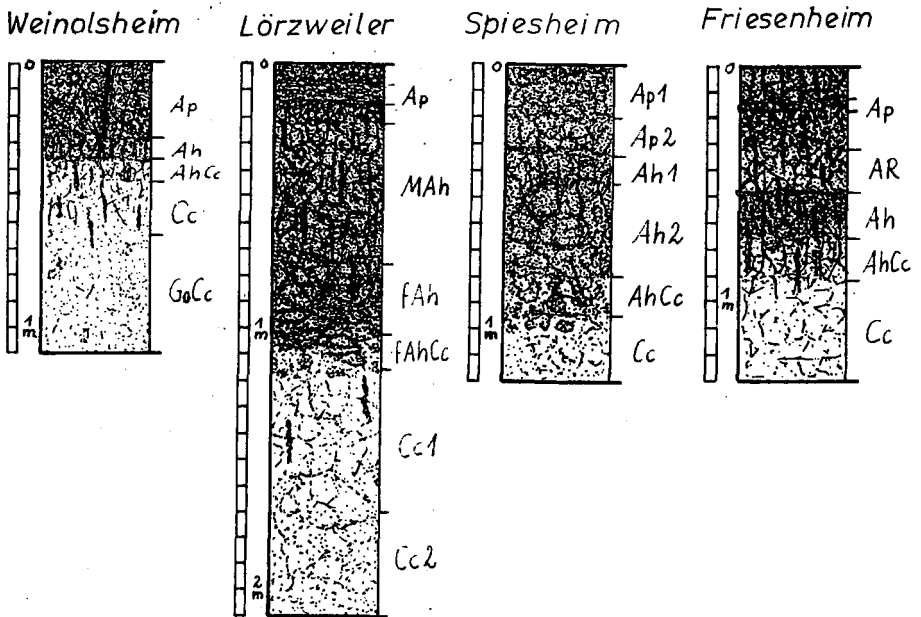


Abb.2

Aufbau von vier Profilen aus Rheinhessen. Glanzflächen nicht dargestellt.

An den Anfang stellen wir den flachgründigen, besonders tonreichen Boden von WEINOLSHEIM, weil dieser eher erodiert als überschüttet wurde. Im Untergrund zeigt sich Grundwasser-Einfluß, oben eine LÖß-Komponente.

Das Profil LÖRZWEILER enthält bis ziemlich weit hinunter Scherben und Hüttenlehm als Bestandteile einer kolluvialen Überdeckung. Der untere Abschnitt des dunklen Bodenteils zeigt diese Bestandteile nicht, er stellt den Rest der ursprünglichen Smonica dar und wurde fAh genannt. Darf man aber sein Hangendes insgesamt als Kolluvium bezeichnen? Sicher nicht! Denn da der vertikale Prozeß zur Einverleibung von Auflage-Material führt, sind weder der Begriff Kolluvium, noch das Decksediment-Konzept in vertikalen Böden voll anwendbar. Der untere Profilteil wird durch das Auffüllen der Senke dem Austrocknen entzogen, durch einen Wechsel zum feuchteren Klima übrigens auch, und so wird der fAh seit langer Zeit nicht mehr vom vertikalen Prozeß und von Fremdmaterial erreicht. Zudem nimmt die Häufigkeit des Aufreißen, wie auch die Weite der Spalten nach unten ab.

Das Profil SPIESHEIM ist relativ homogen und von etwas leichterer Bodenart. Der Weinbergsboden von FRIESENHEIM ist rigolt worden.

MIKROMORPHOLOGISCHER VERGLEICH (TAB.1)

Den Proben aus Rheinhessen und den Vergleichsprofilen ist gemeinsam, daß die biologische Durcharbeitung eine große Rolle spielt. Sie ist an Krümelung, Poren und Flecken zu erkennen. Bei den ägyptischen Proben ist die Bioturbation deutlich geringer.

Auf den Inhalt von Tierbauten und Spalten wirkt die plastische Verformung und führt zur Pedoturbation. Da sich die Verwirrung vor allem an Materialgrenzen zu erkennen gibt, die in den vertikalen Böden gering sind, wurde sie in der Tabelle nur unvollständig erfaßt.

Die Einregelung von Tonmineralen auf Scherflächen zu Streßkutanen kennzeichnet drei der vier bulgarischen und eines der ägyptischen Profile, ist aber bei uns nur gering. Tonhäutchen in permanenten Leitbahnen sind nur ausnahmsweise vorhanden, am häufigsten in Rheinhessen. Merkliche Orientierung innerhalb der Matrix zeigt sich nur an wenigen bulgarischen Proben.

In den europäischen Profilen ist Eisenkonzentrierung zu beobachten und ist zum Teil ausgeprägt.

Zur Kennzeichnung der physikochemischen Bedingungen wurde der Kalk angegeben, der in den bulgarischen Proben oft fehlt, in Rheinhessen und Ägypten jedoch große Bedeutung hat. Das Kalkprofil der rhein-

Tab.1: Mikromorphologische Merkmale

Horizont	GEFÜGE					KALK			DOPPELBR.TON				Re
	Feingefüge locker = 1 bis dicht = d	Bioporen	Risse	Flecken horizontfrem- den Materials	Verwürgung	als Skelett	als Anreicherung	als Kalkmehl im Plasma	als Plasmakomponente	orientiert in der Matrix	orientiert auf Scherflächen	Beläge in Poren	
SMONICA, RHEINHESSEN													
Weinolsheim													
Ap	(d)	++	+	(+)	(+)	++	(+)	+	(+)	-	(+)	-	+
Ah	(d)	++	+	++	++	++	++	+	(+)	-	-	-	+
AhCc	d	++	+	++	+	++	++	+++	(+)	-	-	-	++
Cc	(d)	+	+	+	+	++	++	+++	(+)	-	-	-	++
GoCc	d	+	+	(-)	+	++	++	+++	(-)	-	-	-	++
Lörzweiler													
Ap	(d)	++	-	-	(+)	+	-	+	-	-	-	-	+
MAh	d	+	++	-	+	(+)	-	-	-	-	(+)	+	+
fAh	d	+	++	(+)	+	+	-	-	++	-	-	+	++
fAhCc	(d)	+	+	+	+	+	+	+++	(+)	-	-	(+)	+
Cc1	(d)	+	+	(+)	(+)	+	++	+++	(+)	-	-	-	+
Cc2	(d)	(-)	(+)	(-)	(+)	+	++	+++	-	-	-	-	+
Spiesheim													
Ap1	(l)	++	(+)	(-)	+	+	-	-	++	-	+	-	-
Ap2	(d)	++	++	-	+	+	-	-	++	-	(+)	(+)	+
Ah1	(d)	++	++	-	+	+	-	-	++	-	(+)	(+)	+
Ah2	(d)	++	++	-	+	+	(+)	-	+	-	(+)	(+)	+
AhCc	(l)	+	+	(+)	(+)	+	+	++	(+)	-	(+)	(+)	+
Cc	(l)	+	(+)	(+)	(+)	++	++	+++	-	-	-	-	+
Friesenheim													
Ap	(l)	++	+	(+)	+	(+)	-	(+)	++	-	-	(+)	+
AR	(d)	++	+	+	+	+	-	(+)	(+)	-	-	(+)	+
Ah	(d)	++	+	+	++	+	(+)	(+)	(+)	-	-	-	+
AhCc	d	+	++	++	++	+	+	++	(+)	-	-	-	+
Cc	(d)	+	-	+	+	+	++	+++	-	+	-	+	-
SMONICA, BULGARIEN													
Draganzi													
Ap	(l)	++	+	+	+	-	-	-	++	+	+	-	+
Ah	d	+	++	+	+	-	-	-	++	+	(+)	-	+
AhBv	d	+	+	++	+	-	-	-	++	++	++	-	+
Bv	(d)	+	++	+	+	-	-	-	++	+	++	-	+
BvCc	(l)	+	++	++	+	-	+	++	+	(+)	+	-	+
Cc	l	++	+	++	++	-	++	++	++	+	++	(+)	+
Begowo													
Ap	l	++	(+)	(+)	+	-	-	(-)	++	(+)	-	-	+
Ah	(d)	++	++	+	+	-	-	-	++	(+)	++	(+)	++
AhBv	(d)	+	++	++	+	-	-	-	++	(+)	++	(+)	++
Bv	(d)	+	++	+	(+)	-	-	-	++	+	++	-	++
Cc	l	+	(+)	(+)	(+)	++	++	++	(+)	-	(+)	-	+

Staffelung der Bewertung: fehlend= -, (-), (+), +, ++ = sehr stark.
 Proben z.T. von I.Kabaktschiew, Sofia und F.S.Hanna, Kairo.

Horizont	GEFÜGE					KALK			DOPPELBR. TON				Fe Flecken, Konkret.
	Feingefüge 1 locker bis dicht = d	Bioporen	Risse	Flecken horizontfrem- den Materials	Verwürgung	als Skelett	als Anreicherung	als Kalkmehl im Plasma	als Plasmakomponente	orientiert in der Matrix	orientiert auf Scherflächen	Beiläge in Poren	
Sredez													
Ap	(1)	+	+	++	+	+	-	+	++	-	(+)	(+)	+
Ah	(d)	(+)	++	++	+	(+)	-	++	++	(+)	+	-	+
AhBv	(1)	+	+	+	(+)	-	-	++	+	(+)	+	-	++
Bv	(1)	+	++	(+)	(+)	-	+	-	+	(+)	-	-	++
II C	(1)	+	(+)	(-)	(+)	-	-	-	++	+	+	(+)	-
Tschirpan													
Ap	(d)	+	++	+	(+)	-	-	-	++	+	+	-	+
Ah	1	++	+	+	+	-	-	-	+	(+)	(+)	-	+
AhBv	1	++	(+)	+	+	-	-	(+)	+	+	(+)	-	+
Bv1	(d)	(+)	++	+	(+)	-	-	(+)	++	+	++	-	++
Bv2	(d)	+	+	+	+	-	-	(+)	++	+	++	-	++
BvCc	(1)	+	(+)	+	(-)	-	++	++	++	+	++	-	++
Cc	d	(+)	++	(+)	+	++	+	++	+	+	+	-	++
VERTISOL, KARUM-SEE, ÄGYPTEN													
Profil 5													
o-20	(1)	++	+	-	-	+	+	++	++	-	(+)	-	+
20-35	(d)	+	+	(+)	(+)	+	(+)	++	++	-	++	-	+
35-65	d	(+)	+	(+)	(+)	++	-	++	++	-	+	-	+
65-85	dd	(+)	++	-	-	++	++	++	+	-	+	+	+
85-100	dd	(+)	++	-	-	+	++	++	+	-	+	-	+
Profil 8													
o-15	(1)	++	+	-	-	+	-	+	(+)	-	-	-	-
15-50	(d)	+	+	-	-	+	(+)	+	(+)	-	-	-	+
50-75	d	(+)	++	-	-	+	(+)	+	(+)	-	(+)	-	-
75-100	d	(+)	++	-	-	+	(+)	+	+	(+)	+	-	-
Profil 9													
o-20	1	++	+	+	(+)	+	(+)	++	+	(+)	-	-	-
20-45	(1)	+	++	+	(+)	+	+	++	+	(+)	-	-	-
45-85	(d)	(+)	++	-	(+)	+	++	++	++	-	(+)	-	+
85-100	(d)	+	-	+	(+)	++	(+)	++	(+)	-	-	(+)	-

hessischen und der meisten bulgarischen Profile deutet eine rezente Auswaschung an.

Tritt die Smonica in Rheinhessen nur auf besonders geeigneten Substraten auf, so ist sie im Klima Bulgariens allgemeiner verbreitet. Die von dort genannten Profile entwickelten sich aus: umgelagertem Zersatz von Senon-Andesit, umgelagertem Zersatz von

paläozoischem Granit, mergeligem pliozänem Sediment und umgelager-
tem Zersatz eozänen Kalksteins. Damit steht nur der dritte dieser
Böden auf einem Gestein, das unseren rheinhessischen Funden ent-
spricht.

Die Untersuchung der Mikromorphologie der rheinhessischen Smonica
und der Vergleich mit bulgarischen und ägyptischen Proben führen
uns zu folgenden Schlüssen:

Mikromorphologisch läßt sich die rheinhessische Smonica gut an die
bulgarische Smonica und an ägyptische Vertisole anschließen.
Alle diese Böden zeigen erhebliche Bioturbation mit anschließender
pedoturbater Inkorporierung des eingebrachten Materials. Dabei ist
die Bioturbation in den ägyptischen Proben am geringsten.
Kolluviales Material wird unterschiedlich tief eingemischt und hat
den oberen Teil der rheinhessischen Profile stark überprägt.

ZITIERTE SCHRIFTEN

- Kabaktschiew, I. u. E. Mückenhausen (1969): Die Tonminerale einiger
Smolnitzen Bulgariens.- Z.Pflanzenern.Bodenkd. 122, 97-111.
- Neugebauer, V. u. H. Zakosek (1962): Die Smonica.- Notizbl.hess.
L.-Amt Bodenforsch. 90, 341-353.
- Stephan, S. (1978): Freeze-drying in soil microscopic preparation:
further examples for the protection of organic structures and
the control of dislocations.- Micromorfologia de suelos. Proc.
5th internat.working meeting soil micromorph.Bd.1, 233-254.
- Stöhr, W.Th. (1979): Dunkle Böden in Rheinhessen.- In diesem Band.

Beziehungen von humusmorphologischen
Merkmalen zur Wuchsleistung von Fichten

von

Babel, U.* und W. Bechter**

Moosmayer (1979) berichtet über Beziehungen der Wuchsleistung von Fichten zu regionalen und standörtlichen Einheiten der forstlichen Standortskartierung in Baden-Württemberg. Weiterhin gibt er Beziehungen zum C/N- und C/P-Verhältnis in den obersten 4 cm des Bodens, also zu chemischen Merkmalen der Humusprofile an. Parallel dazu sind die vorliegenden Untersuchungen zu sehen, in denen morphologische Merkmale der Humusprofile in Beziehung zur Fichtenwuchsleistung untersucht werden. (Über die Erfassung morphologischer Humusprofilmerkmale, die Voraussetzung für diese Arbeit, wurde früher vorgetragen: Babel, 1977.) Die Arbeit kann damit als Beitrag zum standortkundlichen Zeigerwert der Humusformen verstanden werden.

Untersuchungsflächen.

Im Wuchsgebiet Baar-Wutach wurden 22 Flächen auf mittlerem und (überwiegend) oberem Buntsandstein untersucht. Die Böden sind saure Braunerden und teilweise podsolig oder schwach pseudovergleyt. Die Fichtenbestände wurden von Bechter (1977) aufgrund ihrer Wuchsleistung in 7 Leistungseinheiten unterteilt. Von jeder (außer der geringsten) Leistungseinheit wurden 3 - 5 Flächen untersucht.

Methoden

Erste Geländebeobachtungen ließen eine Beziehung folgender 4 Merkmale zur Wuchsleistung vermuten:

- 1.) Mächtigkeit der Humusauflage,
- 2.) Mächtigkeit des Humusstoff-Horizonts,
- 3.) Konzentration von lebenden und toten Feinwurzeln in der Humusauflage,

*: Institut für Bodenkunde und Standortlehre, Universität Hohenheim

** : Landesforstverwaltung Baden-Württemberg

4.) Konzentration von mit bloßem Auge sichtbarem Pilzmyzel in der Humusauflage.

Diese 4 Merkmale wurden daher untersucht. Außerdem wurde

5.) die Breite des Übergangsbereichs von der Humusauflage in den Mineralboden

aufgenommen, da sie humussystematisch von Wichtigkeit zu sein scheint (v. Zezschwitz, 1976).

Diese Merkmale wurden an 16 Profilen je Untersuchungsfläche an Handproben bestimmt. Dabei wurden die Merkmale 1, 2 und 5 in mm gemessen, die Merkmale 3 und 4 nach einer Schätzsкала bestimmt (1: Merkmal nach Suchen zu finden; 5: Merkmal nimmt mindestens 1/2 des Volumens der Probe ein; siehe Babel, 1971). Die statistische Verarbeitung der Werte der Merkmale 1, 2 und 5 geschah mit t-Test, der Werte der Merkmale 3 und 4 mit Medianwert und Median-test.

Ergebnisse

Die Abbildungen 1 - 5 zeigen die statistischen Beziehungen zwischen den 5 erhobenen humusmorphologischen Merkmalen und der Wuchsleistung. Abb.6 gibt die Anzahl der gesicherten Unterschiede zwischen Flächen verschiedener Leistungseinheiten an, wobei dort nur die Leistungseinheiten 1 - 5 erfaßt sind, da laut Abb.1 die Mächtigkeit der Humusauflage von Leistungseinheit 5 zu 6 wieder abnimmt, was mit lichterem Bestand und anderer Standortsgeschichte der Flächen der Leistungseinheit 6 zusammenhängt.

Diskussion

Aufgrund der statistischen Beziehungen ergibt sich folgende standortskundliche Bewertung der 5 Merkmale:

Die Auflegemächtigkeit ist, abgesehen von extrem geringwüchsigen Flächen als Zeiger für geringe Wuchsleistung anzusehen. Dasselbe gilt noch etwas ausgeprägter für die Mächtigkeit des H-Horizonts, etwas weniger ausgeprägt für die Konzentration lebender und toter Feinwurzeln im Fm-Horizont, schwach ausgeprägt für die Pilzmyzelkonzentration im Fm-Horizont. Von Bedeutung ist der Zeigerwert dieser Merkmale insbesondere dort, wo der Mineralboden bessere Wuchsleistung erwarten ließe: dort ist starke Ausbildung dieser Merkmale Hinweis auf Oberboden- und Wuchsstörungen. - Die Breite des Übergangsbereichs von Humusauflage in den Mineralboden hat keinen Zeigerwert.

Zu den kausalen Beziehungen, die hinter den statistischen Beziehungen stehen, ist im Wesentlichen Folgendes zu sagen (vgl. Babel, in Vorbereitung):

Mächtige Humusauflage und H-Schicht bedeuten Nährstofffestlegung während des Wachstums der Auflage und Produktion saurer Humusstoffe, die zu Nährstoffauswaschung und Gefügeverschlechterung im mineralischen Oberboden führen. Sie stellen außerdem einen austrocknungsgefährdeten Hauptwurzelraum dar.

Viele lebende und tote Feinwurzeln in der Humusauflage sind Hinweis auf eine Überproduktion von Wurzeln durch periodische Austrocknung und Wiederbefeuchtung.

Viel Pilzmyzel in der Auflage ist ein Zeiger für Trockenheit.

Ein scharfer Übergang von der Humusauflage in den Mineralboden ist Folge geringerer Vermischung von organischer Substanz mit mineralischer durch die Bodenfauna.

Die Wertung der 5 untersuchten humusmorphologischen Merkmale kann zunächst nur regional, also im Wuchsgebiet Baar-Wutach gelten. Wie die Diskussion der kausalen Beziehungen zeigt, ist es möglich, daß unter anderem Regionalklima andere Beziehungen auftreten.

Literatur

- Babel, U. (1971): Gliederung und Beschreibung des Humusprofils in mitteleuropäischen Wäldern. Geoderma 5, 297-324.
- Babel, U. (1977): Beitrag zu den Grundlagen der Humusprofilbeschreibung. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 25, 623-631.
- Babel, U. (in Vorbereitung): Humusmorphologische Untersuchungen in Nadelholzbeständen mit Wuchsstörung. Mitt. Ver. Forstl. Stkde. 29.
- Bechter, W. (1977): Das Wachstum der Fichte im Wuchsgebiet Baar-Wutach. Schriftenreihe Landesforstverw. Baden-Württ., Bd. 49.
- Moosmayer, H. U. (1979): Die Bedeutung der Bodenkunde für die Forstwirtschaft. Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges. 29.
- v. Zezschwitz, E. (1976): Ansprachemerkmale der terrestrischen Waldhumusformen des nordwestdeutschen Mittelgebirgsraumes. Geol. Jahrbuch F3, 53-105.

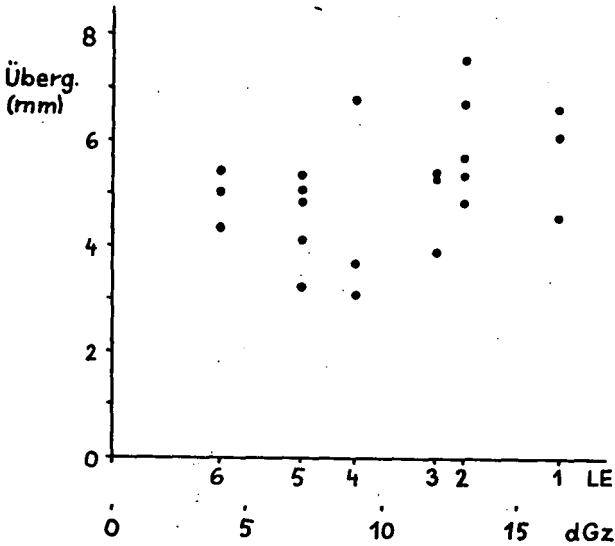


Abb. 5: Breite des Übergangsbereichs von der Humusaufgabe in den Mineralboden in Beziehung zur Wuchsleistung. $r = +0,45$
LE: Leistungseinheit

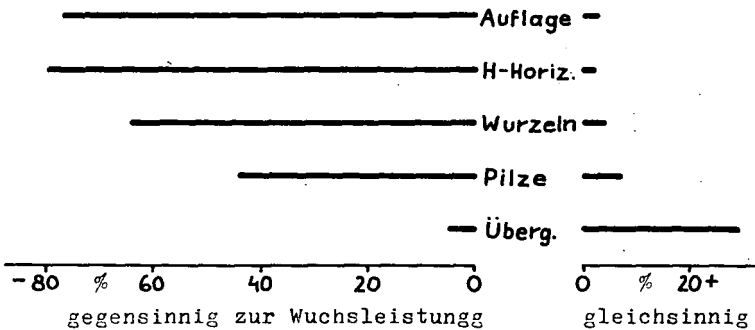


Abb. 6: Anzahl der gesicherten Unterschiede zwischen Flächen verschiedener Leistungseinheiten; (19 Flächen der Leistungseinheiten 1 - 5, Angaben in % der 142 einzelnen Vergleiche).

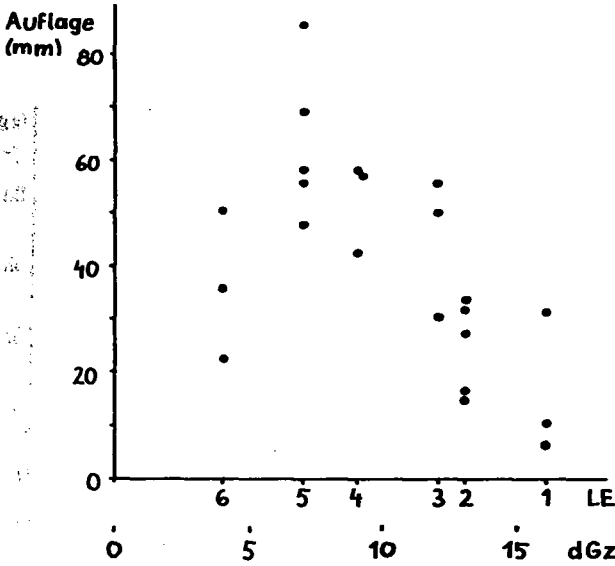


Abb.1: Mächtigkeit der Humusauflage (Mittelwert aus 16 Einzelmessungen) in Beziehung zur Wuchsleistung. $r = -0,83^{***}$
LE: Leistungseinheit

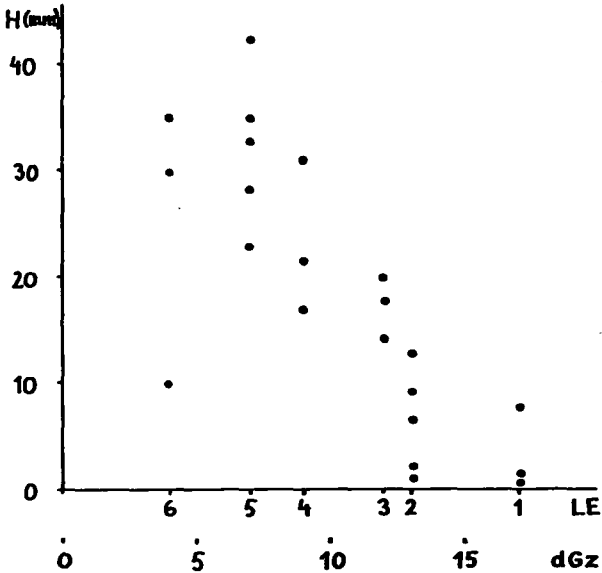


Abb.2: Mächtigkeit des H-Horizontes in Beziehung zur Wuchsleistung. $r = -0,83^{***}$

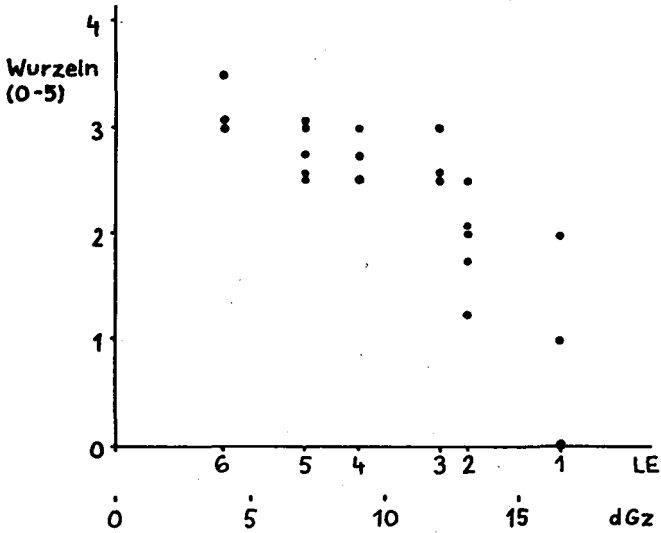


Abb.3: Feinwurzeln im Fm-Horizont (Schätzskala 0-5, Medianwerte von je 16 Einzelschätzungen) in Beziehung zur Wuchsleistung.
LE: Leistungseinheit

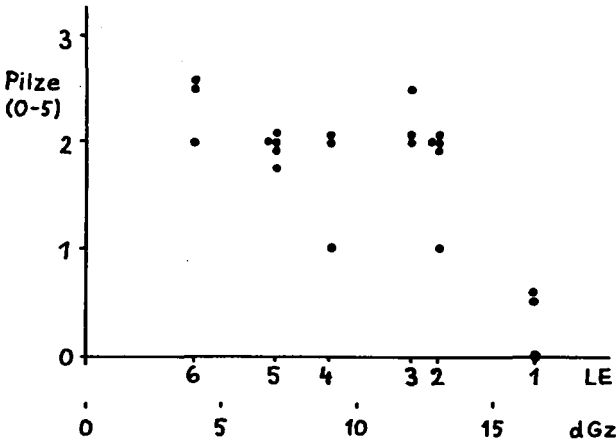


Abb.4: Pilzmyzel im Fm-Horizont (Schätzskala 0-5, Medianwerte von je 16 Einzelschätzungen) in Beziehung zur Wuchsleistung.

Beitrag zur Objektivierung der DBG-Bodensystematik
(2. Entwurf Juli 1979)

von

Schlichting, E.⁺ und H.-P. Blume⁺⁺

Vorbemerkungen:

a) Selbst bei "Zentralkonzept"-Systemen ist Quantifizieren nötig, um das Klassifizieren zu erleichtern und Karten vergleichbar zu machen. Zwecks besserer nationaler wie internationaler Koordination haben wir uns weitgehend an Vorschläge der GLÄ und der FAO bzw. der Soil Taxonomy (ST) gehalten.

b) Die (aus der DBG-Systematik übernommenen, z.T. jedoch kürzer benannten) Bodentypen sollten weitestgehend, die Subtypen weitgehend als Horizontkombinationen definiert werden; Quantifizieren bedeutet hier also Definieren von Horizonten.

c) Rationelles Definieren erfolgt positiv und (im Wortsinne) konsequent; entsprechend wird sowohl bei den Horizonten als auch bei den Böden verfahren (ein Bestimmungsschlüssel gegeben, keine genetische oder geographische Erklärung).

d) Die folgenden Definitionen sind weder hinsichtlich der diagnostischen Merkmale noch der Bodentiefen vollständig, sondern nur Beispiele für das u.E. erforderliche weitere Vorgehen.

Benutzte Abkürzungen und Zeichen:

Aggr. = aggregiert, Aggregate, sin = singular, Ko = Konkretionen, n = naß, fe = feucht (FK), tr = trocken (PWP); S = Sand, U = Schluff, L = Lehm, T = Ton; o.S. = organische Substanz; d = dithionit-, p = pyrophosphatextrahiert, t = total;

⁺ Inst. f. Bodenkunde, Schloß, 7000 Stuttgart 70

⁺⁺ Inst. f. Ökologie - FG Bodenkunde -, Englerallee 19/21, 1000 Berlin 33

Vor Merkmalen Zahlen bzw. + = und (additiv), Buchstaben bzw. / = oder (alternativ); (\dagger)>/(\dagger)< = (nicht)größer/kleiner als; ↓/↑ nach unten/oben.

Farbton (hue), Farbwert (value), Farbtiefe (chroma) n. Munsell (feucht).

1.

Bodenlagen (Gehalte o.S. v.ges., T v. mineralischem Material, GLÄ-Vorschläge in [])

F	organ.Hor.an Gewässergrund (Röhrichtzone s.H)		o.S. >1 %
H	organ.Hor.an Oberfl., naß >30 folg.Tage/gedrängt		o.S.>30 %
nH [Hn]	Reste v.Phragmites/Typha/ Carex/Hypnum/Alnus/Salix		
üH [Hü]	Reste v.Betula pub./Pinus silv./ Scheuchzeria pol.+n/hH		
hH [Hh]	Reste v.Sphagnum-Eriophorum (Drosera)/Zwergsträuchern		
HA [Aa]	organ.Hor.an Oberfl., naß >30 folg.Tage/gedrängt		o.S. 15-30 %
L [OL]	Streu an Oberfläche		o.S. >30 %, grobe o.S.>95 Vol.%
O	organ.Hor.an Oberfläche		o.S. >30 %
A	min.Hor. im Oberboden	Akk. v. o.S./	Verarmung an Mineralen
B	min.Hor. im Unterboden	Akk.	/ Änderung v. Mineralen
B	min.Hor. im Grundwasserbereich		
C	Lockergestein fe grabbar	a) monomineral	Härte <3 b) polymineral: in 15 h ± calgondisper- gierbar

all(uvial): feinschichtig/o.S. unregelm.↓</o.S.>o.35 %
bzw. sulfidisch bis 125 cm

sil(ikatisch)-me(rgelig)-ka(lkig): Kalk-2-5o-%

ton(ig): T >45 %

R Festgestein Min.bestand s.C

D Deckschichten

dD [Y] kaum Lebensspuren + Bauschutt/Müll

pD [E] >5o cm u.o.S.>1% m.Kulturresten// 1% Citr.sr.-P>11o ppm/↓<

kD [M] 1. geschichtet + o.S. >1 %
2. Unterhang - kD + A >Oberhang - A ↓

2.

Horizontmerkmale

fermentiert:	zerkleinerte, geschwärzte Pflanzenreste, grobe o.S. >2o Vol.%	f
--------------	---	---

humusakkumuliert:	1. humifiz. o.S.>o,6/o,9/ 1,2 % b. S/L/T	h
	2. b.Komb.m. s(s.u.): Fe _d >8	

reduziert:	1. rH ≤19 und naß >18o Tage/gedrönt	r
	2. Farbton N/blauer als 5 Y >9o %	

oxydiert:	1. rost-(bes.Aggr.oberfl.)/ kalkfleckig	o
	2. über Grundwasser/dräniert	

sesquioxidakkumuliert:	1. Farbton ≥1 Stufe roter als ↓ u.↑	s
	2. b. Komb. m. o: FeMn-Ko >2 cm	
	3. b. Komb. m. h: Fe _d : o.S. >3	

sauergebleicht:	1. Farbwert ≥4 (tr ≥5), Farbwert: Farbtiefe ≥2,5	e
	2. über h/s/hs	

marmoriert:	1. zeitweilig naß und $rH \leq 19$ /gedrängt	g
	2. a) Farbwert ≥ 4 u.-tiefe $\leq 2,5$ u. FeMn-Ko	
	b) Matrix Farbton 2,5 Y/5 Y u. Rostflecken, Aggr.oberfl.: Farbtiefe o/l	
naßgebleicht:	1. s. sauergebleicht l. u. marmoriert l., ohne Ko.	eg
	2. über g	
tonakkumuliert:	1. \downarrow auf < 30 cm + Ton $> 3/5/8\%$ b.S/L/T	t
	2. a) Tonhäute a.Aggr.oberfl.u. i.feinen Poren/ > 1 Vol.% i. Dünnschliff	
	b) Tonbrücken zw. Sandkörnern	
lessiviert:	1. \downarrow % Ton $>$	l
	2. über t	
rubefiziert:	1. Festgesteinsreste < 5 Vol.%	u
	2. Farbton ≥ 2 Stufen roter als \downarrow u. Farbwert < 4 (trocken \leq feucht + 1)	
	3. verwitterbare Min. (U+S-Fsp.bzw. Vertr.-FeMgMin., Gläser, 2:l-Tmin) Spuren	
	4. Ton > 15 %, stellenweise dispergierb. T < 5 %	
	5. KAK: Ton < 16 (sofern nicht viel Al-Chlorit)	
	6. $KAK_r / (S\text{-Wert} + Al_a) : \text{Ton} < 10$	
verwittert:	1. Festgesteinsreste < 50 Vol.%	v
verbraunt:	2. Kalk/V-Wert $< \downarrow$	
verlehmt:	3. F.ton roter/-tiefe $< / \% T > \downarrow$	
	4. KAK: T > 16 /Muskovit > 6 % / verwitt.Min. > 3 % (für R_v genügt l., für C_v 2.)	

kalkakkumuliert:	1. Carbonate >15 %	c
	2. Carbonate >C/G + 5%/Sek.kalk >5 Vol.%	
salzakkumuliert:	a) Sätt.extr.>4 mS/cm bis 25 cm u. pH(H ₂ O)>8,5	z
	b) el.Leitf.i.Sätt.extr.>15 mS/cm i.0-125/90/75 cm i.S/L/T	
gefügeabgesondert:	grobpolyedrisch-prismatisch	a
vertisch:	1. meistjährig Risse >1 cm ↑ Oberfl./ Obergrenze B	x
	2. keilförm.Aggr. i.Oberb./Scherfl. i.Unterbo.	
verfestigt:	tr Fragmente zerfallen nicht i.Wasser	m

ferner:

dys-, meso- u. eu(troph): V-Wert - 30 - 70 - %

lo(cker): feRg <0,85

Sekundärkalk: fingernagelritzbare Ko/Calcane/Mycel (auch fe) (c)

Ähnlich können andere feststellbare, aber unterhalb der Definitionsschwelle liegende Merkmale in () gesetzt werden.

3.

Diagnostische Horizonte (Mächtigkeit groß, (gering), GLÄ-Vorschläge in [])

F F >60, (F) <2 cm/<1 % o.S.

H wenn Sphagna >75 Vol.% /

feucht Rg <0.1

H >60, (H) 30-2 cm

sonst

H >40, (H) 20-2 cm

HA Aa

HA >50, (HA) 25-2 cm

O

O >20, (O) <2 cm

Mull-A_n: 1. feucht nicht koh + hart/trocken nicht sehr hart
2. Farbwert <3,5 (≤5 b.Kalk >40 %), trocken <5,5,
Farbtiefe <3,5
3. V-Wert >50
4. 1 % Citr.sr.-P <110 ppm/↓>/P-reiche Konkr.
/dunkel/ oder "hell"

b.Farbtiefe

[Mull-A_n] ≤2, "Mull-A_n" 2-3,5

wenn Solum >75 cm	$\underline{\text{Mull-A}_h} > 50$, (Mull-A_h) 25-2 cm
Solum <75 cm	$\underline{\text{Mull-A}_h} > 35$, (Mull-A_h) 18-2 cm
Solum über R	$\underline{\text{Mull-A}_h} > 20$, (Mull-A_h) 10-2 cm

Kulto-A = Ap nicht Mull-A_h 4. Nano-A = (A) [A₁]: <2 cm

A_h nicht Mull-A_h 1.-4. Krypto-A = A(h): o.S. < h

G_r "tief" "G_r" unter 100 cm

G_o $x = 10 + (0,5 \cdot \% T) \text{ cm}$ $\underline{\text{G}_o} > 2 \times (\text{G}_o)$ 0,5 x bis 1 cm

G_{oc} s. s 2., G_{oc} s. c

B_{hs} unter 12,5 cm/Ap Subhor. m.

a) >2,5 cm o.S. + Fe/Al-zementiert/-umhüllt/
m. o.S.-Aggr.

b) $(\text{Fe} + \text{Al})_p / (\text{c} + \text{Al})_p$: Ton $\geq 0,2$ und

$(\text{Fe} + \text{Al})_p : (\text{Fe} + \text{Al})_d \geq 0,5$

$x = 100 : 1,5 (\text{KAK} - 0,5 \cdot \% \text{ Ton}) \text{ cm}$

$\underline{\text{B}_{hs}} > 2 \times (\text{B}_{hs})$ 0,5 x - 1 cm

B_h s. h 2., B_s s. s 3

Bändchen-B_s = B_{bs}: m und <1 cm

A_e $\underline{\text{A}_e} > 40$, (A_e) <2 cm (diskont.)

B/C_g [S_d] $\underline{\text{B}_g} > 60$, (B_g) 30 - 5 cm

A_{eg} [S_{ew}] $\underline{\text{A}_{eg}} > 40$, (A_{eg}) <2 cm (diskont.)

B_t wenn Solum <150 cm/sL-T $\underline{\text{B}_t} > 30$, (B_t) 7,5-2,5 cm

wenn Solum >150 cm/S-SL/Σ B_{bt} $\underline{\text{B}_t} > 50$, (B_t) 15 - 5 cm

Bändchen-B_t = B_{bt}: <1 cm

A₁ $\underline{\text{A}_1} > 40$, (A_1) <10 cm

B_u $\underline{\text{B}_u} > 60$, (B_u) 30 - 5 cm

B_v $\underline{\text{B}_v} > 50$, (B_v) 25 - 5 cm

B_a [P] $\underline{\text{B}_a} > 40$, (B_a) 20-10 cm

Unterhalb der Definitionsschwelle ausgeprägte Merkmale werden dem ausgeprägten vorgeschaltet (z.B. schwacher B_g + deutlicher B_t = B_{gt}).

4.

Bodentypen (und -subtypen).

Auflagehumus-Horizonte gehören zum Bodenprofil, werden aber aus Rationalisierungsgründen in typischen Kombinationen (= Humusformen) vorweg behandelt.

- L + Of + O_h > A_h, dys = Roh (humus)
 L + Of + O_h > A_h, eu = Tangel (humus)
 L + Of + |O_h| > A_h (trocken = a) = Pech (humus)
 L + Of + O_h ≤ A_h = Mo (der)

Horizontkombinationen bis 100 cm, sofern nicht anders angegeben.
 Kurzformel nicht immer Horizontsymbole. O- und C- bzw. R-Horizonte nur dort angegeben, wo diagnostisch. Mindestmächtigkeiten von A_e, A₁, A₂ und B_v = über den A_h hinausgreifend, mächtige Variante = nur dieser Horizont, andere = bis Oberfläche.

Fα Unterwasserboden

α:
 () = U.W.rohboden, f = Dy,
 r = Sapropel, h = Gyttja

αH Moorboden

α:
 h = Hochmoor, n = Niedermoor,
 ü = Übergangsmoor

[X] C_{all}G₀*Auenboden
 *oder Grw.Ø > 130 cm

X:
 (A) = Rambla, |A_h| = Tschernitza,
 A_h = Paternia, A_hB_v = Vega.
 C_{all}:
 ka = Borowina

C_{all,z} Marschboden

oder

Salzmarsch Kalkmarsch Kleimarsch
 Torfmarsch
 Seemarsch Brackmarsch Flußmarsch
 Torfmarsch

[X] G_r (Naß) gley

X:
 (H) = Torf-, HA = Anmoor-, A_h = Bleich-,
 A_{ho} = typ.

A_h [X] G₀ (G_r) Gley

G_r = Oxi- (s = eisenreich)
 X-, G₀:
 c/me = kalkhält., ka = Kalk-,
 A_h:
 o.S. > 8 % = Humus-, sonst = typ.
 X:
 A_e = Podsol-, (B_v) = Braun-, (B_t) = Lessivé-,
 (B_g) = Stau- [Pseudogley-], (B_a) = Pello-

[X] A _{eg} B/Cg	Stagnogley	X: (H)=Torf-, sonst = typ.
[X] B _g [Y]	Pseudogley	X u. Y = A _{hg} u. CR, B _g : B _{tg} =Lessivé-, B _{ag} =Pelo-, sonst= typ. X: (H)=Torf-, A _h (B _v)=Braun-, Y: G _o =Gley-
[X] A _{e1} B _t [Y]	Fählerde	X u. Y A ₁ u. CR, A _{e1} : A _{1e} A _{1s} =Podsol-, B _t : B _{gt} =Stau-[Pseudogley-], sonst = typ. Y: G _o =Gley-
[X] B _t [Y]	Parabraunerde	X u. Y A _h A ₁ u. CR, B _t : B _{gt} =Stau-[Pseudogley-], dys=dystroph, sonst = typ. X: Mull-A _h / A _h = Tscherno-, G _o = Gley-
[X] B _{hs} [Y]	Podsol	X u. Y O _f O _h A _h A _e u. CR, B _{hs} : B _s =Eisen-, B _h =Humus-, B _{ps} =Bändchen-, B _{sm} =Ortstein-, B _{vs} =Braun-, sonst=typ. X: A _p =Kulto- Y: B _g =Stau-, B _t =Lessivé-, B _v =Braunerde-, G _o =Gley-
[X] B _u R _v /R _{ka}	Terra rossa	
[X] B _{av} R _v /R _{ka}	Terra fusca	X A _h , B _{av} : B _{gav} =Stau-, me=kalkhalt., sonst=typ. X: Tangel=Tangel-, A _h A ₁ =Lessivé-, A _h (B _v)=Braun-

[X]B_uR_v/R_{sil} Roterde

[X]B_v[Y]

Braunerde

X u. Y A_h u. C/R, B_v:
GB_{ov}/B_vG_o=Gley-, B_{gv}/B_vB_g=Stau-,
(c)=Kalk-, lo=locker-, eu=Eu-,
dys=Sauer-, sonst=typ.

X:

A_{eh}B_{sv}=Rost-, A_eB_{sv}=Podsol-,

Y:

(B_a)=Pelo-, (B_{av})C/R_{ka}=Fusca-,

(B_v), Y:

R_{sil}=Ranker-, C_{sil}=Rego-,

R/C_{me}=Mergel-, 2) R/C_{ka}=Rendzina-

[X]B/C_a[Y]C/R_{ton} Pelosol

B_a:

B_{ga}=Stau-[Pseudogley-], B_{ta}=Lessivé-
(einschl.Phäno-), sonst typ.

X:

(B_v)=Braun-, A_{xh} B/C_{xa}=Verti-

Y:

G_{or}=Gley-, C/R_{me}=Mergel-,

R_{vsil}=Ranker-

Mull-|A_h| (c) Y Tschernosem

A_h[Y]:

Mull-A_h A_h C_c=Gris-, A_hA_{th}C_c=Lessivé-,
sonst=typ.

Y:

A_{gh}C_g(c) IIC_g=Stau-[Pseudogley-],

G_{oc}=Gley-

Mull-A_h(c)C_c Kastanosem

A_h X C_{me}

Pararendzina

A_h:

() =Syro[sem]-, Mo=Moder-,

Mull-|A_h| (c) =Tscherno-,

Tangel=Tangel-, sonst=typ.

X:

(B_v)=Braun-, G_{oc}=Gley-, C_g=Stau-,

R=Litho-

2) Pararendzina

$A_h[X]R_v/R_{ka}$ Rendzina

A_h :

() =Syro [sem]-, Mo=Moder-,
Pech=Pech-, Tangel=Tangel-,

A_{ah} =Pelo-, $A(h)$ =Xero-, sonst=typ.

X:

(B_v)=Braun-, (B_{av})=Fusca-,

R:

G_{oc} =Gley-, S_g =Stau-, C=Rego-

$A_h[X]C_{sil}$ Regosol

A_h :

(h)=Syro [sem]-, Mo=Moder-,

Roh=Rohhumus-, dys=Sauer-,

$A_{eh}(B_{sv})$ =Rost-, sonst=typ.

$A_h[X]R_{sil}$ Ranker

X:

(B_v)=Braun-, (A) b.Ranker, (A_eC_s)=
Podsol- b. Ranker

(A)C Lockersyrosem

(A)R Syrosem (A)*

* nur lückig vorhanden

Die Bedeutung der Bodenbearbeitung
für die Veränderungen von ackerbaulich genutzten Böden

von

G.Schwerdtfeger

Alle Anthropogenen Böden sind durch landwirtschaftliche oder gartenbauliche Nutzung entstanden. Hierbei ist die Form der Bodenbearbeitung von ausschlaggebender Bedeutung. Diese findet vorwiegend auf ackerbaulich genutzten Böden statt. Von den Grünlandflächen werden intensiv genutzte Weiden zwar öfter in mehrjährigem Turnus umgebrochen und neu angesät, doch das meiste Dauergrünland bleibt langfristig ohne Bodenbearbeitung. Dasselbe gilt für forstlich genutzte Flächen.

Terrestrische Böden werden in größerem Umfange für den Ackerbau genutzt als Hydromorphe Böden. Daher werden letztere erst in einer späteren Arbeit auf ihre Veränderung durch ackerbauliche Nutzung untersucht. In der Klasse der Terrestrischen Anthropogenen Böden - A k Terrestrische Kultosole - unterscheidet MÜCKENHAUSEN (1) die in der Tabelle 1 aufgeführten Bodentypen I bis IV. Diese werden durch die Bodentypen V Treposol und VI Agrosol ergänzt.

Tabelle 1 Terrestrische Kultosole (10)

I	Plaggensch	Einstreu von Heide- und Grasplaggen
II	Erdesch	Einstreu von sandiger Erde
III	Hortisol	langjährige intensive Gartenkultur
IV	Rigosol	in einem Bearbeitungsgang umgestaltet
V	Treposol	Tiefumbruch, Einebnung oder Auftrag
VI	Agrosol	Krumenvertiefung

Zu den Treposolen gehören beackerte Parabraunerden und Pseudogleye, die zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes 0,7 - 1,2 m tief umgebrochen worden sind. Ebenso sind sand-

gemischte Moore bis 2,3m Tiefe gepflügt worden, um ein Drittel Sand mit zwei Drittel Moor in Wechsellagerung zu bringen. Charakteristisch ist die durch den Pflug erfolgte Schrägstellung dieser Schichten.- Auch Podsole, deren B_{sh} -Horizont 0,4m und tiefer liegt, werden durch Tiefumbruch zu Treposolen. Es bleibt abzuwarten, ob eine bis 1,2m arbeitende Tiefspatenfräse, von dem ein niederländisches Lohnunternehmen über ein Dutzend Maschinen im Einsatz hat, eine gleich gute Arbeit leistet (2). All diese Maßnahmen des Tiefumbruchs können nur mit Spezialgeräten durchgeführt werden. Daher ist der einzelne Landwirt nicht in der Lage, sie selbst auszuführen.

Krumenvertiefung

Im Gegensatz zur Tiefkultur können Krumenvertiefungen in jedem landwirtschaftlichen Betrieb mit leistungsstarken Traktoren selbst durchgeführt werden, wenn die Böden dieses zulassen. Im allgemeinen nimmt die Ertragssicherheit eines Standorts mit der Krumenmächtigkeit zu. Sie ist wiederum auf fast allen Standorten eine Frage der Pflugtiefe. Daher ist mit zunehmender Zugkraft eine weitere Krumenvertiefung auch heute noch sinnvoll. Aufgrund der erreichbaren Arbeitstiefe bieten dabei die Schwergrubber eine Alternative zur Pflugarbeit. So werden auch Verdichtungen im Unterboden durch Pflugsohlen und Fahrspuren schwerer Maschinen vermieden oder beseitigt. Der Einsatz von Spezialmaschinen (3) für diese Aufgabe beschränkt sich auf Garten-, Park- und Sportflächen, Baumschulen und Weinberge, da dort tiefergreifende Bodenbearbeitungsgeräte nicht zur Verfügung stehen.

Diese Krumenvertiefung ist nicht auf allen Böden möglich. Wenn im Gebiet von Breisach Auenböden bewirtschaftet werden, bei denen der Kies schon 0,25 m unter der Oberfläche ansteht, so kann auch nicht tiefer gepflügt werden. Von besonderer Bedeutung ist aber, daß diese Pflugtiefe vor wenigen Jahrzehnten noch für alle Böden zutraf. Bei MÜCKENHAUSEN (1) schwankt die Mächtigkeit der A_p -Horizonte in zwölf Profilen zwischen 0,22 und 0,27 m; der durchschnittliche Wert der Krumenmächtigkeit liegt für diese Böden bei 0,24 m.

Das Ergebnis einer 1979 durchgeführten Befragung von Praktikern über die Tiefe der Bodenbearbeitung auf intensiv genutzten Ackerflächen ergab die in Tabelle 2 aufgeführten Werte.

Tabelle 2 Bearbeitungstiefe intensiv genutzter Ackerböden

Landschaft	Pflugtiefe in cm
Bayrischer Gäu	37
Calenberger Land (Landkreis Hannover)	38
Hessisches Ried	35
Mittelfranken	32
Mittelweser (Kreis Nienburg)	34
Niederrhein	36
Uelzener Becken (Lüneburger Heide)	33
Vorderpfalz	36
Durchschnitt aus acht Gebieten	35

Somit ist in einem Zeitraum von etwa zwanzig Jahren in diesen Betrieben eine Krumenvertiefung von mindestens 0,1 m erfolgt. CZERATZKI (4) folgerte aus der Auswertung zahlreicher Versuche, daß für das periodische Pflügen auf normalen Ackerböden die Grenztiefe bei etwa 0,3 bis 0,35 m liegt.

Dieses meliorative Pflügen mit zusätzlicher organischer und mineralischer Düngung spricht ~~spricht~~ vor allem auf sehr leichten Böden mit Bodenwertzahlen um etwa 20 an. Vorläufer und Kronzeuge für dieses Verfahren ist SCHULTZ-LUPITZ (5), dem es durch meliorative Krumenvertiefung in Kombination mit dem Zwischenfruchtbau gelang, auf leichtestem Sand eine humose Krume von etwa 0,5 m Mächtigkeit aufzubauen.

In der Mehrzahl der tiefgründig bearbeiteten Ackerböden wird organische Substanz angesammelt, die völlig zu hochpolymeren, stickstoffreichen und calciumgesättigten stabilen Humusformen umgebaut worden ist. Daher ist für die A_p -Horizonte dieser krumenvertieften Ackerböden ein gutes C/N-Verhältnis von 10 bis 15 charakteristisch. Ebenso wie in guten Waldböden entsteht die Humusform Mull.

DEBRUCK weist darauf hin, daß die Krumenvertiefung nur auf den Standorten erfolgen kann, wo es der Unterboden zuläßt (6). In Frage kommen die Sand-, LÖB- und tiefgründigeren Verwitterungsböden. Zur Vermeidung eines Konzentrationsabfalles an Nährstoffen ist die Vertiefung allmählich vorzunehmen. Sie sollte günstigstenfalls nach Ablauf von zwei bis drei mehrjährigen

Fruchtfolgerotationen abgeschlossen sein. Im Anschluß daran braucht die erreichte Arbeitstiefe nicht in jedem Jahr eingehalten zu werden, muß sich aber zumindest alle drei, spätestens vier Jahre einmal wiederholen. Dabei bietet sich diese Maßnahme zur Hackfrucht, besonders zu Zuckerrüben an. Bei Arbeitstiefen über 0,3 m kommt für die Mehrzahl der Betriebe nur der Pflug in Betracht. Nur mit ihm ist es möglich, mineralische und organische Dünger in die angestrebte Tiefe einzuarbeiten.

Durch die Zunahme der Motorenleistung in den Traktoren, die heute schon vielfach die 100-PS-Grenze überschritten hat, besteht im Gegensatz zu früheren Jahrhunderten kein Zugkraftproblem (7 und 8). Erstmalig konnte diese Grenze in der Mitte des 19. Jahrhunderts durch die Einführung der Dampfpflugkultur überschritten werden. Die besten Erfolge waren dort zu verzeichnen, wo die Krumenvertiefung allmählich erfolgte und gleichzeitig mechanisch oder genetisch bedingte Bodenverdichtungen beseitigt wurden. Der Vorteil der tiefen Krume wurde dann wieder zunichte, als mit dem Ende der Dampfpflugarbeit erneut flach gepflügt wurde. Die "verlassene Krume" entwickelte sich zu einem für Pflanzenwurzeln schwer durchdringbaren Verdichtungshorizont.

Für mögliche Mehrerträge bei Krumenvertiefung ist ein von DEBRUCK (6) mitgeteiltes Feldversuchsergebnis repräsentativ.

Tabelle 3 Bearbeitungstiefe und Ertrag (aus DEBRUCK (6))

Rüben- u. Kornrerträge in % 25 cm Pflugtiefe = 100

angebaute Frucht		Pflugtiefe in cm		
		10	15	25
Zuckerrüben	88	97	100	107
Winterweizen	99	94	100	103
Sommergerste	97	100	100	99
Hafer	100	99	100	100

In diesem großflächigen Versuch auf einer Parabraunerde aus Löß wurde die tiefe Bodenbearbeitung auf 0,4 m im Abstand von zwei Jahren jeweils zu Zuckerrüben und Sommergerste durchgeführt. Zunächst bestätigen die Ergebnisse die bekannte Tatsache, daß die Zuckerrüben besonders positiv auf eine vertiefte Bodenbearbeitung reagieren. Von den Getreidearten scheint das in

diesem zwölfjährigen Versuch auch für den Winterweizen zuzutreffen. Die Sommergetreidearten lassen keine Auswirkung der unterschiedlichen Bearbeitungstiefe erkennen. Damit wird angedeutet, daß die Bearbeitungstiefen in ihrem Einfluß auf die Erträge in Verbindung mit der heute gebräuchlichen, hochintensiven Düngung vielfach fließend sind und eng zusammenrücken. Auswirkungen der Krumenvertiefung auf unterschiedlichen Böden

Die Ertragsabstufungen zwischen verschiedenen Bearbeitungstiefen werden geringer und sind teilweise nicht mehr nachweisbar, je tiefgründiger und aktiver die Böden sind (DEBRUCK (6)). Inaktive Böden mit geringem biologischen Leben weisen oft nur eine Mächtigkeit des Solums von 0,2 bis 0,5 m auf. Bei Pflugtiefen über 0,3 m werden auf diesen Standorten nicht nur der gesamte Oberboden (A-Horizonte) sondern auch Teile des Unterbodens (B-Horizonte) erfaßt. Dadurch werden die Horizontfolgen bei nachstehenden Bodentypen entscheidend verändert. In der Klasse der Podsole sind dies vor allem die flachgründigen Subtypen des Ranker-Podsols und des Regosol-Podsols. Diese Böden sind im Gegensatz zu den extrem flachgründigen Podsol-Regosolen und Podsol-Rankern oft in Kultur genommen worden. Bei einer Mächtigkeit zwischen 0,15 und 0,25 m sind diese Profile bereits bei der älteren Ackerkultur vollständig in den A_p -Horizonten aufgegangen. Dies trifft für weite Heideflächen Nordwestdeutschlands zu. - Beim Eisenhumuspodsol, Gleypodsol und ~~Anmo~~orgleyypodsol liegt die Untergrenze des B_{sh} -Horizontes oft nicht tiefer als 0,4 m. Bei intensiver Ackernutzung mit Krumenvertiefung ist dann keine typische Horizontfolge des Podsols mehr festzustellen. Braunerden haben meist B_v -Horizonte, deren Untergrenze tiefer als 0,5 m liegt. Doch bei Ranker- und Rendzina-Braunerden ist deren B_v -Horizont oft geringmächtiger als 0,15 m. Nach tiefer Bodenbearbeitung ist die typische Horizontfolge dieser Subtypen der Braunerde in einen mächtigen A_p -Horizont umgewandelt. - Aus der Braunerde-Pararendzina hat sich häufig eine Pararendzina-Braunerde entwickelt. Dieser Subtyp mit einem A_n-B_v -C-Profil zeichnet sich durch einen dünnen B_v -Horizont und eine hohe Kalkreserve aus. Wenn er in einem nicht zu niederschlagsreichem Klimagebiet liegt, ist die Nutzung dieses Bodens oft von Grünland zu Acker umgewandelt.

Die Pseudogley-Braunerde ist nach einer Bedarfsdränung in den letzten Jahren ebenfalls oft in Ackernutzung genommen worden. Hier ist aber in jedem Einzelfall sorgfältig zu prüfen, ob wirklich Stauwasser vorliegt oder ein durchgehender Grundwasserkörper stellenweise recht hoch ansteht. Das für einen Gley typische Fleckenbild eines G_o -Horizontes kann mit der grauen und rostbraunen Fleckung eines S_w -Horizontes verwechselt werden. Bei hoch anstehendem Grundwasser ist zu dessen Absenkung oft ein Ausbau der Vorflut ausreichend. Für die Pseudogley-Braunerde ist die Bedarfsdränung Voraussetzung für den Einsatz von schwerem Acker- und Erntegerät. Wenn dann eine Krumenvertiefung den Anbau anspruchsvoller Nutzpflanzen ermöglicht, so läßt deren erhöhter Wasserverbrauch die Staunässe fast ganz verschwinden. Dadurch wird die für diesen Bodentyp kennzeichnende Horizontfolge $A_h-B_v-S_w B_v-C$ stark vereinfacht zu A_p-B_v-C . Je nach Mächtigkeit des A_p -Horizontes ist dieser Standort als Agrosol-Braunerde oder als Braunerde-Agrosol anzusprechen.

Pararendzinen auf Löß sind oft sehr alte Ackerböden. Doch erst in den letzten Jahren ist ihr A_p -Horizont von 0,22 bis 0,25 m auf 0,32 bis 0,38 m vertieft worden. Im niederbayrischen Ackergäu sind dies sehr intensiv genutzte Böden, bei denen eine Krumenvertiefung die Durchwurzelung und damit die Wasseraufnahmefähigkeit der Kulturpflanzen verbessert.

Aufgaben für die bodenkundliche Forschung

Im "Memorandum Bodenkunde" (9) wird über Stand und Entwicklung bodenkundlicher Forschung in den Kommissionen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft berichtet. Zunächst gehört die Krumenvertiefung als Gefügemelioration in den Arbeitsbereich der Kommission VI Bodentechnologie. Es wird darauf hingewiesen, daß erst langfristig Fragen der Bodenerhaltung und des Bodenschutzes, insbesondere der anthropogen veränderten Böden, im Vordergrund stehen. Hier besteht jedoch bereits kurzfristig ein Nachholbedarf für das, was die führende landwirtschaftliche Praxis in den letzten Jahren weltweit auf dem Gebiet der Krumenvertiefung durchgeführt hat. Diese Aufgabe sollte sowohl in die Ökotechnologie (Verbesserung ganzer Ökosysteme) als auch in die Aufstellung

möglichst zahlreicher "echter" Chronosequenzen einbezogen werden. Dieser Arbeitsbereich gehört zur Kommission V Boden-genetik, -klassifikation und -kartierung. Bei der Boden-klassifikation ist eine Vereinheitlichung sowohl im nationalen wie internationalen Rahmen erstrebenswert. Für letzteres weist das Memorandum darauf hin, daß sich für die DBG-Klassifikation ~~sich~~ die Aufgabe stellt, das eigene System auch auf den niederen Kategorien mit der Klassifikation der FAO-Weltbodenkarte und der USA-Soil Taxonomy zu korrelieren. Hierbei sollten die Anthropogenen Böden nicht außer acht gelassen werden. Aber auch der Vergleich mit den osteuropäischen, besonders der russischen Bodensystematik ist von Bedeutung.

Zusammenfassung

Die von MÜCKENHAUSEN (1) aufgeführte Systematik der Terrestrischen Kulturosole wird um die Bodentypen des Treposols und des Agrosols ergänzt. Die Grenze für den Tiefenbereich einer Gefügemelioration liegt zwischen diesen beiden Bodentypen bei 0,5 m. - Durch Krümenvertiefung sind in den letzten zwanzig Jahren die A_p-Horizonte auf vielen Standorten um reichlich 0,1 m vertieft worden. Die dadurch möglichen Ertragssteigerungen wirken sich vor allem beim Anbau von Zuckerrüben und Winterweizen aus. - Dadurch haben flachgründige Podsole und Braunerden ihre kennzeichnenden Horizonte verloren. Die sich daraus ergebenden Aufgaben für die bodenkundliche Forschung betreffen sowohl die Bodentechnologie als auch die Bodenklassifikation. Bei der internationalen Einführung allgemein gültiger Systeme sollten die Anthropogenen Böden stärker berücksichtigt werden.

Literatur

- 1 Mückenhausen, E. Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. - DLG-Verlag, Frankfurt, 1975
- 2 Rhode, W. Holländische Tieffräse war im Einsatz. - Land und Garten, Nr. 33 v. 16.8.1979, Seite 10
- 3 Springer, H.-W. Tiefenlockerung zur Wiederherstellung der natürlichen Luft- und Wasserführung im Boden nach Einsatz schwerer Erdbearbeitungs- und Erdbewegungs-

maschinen sowie zur Rekultivierung erosionsgeschädigter Gebiete.-Z.f.Kulturt.u.Flurbereinigung,20,168-173,1979.

- 4 Czeratzki,W.: Probleme der Bodenbearbeitung in der Pflanzenproduktion.-Ber.ü.Landwirtschaft,N.F.56,265-276,1978.
- 5 Schultz-Lupitz: Über die Bewurzelung der landwirtschaftlichen Kulturgewächse und deren Bedeutung für den praktischen Ackerbau.-Jb.DLG,6,81-90,1891.
- 6 Debruck,J.: Forderungen des Pflanzenbauers an die Bodenbearbeitung in Ackerbaufruchtfolgen.-Ber.ü.Landwirtschaft,N.F. 56,342-358,1978.
- 7 Schwerdtfeger,G.:Genese und Nomenklatur krumenvertiefter Ackerböden.-Mitt.DBG,25,633-638,1977.
- 8 Schwerdtfeger,G.:Der Agrosol-ein krumenvertiefter,anthropogener Ackerboden.- Vol.1,Abstracts for Commission Papers,11th Intern.Congress of Soil Science, 405,Edmonton/Alberta,1978.
- 9 Deutsche Bodenk.Ges.: Memorandum Bodenkunde.-44 S.,Göttingen,1979.
- 10 Kuntze,H.,Niemann,J.,Roeschmann,G.u.Schwerdtfeger,G.: Bodenkunde,Manuskri.d.2.Auflage,Ulmer,Suttgart.

Gliederung und Gruppierung von Pedochoren,
dargestellt für das Albvorland.

von

Bleich, K.E.⁺ und E. Schlichting⁺

Um die regelhafte Heterogenität der Pedosphäre rationell zu gliedern, werden in der Vertikalen Kombinationen von Horizonten (die wiederum Merkmalskombinationen darstellen) als Profile (in der Summe zu Bodentypen abstrahiert oder, bei bestimmtem Ausgangsgestein, als Bodenformen) herangezogen. Entsprechend sollten grundlegend für die Gliederung in der Horizontalen die Catenen als Profilkombinationen sein, aus deren Summierung (abstrakte) Bodengesellschaften bzw. Bodenlandschaften (einer bestimmten geomorphen Einheit) resultieren. Wie dies zu verwirklichen ist, soll am Beispiel des schwäbischen Albvorlandes als einem typischen Schichtstufenland mit wechselvoller Gesteinsabfolge gezeigt werden, das periglazial beeinflußt (an Hängen solifluidal, auf einigen Hochflächen kryoturbar, mit starker Lößbedeckung im mittleren Teil) und zudem von Vulkanschloten durchsetzt sowie (am Ostrand) von Sprengschollen des Rieses überformt ist. Hinzu kommen holozäne und pleistozäne Stofftransporte aus den Nachbarlandschaften (Kalktuff und -schotter von der Alb, Goldshöfer Sande aus dem Keuperbergland). Das Klima ist im Südwesten kühler, im Nordosten kühl-feuchter als im Mittelteil.

Aufgrund von Übersichts- und Detailkartierungen wurden 22 Landschaftstypen ausgegliedert (s. Legende zur Karte und Kartenausschnitt), die sich hinsichtlich der Entbasung, Versauerung und Durchlüftung der Hochflächenböden sowie der Vermoorung und Stoffakkumulation in den Senken unterscheiden. Im (kühlen) Südwesten sind tiefhumose Böden, im (kühl-feuchten) Nordosten stark gebleichte Pseudogleye besonders verbreitet. Abweichende Ausdehnung von Böden ist in anderen Landschaften (z.B. bei 111 und 112, oder bei 211 und 212) auch unabhängig von Klimaunterschieden beobachtet und gibt Anlaß, jene zu Großlandschaften zusammenzuschließen.

Institut für Bodenkunde u. Standortslehre, 7Stgt.70-Hohenheim,
Postfach 106

Den nächstfolgenden Verwandtschaftsgrad stellt die abweichende Landschaftsposition (23 → 24), das Fehlen einzelner (24 → 25) oder die Einschaltung neuer Bodenglieder (41 → 42) dar; auf diesem Niveau lassen sich die Bodengroßlandschaften zu Landschaftsgruppen (hier: 1 bis 6) zusammenschließen, die so das Albvorland als geomorphe Großeinheit ergeben. Darin sind jedoch zusätzlich 2 Bodenlandschaftstypen enthalten, die (ähnlich wie Zeugenberge) ein mehr der benachbarten Alb entsprechendes Inventar aufweisen. Diese lassen sich daher erst dann in das Bodenmuster des Albvorlandes integrieren, wenn letzteres mit der Alb, dem Keuperbergland, dem Gäu usw. zu einer Einheit mit ähnlichen Böden infolge gleicher Klimageschichte zusammengefaßt wird (aus Gründen der Maßstabsreduktion oder welchen auch immer). Diese Einheit wäre dann zusammen mit anderen Gebieten (Oberschwaben, Rheintal) Bestandteil einer Region mit ähnlichen Böden infolge gleichen Großklimas.

Abkürzungen der Legende:

Am= Anmoor, Be= Braunerde, G= Gley (Fe=Eisen-, Ca=Kalk-), Nm= Niedermoor, Pb= Parabraunerde (Bd=Bänder-, Sd=Sand-), Pd=Podsol, Pl= Pelosol, Rk= Ranker (T=Ton-), Rz= Rendzina (M=Mergel-, P= Para-, Pt=Proto-), Sg= Stagnogley, V= Vega, b= braun, h= tiefhumos, k= kolluvial

Legende:

- 111, Bergrücken aus Sandstein mit lehmig-tonigen Zwischenschichten:
112 (ju α 2, jm β - γ z.T.): Pg $\begin{matrix} \text{BePd} \\ \text{BePg} \end{matrix}$ -FeG-Landschaft
- 121 verebnete Flächen aus grobkörnigem Kalksandstein (ju α 3 im Nordosten):
(Rk)-Be-Pg-G-Landschaft
- 211, Bergrücken und Hänge aus Tonstein (ju β, jm α):
212 BePl $\left. \begin{matrix} \text{Pg} \\ \text{PgBe} \end{matrix} \right\}$ (TRk)-(b)Pg $\left. \begin{matrix} \text{Pg} \\ \text{PgBe} \end{matrix} \right\}$ -FeG-Am-(Nm)-Landschaft
- 221 Moor:
FeG-Am-Nm-Landschaft
- 231u.2, Schichtstufen aus Ton-u. Kalkmergeln, z.T. Ölschiefer (ju α 3, ju γ - ζ):
MRz
241u.2 Pg-(h)PgPl-BePl-(TRz)-BePl-Pg-kBe-Ca G-(Am)-Landschaft
2 jeweils mit größerer Ausdehnung tiefhumoser Böden
- 251, Bergkuppen und Hangstufen aus Ton- und Kalkmergeln (ju α 1, jm γ - ε):
252 (h)PgPl-BePl-Pg-Ca G-(Am)-Landschaft
- 311 Sandstein- und Granitmassen am Riesrand (Torton):
(Pd)-Be-Pg-G-Landschaft
- 411 kuppige Flächen mit jüngerem Löß (Jungpleistozän):
Pb-(PRz-Ca Be)-PgBe-V-Landschaft
- 421u.2 großwellige Flächen mit Lößdecken übereinander:
PbPg-PgPb-Be-Pg-Ca G-Am-V-Landschaft, 2 stärker pseudo-vergleyt
- 423u.4 Bergrücken mit älterem Löß (Mittelpleistozän):
PbPg-PgPb-Be-Pg-G-Am-V-Landschaft, 4 stärker pseudo-vergleyt
- 511 Kuppen und Flächen aus grobem z.T. lehmigem Sand (Goldshöfer Sande):
Pg/Sg $\left\{ \begin{matrix} \text{PbPg} \\ \text{Pg} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} \text{Bd-Pb} \\ \text{S-Pb} \\ \text{Be} \end{matrix} \right\} \left\{ \begin{matrix} \text{Am} \\ \text{Pg} \end{matrix} \right\}$ -FeG-Landschaft
- 611 Tallandschaften mit Kalkschottern (Jungpleistozän-Holozän):
(PgPb)-Be-MRz-G-V-(Am)-Landschaft

Zur Alb gehören:

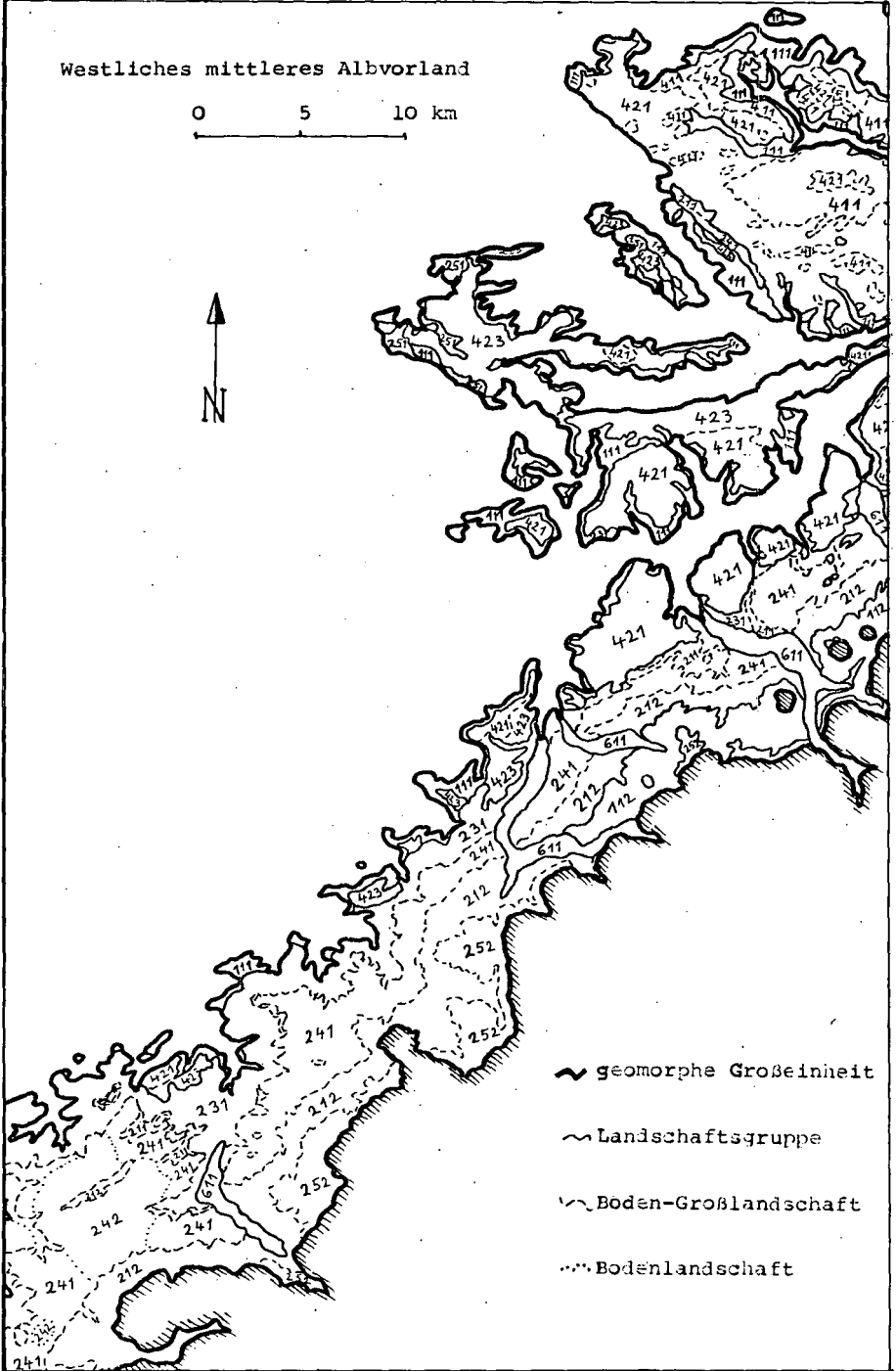
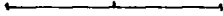
Decken und Kuppen der Bunten Breccie (am Riesrand, Torton):
Rz-PtRz-MRz-Landschaft

größere Kuppen aus Vulkantuff (Jungtertiär):

(Be) $\left\{ \begin{matrix} \text{Rz} \\ \text{PtRz} \end{matrix} \right\}$ -PRz-hMRz-Ca G-Landschaft

Westliches mittleres Albvorland

0 5 10 km



Zur regionalen Variabilität von Böden in Schleswig-Holstein

von

MUTERT, E., LAMP, J. und KNEIB, W.⁺

Untersuchungen zur Bodenvariabilität sind - wie alle Erhebungen regionaler Art - in zweierlei Hinsicht problembehaftet:

1. durch die Notwendigkeit stichprobenartiger E r f a s s u n g (Messung) außerordentlich starker pedosphärischer Vielfalt,
2. durch die Notwendigkeit der D a r s t e l l u n g dieser Vielfalt in zweidimensionalen Abbildungen mit definierten Maßstäben.

Alle regional ausgerichteten Forschungszweige begegnen dieser Problematik methodisch durch zwei Formen der Verallgemeinerung: die generalisierende R e g i o n a l i s i e r u n g und T y p i s i e r u n g. Während zur Darstellung der individuellen Variabilität eines P e d o n s E i n z e l m e r k m a l e herangezogen werden können, lassen sich B o d e n g e s e l l s c h a f t e n der t o p i s c h e n , c h o r i s c h e n und r e g i o n i s c h e n Dimension übersichtlich oft nur durch repräsentative Reihung von Merkmals- und Faktorenkomplexen, den B o d e n f o r m e n , - v a r i e t ä t e n und - t y p e n , beschreiben (siehe Abb. 1).

Im folgenden werden an Beispielen aus Schleswig-Holstein Methoden und Ergebnisse dargestellt, die die Variabilität des Bodens in Raumeinheiten zunehmender Größe erfassen und darstellen.

Die kleinräumige Variabilität von P e d o n s, erfaßt durch wiederholte Probenahme und Bestimmung einzelner Merkmale, kann mit gebräuchlichen statistischen Lage- und Streumaßnahmen wie Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (s) und Variationskoeffizient (V) berechnet und dargestellt werden. Abbildung 2 zeigt das Beispiel des Merkmals p H - C a C l ₂, das jeweils an 6 Proben in Distanzen von 1-2 m

⁺Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 2300 Kiel

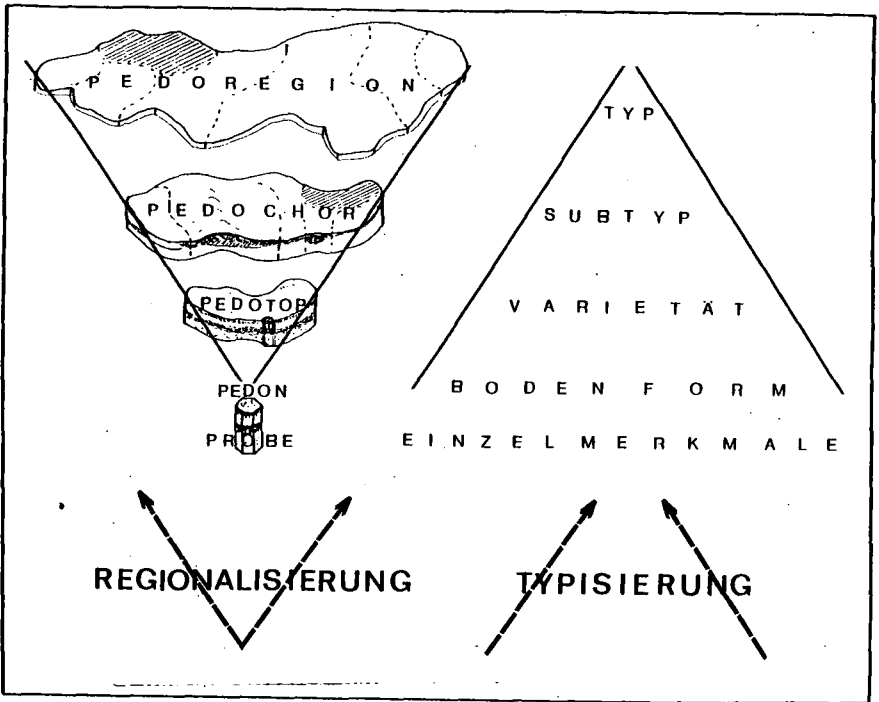


Abb.1: Prinzipien der Regionalisierung und Typisierung

		2m											
1.	1m	7.2	7.0	7.3	6.0	5.8	5.6	5.5	4.5	4.9	5.7	5.9	5.9
		7.0	7.1	7.1	6.1	5.9	6.0	4.6	4.6	5.0	5.9	5.6	5.6
	\bar{x}	7.1			5.9			4.9			5.8		
	s	.12			.18			.37			.15		
V	2			3			8			3			
3.		7.6	7.6	7.6	5.6	6.0	6.4	4.1	4.0	4.1	5.9	6.1	6.1
		7.6	7.7	7.7	6.1	6.2	6.2	4.3	4.3	4.2	6.7	6.2	6.0
	\bar{x}	7.6			6.1			4.2			6.2		
	s	.05			.27			.12			.28		
V	1			4			3			5			
HORIZONT	TYP	GLEY			PSEUDOGL.			BRAUNERD.			LESSIVE		

Abb.2: Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (s) und Variationskoeffizient (V) des Merkmals pH-CaCl₂ im 1. und 3. Horizont von 4 Pedons.

aus dem 1. und 3. Horizont von einem G l e y -, P s e u d o - g l e y -, B r a u n e r d e- und L e s s i v é -Pedon in einer Endmoränen-Kleinlandschaft südlich Kiels bestimmt wurde. Die I n t r a - P e d o n - V a r i a b i l i t ä t, gemessen durch den Variationskoeffizienten V, liegt zwischen 2 und 8 % und bestätigt damit die an Pedons gestellten Erwartungen, nämlich einer Merkmalsstreuung unter 10 %. Dieses Maß wird nur von einigen Merkmalen in besonderen Horizonten übertroffen und steigt mit zunehmender Distanz der Probenahmestellen, so daß die Merkmalsstreuung von P e d o t o p e n bereits oft Werte von 20 %, z.T. auch 30 % annimmt (MUTERT, 1978).

Die Variabilität von P e d o c h o r e n wird im allgemeinen durch die regionale Abgrenzung von d i s k r e t e n B o d e n - e i n h e i t e n erfaßt, die durch Bodenform und Bodentyp inhaltlich gekennzeichnet werden. Mit Hilfe der T r e n d - f l ä c h e n a n a l y s e nach COLE (1970) in der Fortran-10-Anwenderversion von J. LAMP lassen sich die an Erhebungspunkten gewonnenen Werte einzelner Merkmale kontinuierlich über ein den gesamten Untersuchungsraum überziehendes Koordinatennetz schätzen. Diesem Prozeß liegt mathematisch die multiple Regression des ersten bis dritten Grades einer Variablen (z) aufgrund der geographischen Lagekoordinaten x und y ($\hat{z} = b_0 + \sum b_1 x_i + y_i$) zugrunde mit der Bedingung, daß die Summe der Abweichungsquadrate ein Minimum bildet. In einem dieser globalen Trendschätzungen folgenden Glättungsprozeß werden fiktive Rasterpunkte des Untersuchungsgebietes an die vorhandenen Datenpunkte mit einem Polynom 2. Grades iterativ angepaßt und die Ergebniswerte in Form von Isolinien ausgedruckt. Die Methode läßt sich einfach durch einen Vergleich anhand des Merkmals "Höhe" [m ü.NN] prüfen.

In Abbildung 3 entspricht die obere Darstellung der tatsächlichen Höhenkarte, die untere gibt die Schnelldruckerversion des ausgewählten Polynoms mit der geringsten Restvarianz auf der Grundlage der an den 35 dargestellten Erhebungsorten gemessenen Höhenwerte wieder. Erkennbar ist gute Übereinstimmung.

Abbildung 4 zeigt Trendflächendiagramme für zwei Merkmale ("Org", "k2µ") des jeweils ersten (1) und letzten (L) Horizontes auf der in Abbildung 3 vorgestellten Erhebungsgrundlage. Vorgegeben wurde jeweils eine 10-stufige Skala zwischen Minimum und Maximum der auftretenden Werte eines Merkmals. Deutlich wird, daß es mit zunehmender Tiefenlage im Boden zu Trendverschiebungen bzw. -veränderungen kommen kann.

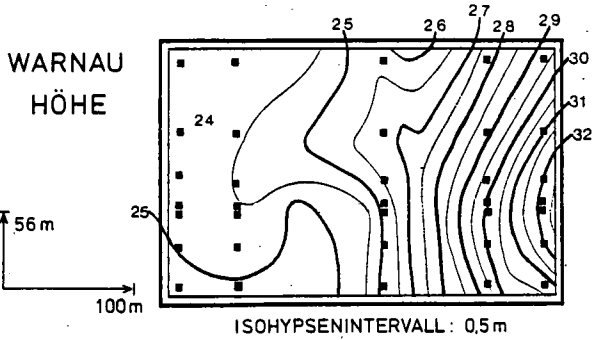
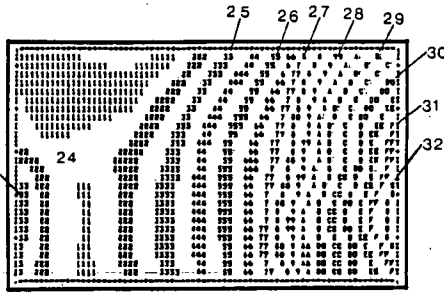


Abb.3: Lage der Erhebungspunkte und gemessenen Höhenlinien (oben) sowie durch Trendflächenanalyse geschätzte Isolinien der Höhe über NN (unten) des Testgebietes Warnau, Ostholstein

25 = 25m ü. NN

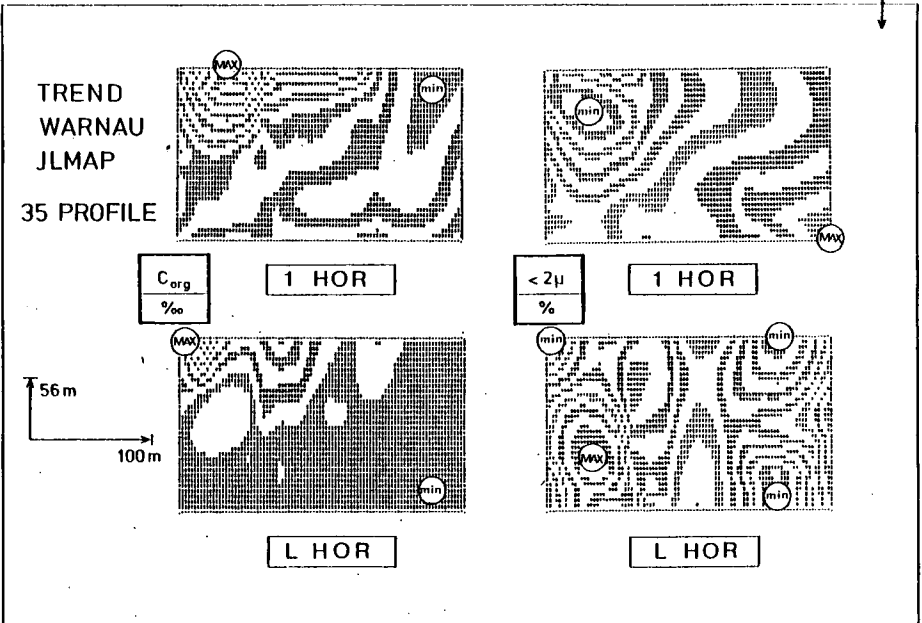
■ Position der 35 Erhebungsorte

TREND
WARNAU
JLMAP
35 PROFILE
HÖHE



ISOLINIENINTERVALL: 0,5m

Abb.4: Isolinien der Merkmale "C-org." und "<2µm" in den ersten und letzten Horizonten der 35 Profile des Testgebietes Warnau, Ostholstein



Verwendet man durch Berechnung der Hauptkomponenten aus sämtlichen erhobenen Merkmalen eines Untersuchungsraumes Multimerkmale für die Trendflächenanalyse, so wird damit der Schritt vom Einzelmerkmal zum korrelativen Merkmalskomplex, zum pedoregionalen Typus, im vorliegenden Fall zum Pedokomplex vollzogen. Das entsprechende Trendflächendiagramm würde einer Bodenkarte (Pedotopenkarte) ähnlich sein.

Um größere Bodenlandschaften in der chorischen Dimension, d.h. in Bodengebieten lückenlos zu erfassen, wurden in den Jahren 1973, 1975 und 1979 in 4 Einzeltransekten von Erdgasleitungen über insgesamt 74 km in der Geest (LAMP und SIEM, 1978) und dem Östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins (MUTERT, 1978) u.a. die in den Transekten auftretenden Bodeneinheiten auf dem Subtyp- und Typniveau sowie ihre Schnittlängen erhoben. Die Summenhäufigkeiten der Längen der auf diese Weise kontinuierlich erhobenen Bodeneinheiten ergeben den in Abbildung 5 gezeigten Verlauf. Die Ergebnisse zeigen eine relativ gute Übereinstimmung mit den von KNEIB (1979) aus Flächenerhebungen im Hügelland und der Vorgeest abgeleiteten Sequenzen mit Profilabständen von 30 bzw. 40 m.

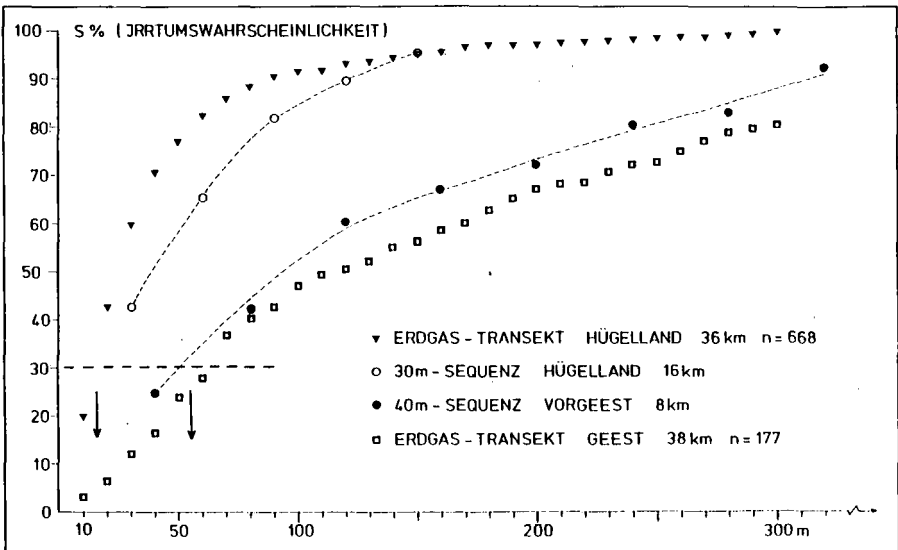


Abb. 5: Summenhäufigkeiten(S%)der Längen von Bodeneinheiten(Subtypniveau)

Es zeigt sich, daß erwartungsgemäß die Variabilität im stärker reliefierten Hügelland höher ist als auf der Geest. Unterstellt man eine "Reinheit" von Kartiereinheiten von wenigstens 70 %, d.h. eine maximale Irrtumswahrscheinlichkeit von 30 % (vgl. Abb.5), so dürfte - falls 'externe' Vorinformationen aus der Gelände- oder Fernerkundung die Grenz- und Inhaltsbestimmung von Bodeneinheiten nicht absichern - die E r f a s s u n g s - d i c h t e aufgrund dieser Ergebnisse im östlichen Hügelland 15 m, auf der Geest 50-60 m nicht überschreiten (siehe auch KNEIB, in diesem Band). Ausgehend von einer kartographischen Grenze der D a r s t e l l b a r k e i t von 2 mm ergeben sich alternative Möglichkeiten der Regionalisierung ohne Informationsverlust nur durch Vergrößerung des Kartenmaßstabes oder durch Zusammenfassen von Kartiereinheiten zu pedoregionalen Gesellschaften bei entsprechender Darstellung ihrer Inhalte in der Kartenlegende.

Literatur

- COLE, A.J.: A Trend Surface Technique. Rev.Int.Statistical Inst., Vol. 38, 1, 1970
- KNEIB, W.: Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung. Diss.Agrarwiss.Fak. Kiel, 1979
- LAMP, J. und SIEM, K.: Bodengesellschaften der Sander und Moränen Mittelholsteins. Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 27, 337-340, 1978
- MUTERT, E.: Untersuchungen zur regionalen Gruppierung von Böden. Diss.Agrarwiss.Fak.Kiel, 1978

von
H. DAHM-ARENS *)

Das rechtsrheinische Schiefergebirge, stratigraphisch zum Paläozoikum gehörend, besteht zum größten Teil aus Tonsteinen, Siltsteinen und Sandsteinen. In einigen weitgespannten Mulden kommen dickbankige Kalksteine, die sog. Massenkalken hinzu, die überwiegend organogene Riffkalkbildungen im Mitteldevon bis tiefen Oberdevon sind.

Die mächtige paläozoische Schichtenfolge wurde bei der variszischen Gebirgsbildung gefaltet und herausgehoben. Hiermit begann die bis heute anhaltende Festlandszeit in der Erdgeschichte dieses Gebietes. Es herrschte fast immer Verwitterung, z.T. sogar extreme Tiefenverwitterung. Auch die Verkarstung der devonischen Massenkalken hat schon frühzeitig - mit der Landwerdung im ausgehenden Paläozoikum - begonnen. Der Vorgang als solcher beruht auf einer Sonderstellung, die der Kalkstein bei der Verwitterung einnimmt. Er wird durch die Atmosphärien nicht chemisch umgewandelt wie die übrigen Gesteine, er ist aber unter Beteiligung von Kohlensäure schwach wasserlöslich. Daher ist die Oberfläche der meist zutagegelegenen devonischen Kalksteine durch die Niederschläge allmählich gelöst und - innerhalb geologischer Zeiträume - merklich erniedrigt worden. Auf diese Weise ist die Einebnung der Kalksteinoberflächen der Abtragung der übrigen Gesteine mehr und mehr vorausgeeilt, vor allem im Tertiär, so daß die Kalksteinvorkommen sich heute inmitten der Altlandschaft z.T. als bis zu 200 m tiefe Senken oder Mulden zeigen. Neben der Lösung des Kalksteins an der Oberfläche ist es zu unterirdischer Gesteinsauflösung entlang der Klüfte gekommen. Dabei sind innerhalb der Kalksteine weite und langgestreckte Hohlräume entstanden, in denen sich ein Großteil der Entwässerung der betreffenden Gebiete vollzogen hat. Eine

*) Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen,
De-Greiff-Straße 195, 4150 Krefeld

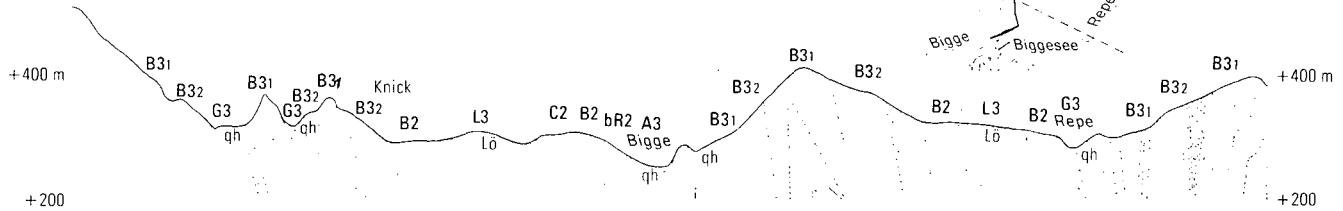
oberflächliche Erosion ist daher im Massenkalk nur wenig wirksam gewesen, zumal das Niederschlagswasser - auch heute noch - vorwiegend durch unterirdische Karströhren abgeführt wird. Das wieder dürfte ein wesentlicher Grund dafür sein, daß sich der im Pleistozän angewehrte Löß, der ehemals vermutlich das gesamte rheinische Schiefergebirge in unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckte, nur in den Kalkmulden erhalten hat. Dabei kann es lokal unter periglazialen Bedingungen zu solifluktuiven Umlagerungen gekommen sein.

In unmittelbarer Abhängigkeit von den geologischen und morphologischen Gegebenheiten steht im Bereich der devonischen Kalke die Bildung der Böden. Als Beispiel wird ein Geländeschnitt durch die Attendorner und Elesper Kalkmulde, eine der beherrschenden Großstrukturen im rechtsrheinischen Schiefergebirge, gezeigt (Abb. 1). Das Gebiet ist in den letzten Jahren geologisch und bodenkundlich neu aufgenommen worden (CLAUSEN 1978, ZIEGLER 1978). Der Massenkalk tritt hier auf Grund der Lagerung und der Mächtigkeit von rd. 800 m sehr charakteristisch in Erscheinung. Über den tiefeingeschnittenen - bis zu 60 m tief - und meist schluchtartigen Tälern auf den Südflanken der Mulden bildet er jeweils offene, hochtalähnliche Flächen. Diese sind wenig mehr als 2 km breit, und ihre Oberfläche ist sehr höhenkonstant etwa im Niveau von 300 m. Sie werden von den älteren silikatischen Schichten reizvoll umrahmt, bzw. überragt. An der heutigen Oberfläche der Kalke kommt als jüngeres Sediment nur der Löß des letzten Glazials in einer Mächtigkeit bis zu 2 m vor. Hier haben zwei Faktoren für die Erhaltung des Lösses eine entscheidende Rolle gespielt. Einmal die intensive Verwitterung des Massenkalkes in früheren, klimatisch wärmeren Zeiten und die weitgehende flächenhafte Einebnung, also die Schaffung der relativ ebenen präquartären Oberfläche als Basis des Lösses, und zum weiteren die geschützte, muldenförmige Lage zwischen der heute weit höher reichenden Umrahmung.

NW

Bodencatena der Attendorfer und Elesper Mulde, dargestellt im geologischen Schnitt (5-fach überhöht)

SE



- bR2** Rendzina und Rendzina-Braunerde aus Kalkstein (Devon)
- B2** mittel- bis tiefgründige Braunerde aus Kalkstein (Devon)
- C2** Terra-fusca aus älteren Kalksteinverwitterungsresten(Tertiär) über Kalkstein (Devon)

- L3** Parabraunerde aus Löss (Pleistozän) über Kalkstein (Devon)
- B31** flach- bis mittelgründige Braunerde aus Tonstein, Siltstein und Sandstein (Devon)
- B32** mittel- bis tiefgründige Braunerde aus Tonstein, Siltstein und Sandstein

- A3** Brauner Auenboden aus Flußablagerungen der Bigge (Holozän)
- G3** Gley, z.T. Gley-Braunerde aus Bachablagerungen (Holozän)

0 1 km

Abb. 1

795

Die im Bereich der Kalk-Zonen zu erwartenden Böden sind vor allem Rendzinen (bR2). Sie sind räumlich jedoch von untergeordneter Bedeutung. Im allgemeinen kommen sie nur an den scharf eingeschnittenen Talrändern der aufragenden galerieartigen Kalksteinfelsen vor. Die Rendzinen sind ausgesprochene Trockenstandorte. Bei der landwirtschaftlichen Nutzung stehen der tonig-lehmigen Bodenart, der hohen Basensättigung und der guten Humusform die Flachgründigkeit sowie der ungünstige Wasserhaushalt über dem meist klüftigen Kalkstein gegenüber. Ein Teil der Rendzinen wird nicht mehr als Ackerland genutzt, sondern als extensive Weide, vielfach mit Trockenrasenvegetation. Die Bodenzahlen betragen im Mittel 25 - 35.

Die Rendzinen reichen über Braunerde-Rendzinen und Rendzina-Braunerden an die mittelgründigen und tiefgründigen Braunerden (B2) heran, zumindest sind diese Typen, bzw. Subtypen eng vergesellschaftet und durch fließende Übergänge innig miteinander verbunden. Bodenartlich bestehen sie aus tonigem Lehm mit mehr oder weniger hohem Steingehalt bis in die Krume. Damit wird das tonige Feinerdematerial aufgelockert und die Stauung des Niederschlagswassers unterbunden. Einfluß von Staunässe tritt nirgends auf, trotz der hohen Niederschläge im rechtsrheinischen Schiefergebirge. Die pH-Werte liegen stets über 5,5. Entsprechend eng gestaltet sich das C/N-Verhältnis mit Werten unter 20 und den besseren Humusformen wie müllartiger Moder und Mull. Diese eu- bis mesotrophen Braunerden mit anspruchsvoller Kraut- und Strauchvegetation sind - waldbaulich gesehen - ausgesprochene Edellaubholzstandorte. Die wenigen Waldflächen sind mit Buchen bestockt, denen stets Kirsche und Bergahorn beigemischt sind. Die hohen V-Werte von ca. 85 % bei S-Werten von 11 mval/100 g Boden stehen mit der Vegetation in Einklang. Auf diese spezifischen Vorzüge ist die schon bei den mittelalterlichen Rodungen erkannte Ackerbauwürdigkeit der Böden aus Massenkalk zurückzuführen.

Auch heute noch werden sie intensiv landwirtschaftlich genutzt. Die Bodenwerte liegen im Durchschnitt bei 50; sie erreichen stellenweise 65.

Sowohl im Unterboden der basenreichen Braunerden als auch unmittelbar an der Oberfläche kommen z.T. großflächig Terrae-calcis-Reste (C2) vor. Es sind fossile Bodenbildungen, deren Entstehungszeit im rechtsrheinischen Schiefergebirge am Ende des Tertiärs abgeschlossen war. Diese Residualtone, die meist überall und unmittelbar dem Kalkstein aufsitzen, bilden für die Kalke einen beachtlichen Verwitterungsschutz, so daß vor allem die chemische Verwitterung stark reduziert wird. Die Terrae-calcis-Reste gehören zum Typ Terra-fusca. Sie sind - wenn auch z.T. umgelagert - in weitgehend unveränderter petrographischer Zusammensetzung vor allem in Karstschlotten und Karrenfeldern erhalten geblieben. Sie stehen dort vielfach bis zur Oberfläche an, sind stellenweise auch von pleistozänem Löß überdeckt und konserviert worden. Das Korngrößenmaximum liegt im Ton- und Feinschluffbereich, wobei die Tongehalte i.a. 40 - 50 % betragen, stellenweise bis 70 % erreichen. Trotzdem werden sie vorwiegend ackerbaulich genutzt. Die Bodenwerte liegen zwischen 35 und 45.

Außer den Kalksteinverwitterungsböden haben sich im Bereich der Kalkmulden Löß-Parabraunerden (L3) in ihrer charakteristischen Horizontfolge entwickelt. Jedoch sind nur selten Reste eines ehemaligen B_v-Horizontes unter dem Tonanreicherungs-horizont zu finden. Meist haben die Vorgänge der Lessivierung den gesamten Lößlehm erfaßt, vermutlich wird sogar ein Teil der rezent durchschlammten Feinsubstanz in den unterlagernden Kalken abgesetzt worden sein. Auf Grund ihrer guten Bodeneigenschaften zählen die Parabraunerden zu den besten Böden des rechtsrheinischen Schiefergebirges. Sie sind sehr geschätzte Ackerstandorte und stehen seit Jahrhunderten in landwirtschaftlicher Nutzung. Die Bodenwerte reichen stellenweise an 80 heran.

In den Tälern und Rinnen der Flüsse und Bäche, die fast nur im Randbereich des Massenkalkes ihr Bett angelegt haben, ist es zur Ausbildung semiterrestrischer Böden mit unterschiedlichem, z.T. stark schwankendem Grundwasserstand gekommen. Es sind dies einmal im Biggetal, am Südrand der Attendorner Mulde, braune Auenböden aus schluffigem Lehm (A3) und zum weiteren im Repetal, am Südrand der Elspers Mulde, und in den wenigen Seitentälern Gleye mit Übergang zu Gley-Braunerden aus schluffigem Lehm (G3). Sie werden vorwiegend als Grünland genutzt. Die Grünlandgrundzahlen liegen im Mittel bei 50 - 58.

Das rechtsrheinische Schiefergebirge gehört zu den reizvollsten Mittelgebirgslandschaften Nordrhein-Westfalens. Es verfügt über große zusammenhängende Waldgebiete, und die Waldfläche nimmt, wie in anderen entsprechenden Gebieten, stetig zu. Viele Grenzertragsböden auf den Ton-, Silt- und Sandsteinen werden mit Fichte aufgeforstet. Die Böden auf den Kalksteinen werden dagegen weiterhin fast ausschließlich landwirtschaftlich genutzt. Auf diese Weise bilden die Kalkmulden ein wichtiges landschafts- und strukturbestimmendes Element im rechtsrheinischen Schiefergebirge, dessen natürliche Grundlagen die geologischen und morphologischen Gegebenheiten sowie in Abhängigkeit davon die Böden sind.

Literatur:

- CLAUSEN, C.-D. (1978), mit Beitr. von FUCHS, W., & GWOSDZ, W., & JÄGER, B., & v.KAMP, H., & KREBS, W., & REHAGEN, H.-U., & SCHERP, A., & WOLF, M., & WIRTH, W.: Geologische Karte Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Blatt 4814 Lennestadt, mit Erläuterungen. - Krefeld
- ZIEGLER, U. (1978), mit Beitr. von DAHM-ARENS, H., & v. KAMP, H., & KREBS, W., & GWOSDZ, W., & GUITZOW, H.-W., & SCHERP, A., & SCHIRMER, W., & WEBER, P., & WOLF, M.: Geologische Karte Nordrh.-Westf. 1 : 25 000, Blatt 4813 Attendorf, mit Erläuterungen. - Krefeld

Yermosol-Solonchak-Bodenschaf t des Fezzan

I. Genese und Ökologie

von

H.-P. Blume und Th. Petermann¹⁾

Der Fezzan ist Teil der Vollwüste der Ostsahara und weist nach GANSSSEN (1965) praktisch keine Böden auf. Die Verfasser und weitere Mitarbeiter haben Ausschnitte des Fezzan mit zusammen ca. 800 qkm bodenkundlich kartiert und für einen Bewässerungs-Landbau bewertet. Im folgenden soll über typische Böden kies-sandiger Serire berichtet werden, und zwar exemplarisch über eine Bodenschaf t des Wadi Irawan westlich Ubari.

Die Landschaft

Das Wadi Irawan ist eine ca. 20 km breite, flachwellige Fastebe-ne fluvialer Sedimente, die mit 0,03 % nach ONO einfällt und im Süden von der Schichtstufe des Hammadet Murzuk, im Norden von Dünen des Edeyen Ubari begrenzt wird (Abb. 1).

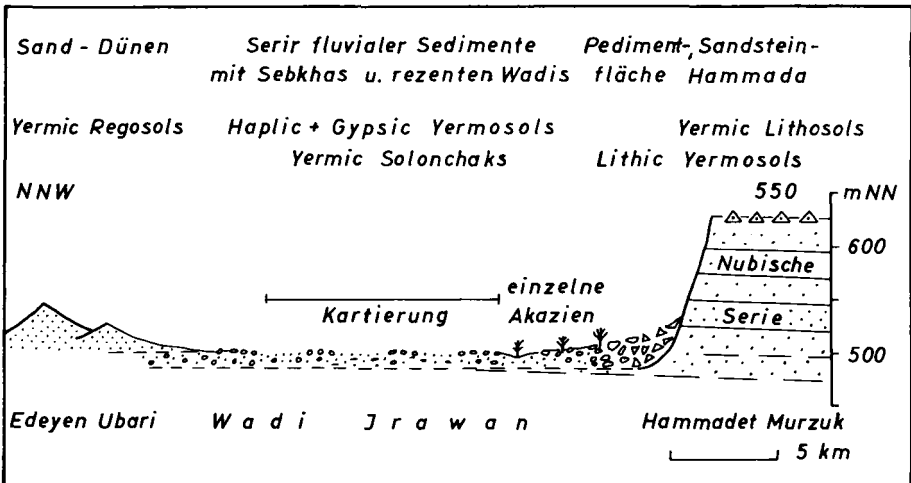


Abb. 1: Schematisches Profil vom Nordrand der Hammadet Murzuk zur Edeyen Ubari (60 km WSW Ubari, Fezzan) mit den dominierenden Böden

¹⁾ Institut für Ökologie - FG Bodenkunde -, Englerallee 19/21, 1000 Berlin 33

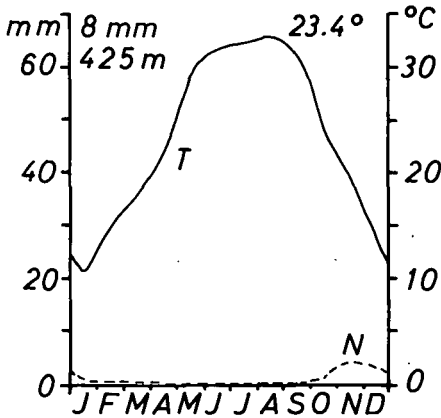


Abb. 2:
Klimaverhältnisse von Ubari,
Fezzan (12-jähriges Mittel
n. FANTOLI, 1954)

Die Jahresmitteltemperatur beträgt 23°C (Abb. 2); heiße Sommertage weisen bis 48°C auf, Strahlungsnächte im Winter Frost. Niederschläge fallen nur äußerst sporadisch im Winter: ein Viertel der Jahre sind niederschlagsfrei; andererseits führen seltene Starkregen zu Überschwemmungen. Die potentielle Verdunstung beträgt bei einer mittleren relativen Luftfeuchte von 40 % 5000 mm pro Jahr (MECKELEIN, 1959). Die Niederschläge lagen im Quartär aber zeitweilig höher: letztmalig semiaride Verhältnisse mit 300-400 mm werden für das Atlantikum angenommen (PACHUR, mündl. Mitt.)²⁾.

Die Landschaft ist bis auf einzelne Akazien und Tamarisken mit Grundwasseranschluß (≥ 8 m, salzig) am Pedimentrand vegetationsfrei. Kunstregenversuche und Wurzelrückstände im Boden zeigen jedoch, daß Starkregen rasch für kurze Zeit das Aufwachsen einer Krautvegetation hervorrufen können.

Wadi Irawan besteht (im untersuchten Bereich) aus ca. 8 m mächtigen, vorwiegend sandig, feinkiesigen, carbonatarmen bis -freien fluvialen

2) KLITZSCH u.a. (1977) stellten für 30-100 m tiefes Grundwasser bei Ubari ein C^{14} -Alter von 7400 Jahren fest; 80 km SO Kartiergebiet fanden wir mit Pachur am Mittelhang einer gipsverkrusteten Playas neolithische, am Oberhang paläolithische Steinwerkzeuge. Die reliktsche Gipsyttja dieses früheren Sees wies ein C^{14} -Alter von circa 4000 Jahren auf.

Sedimenten. Deren Sandfraktion besteht überwiegend aus Quarz, 8-10 % Feldspat und unter 1 % Schwermineralen, bei denen verwitterungsresistente (Zirkon, Turmalin, Rutil) neben wenigen Hornblenden und Staurolithen dominieren (s. auch SINDOWSKI, 1959). Die Tonfraktion enthält vor allem Kaolinit, daneben aber auch Illit und Smectit.

Die Landoberfläche ist in flache Rücken mit kiesreicher Oberfläche und Senken mit einer bis zu 50 cm mächtigen Überdeckung sortierter, geschichteter Sande gegliedert. Die Kieslagen der Hügel, deren Sedimente tendenzmäßig tonreicher und dadurch etwas erosionsstabiler sind, sehen wir als Residualpflaster der Winderosion und/oder episodischer Starkregeneignisse an, während die Sanddecken der benachbarten Senken auch Flugsande des Edeyen Ubari aufweisen können. Andere Senken weisen kiesfreie, siltreiche Sedimente auf, die als Stillwassersedimente früherer Seen, d.h. als Sebchas bzw. Playas gedeutet werden können.

Die Böden

Die Eigenschaften typischer Böden sind Abb. 3-5 zu entnehmen.

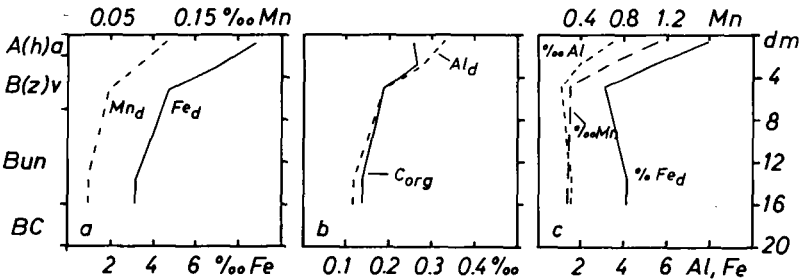


Abb. 3: Gehalte an org. Subst. sowie dithionitlös. Al, Fe, Mn (c: tonbezogen) eines Haplic Yermosol (750) des Wadi-Irawan³⁾

3) Methodische Einzelheiten sind SCHLICHTING und BLUME (1966) zu entnehmen; Salze wurden dabei im Sättigungsextrakt bestimmt; vor der Korngrößenanalyse war ein quantitatives Auswaschen der Sulfate erforderlich; Horizontsymbole wurden ohne Berücksichtigung möglicher Grundwassereinflüsse verwendet; Cl und SO₄ wurde von KASSISKE, Bundesgesundheitsamt Berlin, die Austauschaktionen und Heißwasser-Bor von HUZS, Wien, ermittelt.

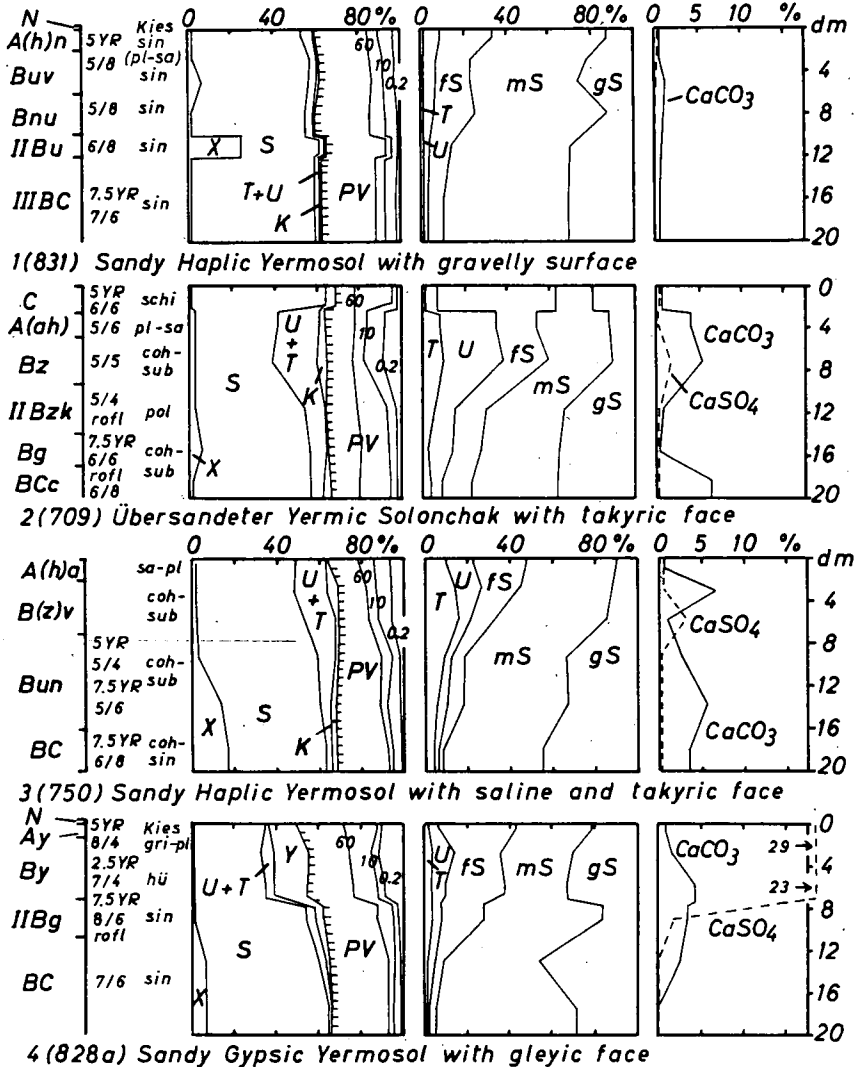
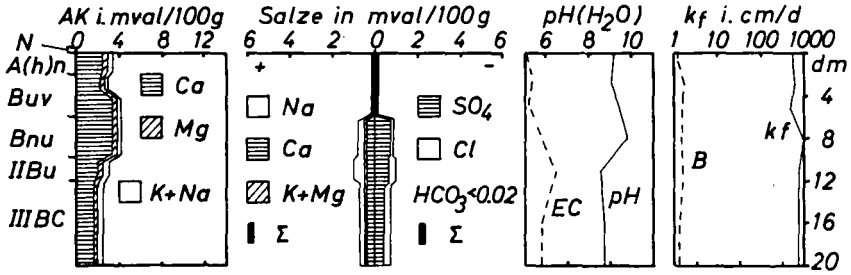
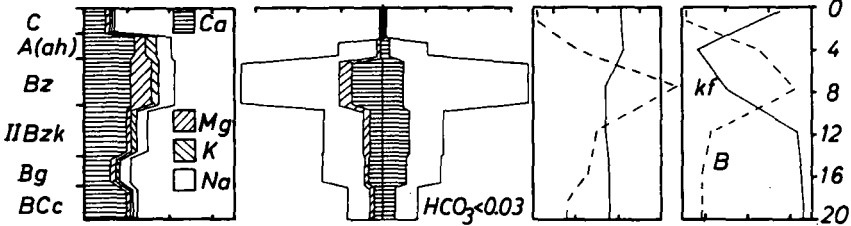


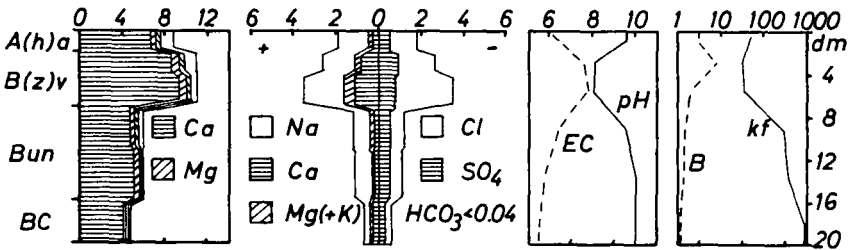
Abb. 4: Morphe, Porung, Körnung, Kalk- u. Gipsgehalt typischer Böden des Wadi Irawan (Farben feucht, rostfleckig, X Kies, Kalk, Y Gips, Sand, U Silt, Ton, Poren I. μm)³



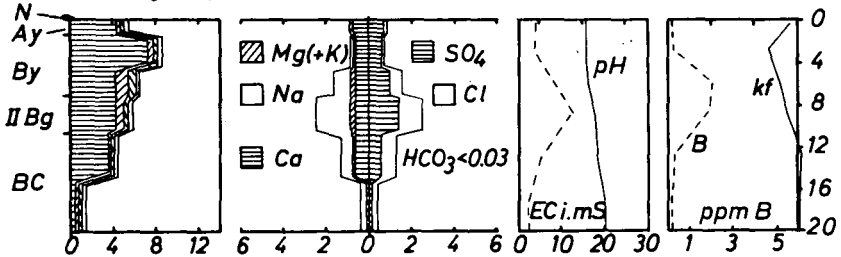
1 (831) Sandy Haplic Yermosol with gravelly surface



2 (709) Übersandeter Yermic Solonchak with takyric face



3 (750) Sandy Haplic Yermosol with saline and takyric face



4 (828a) Sandy Gypsic Yermosol with gleyic face

Abb. 5: Austauschionen, Salze, elektr. Leitföh., pH, Durchläss. u. Heiswasser-Bor typischer Böden des Wadi Irawan³⁾

Die Böden sind extrem humusarm: ihre Gehalte an org. Substanz betragen im Oberboden 0.4-0.8 ‰ (sind aber dennoch im Felde farblich diagnostizierbar!), im Unterboden noch weniger (Abb. 3b), wobei es sich sowohl um humifizierte Wurzelrückstände der Vegetation episodischer Regen als auch um Relikte feuchter Klimaverhältnisse handeln dürfte. Höhere Gehalte weisen nur Tamariskenhügel auf, die aus einer Wechsellagerung akkumulierten Flugsandes und kaum zersetzter Streu bestehen.

Typische Böden sind rötlichbraun bis rötlichgelb gefärbt mit einer Aufhellung zur Tiefe bei gleichzeitigem Farbwechsel von 5 YR nach 7.5 YR (Abb. 4). Da auch die Tongehalte (bei aller Heterogenität der Sedimente) in der Regel im zweiten Meter abnehmen (Abb. 4), haben wohl Silikatverwitterung, Sesquioxid- und Tonbildung stattgefunden (zumal auch die tonbezogenen Fe-, Al- und vor allem Mn-Gehalte im Unterboden niedriger sind, Abb. 3), allerdings wohl unter feuchteren Klimaverhältnissen als heute. Das Tonmaximum liegt aber oft nicht im Oberboden sondern (auch bei nicht übersandeten Böden) 2-4 dm tiefer (s. Profil 3 in Abb. 4). Da im Felde Lessivierung nicht eindeutig diagnostizierbar war, müssen mikromorphologische Studien abgewartet werden, um ggf. Tonverlagerung als Ursache festzustellen.

Alle Böden sind salzhaltig, und zwar in der Regel bei höherem Tongehalt stärker. Das Salzmaximum befindet sich dabei in der Regel im Unterboden (Abb. 5).

Bei geringer Salzkonzentration dominiert CaSO_4 , bei höherer NaCl.

Als Ursache der Versalzung kann (neben Gips aus benachbarten mesozoischen Gesteinen) eine Niederschlagszufuhr über lange Zeiten, die zur Grundwasserversalzung führte, angesehen werden. Unter früher semiariden Klimaverhältnissen mit hohen Grundwasserständen⁴⁾ kam es vermutlich zu einer Salzakkumulation, insbesondere in tonreicheren

4) Grundwasserstand im Brunnen einer Senke 8 m, aufgrund der Reliefverhältnisse daher im Kartiergebiet 8-12 m unter der nach ONO einfallenden Ebene. Frühere Grundwasserergänzung aus dem Edeyen Ubari durch n. SO einfallende Stauschichten paläozoischen Gesteins und aus der Pedimentfläche der Hammadet Murzuk (Abb. 1).

Böden. Episodische Starkregen bewirkten dann wohl nach Gw-Senkung eine Umlagerung in den Unterböden, wobei nachfolgend extreme Oberbodentrocknung mit späterer gasförmiger Bewegung des Bodenwassers einen kapillaren Wiederaufstieg verhindert haben dürfte. Playas und künstlich bewässerte Böden weisen demgegenüber ihr Salzmaximum oft im Oberboden auf. Viele salzreichere Böden (z.B. 2 in Abb. 4) zeigen im Unterboden Rostflecken vorrangig an Aggregatoberflächen, und zwar meist unterhalb kalk-, gips- und/oder tonreicheren Horizonten, die daher ebenfalls als reliktsche Gleymerkmale gedeutet werden können.

Salze und ebenso Gips und Kalk sind in tonarmen Böden meist fein verteilt, in tonreicheren hingegen z.T. nesterweise oder als Konkretionen konzentriert. Die Kalk- und Gipsmaxima liegen dabei oft über denen der Salze, was ihre geringere Beweglichkeit gegenüber Starkregenerenignissen dokumentiert.

Lehmige Oberböden weisen oft ein ausgeprägtes Säulengefüge auf (z.B. Abb. 4, 3). Die Säulen reichen 20-40 cm tief, sind 10-20 cm breit, durch schmale Spalten voneinander getrennt und oft zusätzlich in 1-3 cm dicke Platten untergliedert. Die oberste Platte ist dabei außerordentlich porös: diese Schaumbildung wurde vielfach für siltreiche Oberböden arider Klimate beschrieben und mit einer Luftkompression nach Starkregen erklärt (SPRINGER, 1958, VOLK und GEYGER, 1971). In Abständen von 1-3 m treten oft zusätzlich breitere und tiefere (z.T. > 2 m) Spalten auf, die vielfach mit Eingeschlammtem und bisweilen mit Flugsand gefüllt sind. Sie durchziehen auch überlagernde Sande bis wenige cm unter der Oberfläche: die Spaltenbildung ist demnach erst vor kurzem zum Stillstand gekommen. Wir deuten sie als Wirkung seit Jahrhunderten kontinuierlich sinkenden Grundwasserstandes. Schwache Säulenbildungen sind bereits bei Oberböden mit sehr geringen Tongehalten (>3-4 %) zu beobachten (z.B. Abb. 4, 1), was wohl nur mit einer relativ starken Na-Belegung des Tones, verbunden mit relativer Salzarmut des Oberbodens, erklärt werden kann.

In den Senken sind die Böden oft mit Sand bedeckt. Die Sanddecken der Senken bestehen insgesamt aus wechselnden Fein-, Mittel- und Grobsandanteilen bei unter 3 % Ton und unter 5 % Silt (Abb. 4, 2). Sie weisen eine ausgeprägte Feinschichtung größerer weißer und feinerer rötlicher Sande mit Millimeterabständen auf, wobei die

feineren Schichten sehr dicht lagern und leicht verbacken sind. Die Entstehung der Feinschichtung führen wir auf Platzregen zurück, die die feineren Partikel einer dünnen Flugsandlage eingeschlämmt hat. Diese feingeschichteten Sande sind äußerst erosionsstabil und auch mechanisch stark belastbar; andererseits relativ wenig wasserdurchlässig.

Böden flacher Mulden sind bisweilen außerordentlich gipsreich. Es handelt sich dabei einmal um Playas, d.h. früherer Seen mit einer Akkumulation feinkörniger Sedimente und Gipsfällung als Folge starker Verdunstung. Daneben treten Gipsanreicherungen auch in sandigen Muldenböden auf (z.B. Abb. 4/5, 5).

Bodenklassifikation (Tab. 1)

Die Mehrzahl der Böden sind nach der internationalen Klassifikation aufgrund ihres ariden Feuchteregimes, extrem niedriger Humusgehalte sowie ausgeprägter Verbraunung als Haplic Yermosols zu bezeichnen. Bei Vorliegen tonreicherer Sedimente und gleichzeitig sandiger Oberfläche läßt ein Tonmaximum im Unterboden Tonverlagerung mithin Luvic Yermosols vermuten. Tonreichere Sedimente mit kiesiger Oberfläche (d.h. einer Residualanreicherung, die mit N signiert wurde) weisen demgegenüber ein ausgeprägtes Säulengefüge auf, so daß sie ggf. trotz des Kiesel zu den Takyric Yermosols gestellt werden könnten. Manche Yermosole waren gipsreich, mithin Gypsic Yermosols, nur wenige hingegen Calcic Yermosols. Yermosole mit nennenswerten Salzgehalten im ersten Meter (EC 4-15 mS) wurden zusätzlich als salzige Subtypen angesprochen. Böden mit hohem Salzgehalt (EC >15 mS) möchten wir trotz aridem Feuchteregime und extrem niedrigem Humusgehalt zu den Solonchaken stellen und sie als Yermic Solonchaks bezeichnen. In benachbarten Oasen mit hohem Grundwasserstand treten demgegenüber die normalen Orthic Solonchaks auf. Bei gleichzeitig starker Gipsanreicherung haben wir Gypsic (Yermic) Solonchaks, bei starker Kalkanreicherung Calcic (Yermic) Solonchaks kartiert. Mächtige Übersandungen werden auf der Weltbodenkarte als "Unconsolidated Sands" bezeichnet. Da die beobachteten Sanddecken aber eine ausgeprägte, stabilisierende Feichschichtung (als Folge eines Verlagerungsprozesses) aufweisen, außerdem eine gewisse Salzanreicherung mit Salzdynamik bei Starkregen, wurden sie trotz Fehlens eines A-Horizontes zu den Regosolen gestellt und als Yermic-Regosols bezeichnet, allerdings nur bei einer Übersandung von über 6 dm.

Tab. 1: Typische Böden des Fezzan (Erweiterte FAO-Nomenklatur)

Yermosols:	arides Wasserregime, $A(h) < 0.5 \%$ org.S. B vorhanden
<u>Salic</u> <u>Gypsic</u>	EC 4-15 mS/cm in $\uparrow 75/90/125$ cm b. T/L/S cm B_y x % Gips: >150 obere 125 cm
<u>Calcic</u> <u>Takyric</u>	>15 cm B_c m. >15 % (Sekund.) Kalk \uparrow Säulengefüge
<u>Luvic</u> <u>Haplic</u>	% Ton: $A < B > C$ + Tonbeläge übrige
<u>Yermic</u> Solonchaks:	wie Yermosol aber EC in $\uparrow 75/90/125$ cm EC >15 mS b. T/L/S
<u>Gleyic</u> <u>Takyric</u>	(Reliktische) Rostflecken \uparrow Säulengefüge
<u>Gypsic</u> <u>Calcic</u> <u>Orthic</u>	cm B_y x % Gips: >150 obere 125 cm >15 cm B_c m. >15 % (Sekund.-)Kalk übrige
<u>Yermic</u> Lithosols:	wie Yermosols aber Solum <1 dm
<u>Yermic</u> Regosols:	wie Yermosols aber ohne B
w vorangestellt:	5-30 cm Übersandung
1/2/3 nachgestellt:	obere 40 cm S/L/T

Ökologische Eigenschaften

Unter den gegenwärtigen Klimaverhältnissen läßt Wassermangel praktisch keine Vegetationsentwicklung zu. Die folgenden Ausführungen beziehen sich daher auf einen Bewässerungslandbau (gelten allerdings auch für eine kurzfristige Vegetationsentwicklung nach episodischen Starkregeneignissen).

Die Böden weisen durchweg mäßige Porenvolumina auf; insbesondere die feingeschichteten Sanddecken sind sehr dicht (C in Abb. 4, 2); Werte über 45 % liegen nur bei Gipskrusten vor (Abb. 4, 4). Sandige Böden sind grobporenreich und mittelporenarm, so daß häufige kleine Regengaben zu verabreichen sind, während die Gefahr eines

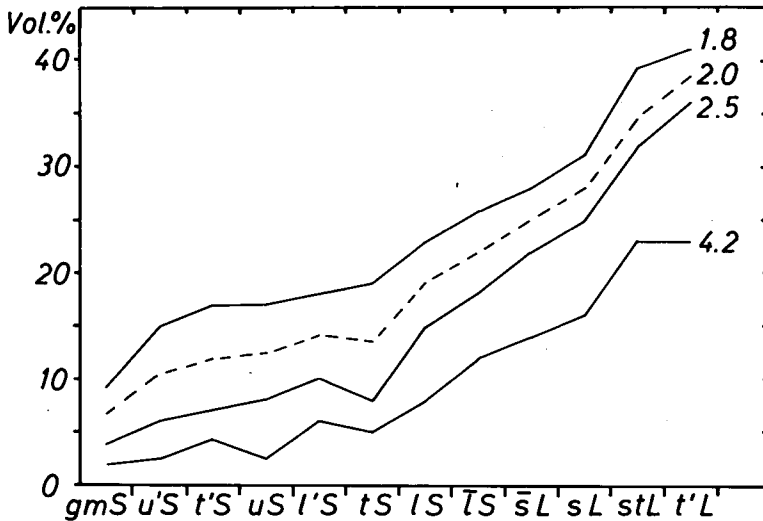


Abb. 6: Wasserbindung bei verschiedenen pF-Werten in Abhängigkeit von der Körnung von circa 100 (steinarmen) Horizonten typischer Böden des Wadi Irawan (pF 2.0 abgeleitet)

Luftmangels auch bei intensiver Bewässerung nicht zu befürchten ist. Tonreichere Böden vermögen naturgemäß mehr Wasser zu binden (Abb. 6). Die Oberböden sind allgemein reich an verfügbarem Kalium (Abb. 7: S 100-300, SL 300-600 mg/kg), Magnesium und Calcium (Abb. 5), hingegen teilweise P-arm (<50 mg/kg). Silikatbürtige Nährstoffreserven dürften gering sein: höhere Werte sind nur bei höheren Tongehalten zu erwarten, da z.T. Illit und Smectit vertre-

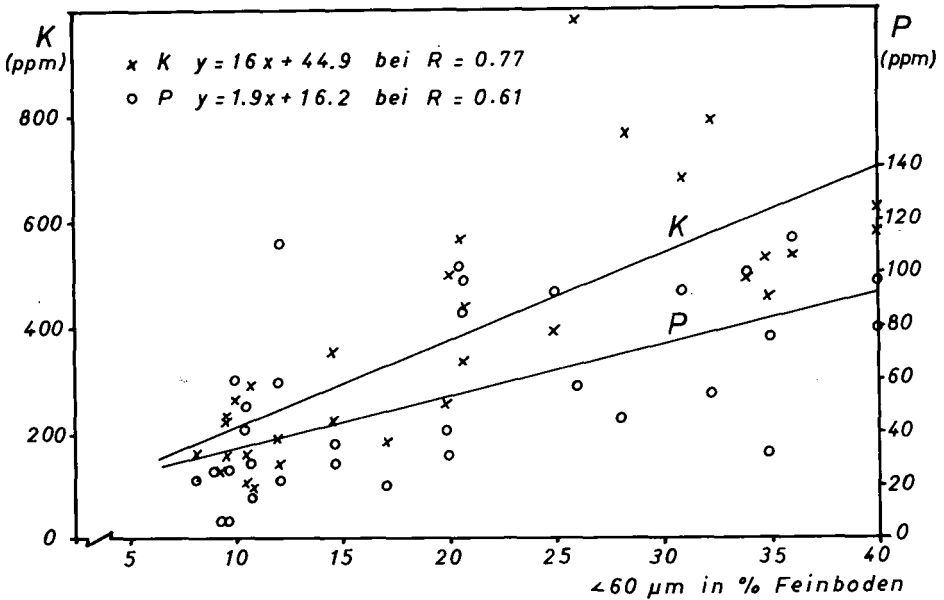


Abb. 7: Beziehung zwischen dem Ton- u. Schluffgehalt (%) u. dem Gehalt an laktatlöslichem Kalium (mg/kg) u. Phosphor (mg/kg) im Oberboden

ten sind. Hohe pH-Werte (Abb. 5), die nach Salzauswaschung noch ansteigen werden, lassen bei sandigen Böden (AK 2-4 mval/100 g) rasch Spurenelementmängel erwarten. Salzprobleme sind bei den Yermosolen nicht zu erwarten, weil deren mäßige Salzgehalte wegen hoher Durchlässigkeit (k_f meist >40 cm/d) vor Beginn eines Bewässerungs-Feldbaus leicht ausgewaschen werden können. Solonchake sind demgegenüber z.T. stark versalzen und dabei gleichzeitig auch reich an B (>5 mg/kg) sowie wenig durchlässig ($k_f <10$ cm/d), so daß deren Kultivierung schwierig wäre. Mechanische Wurzelhemmnisse bilden verfestigte Gipskrusten (z.B. Abb. 4, 4), während eine Unterbodendurchwurzelung nur selten durch verfestigte Kalkhorizonte begrenzt ist.

Zusammenfassung

Aus fluvialen Sedimenten des Wadi Irawan, Fezzan, haben sich vorwiegend Yermosole entwickelt. Tonreichere Böden besitzen oft ein Säulengefüge im Ober- und hohe Salzgehalte im Unterboden und wurden dann als Takyric Yermic Solonchaks bezeichnet. Die ökologischen Eigenschaften werden im Hinblick auf einen Bewässerungsfeldbau besprochen.

Literatur

- FANTALI, A. (1954): I valori medi della temperatura in Libia.
Boll. Soc. Geogr. Italiana, Ser. 8, VII, 59-71.
- GANSSEN, R. (1965): Grundsätze der Bodenbildung. Bibliograph.
Inst., Mannheim.
- KLITZSCH, E., K. WEISTOFFER, CH. SONNTAG und E. SHAZLY (1977):
Fossil reserves of groundwater in the Central Sahara; in
Natural Resources and Development 5, 19-45, Bundesanst. Geow.,
Rohst. Hannover.
- SCHLICHTING, E. und H.-P. BLUME (1966): Bodenkundliches Praktikum.
Parey, Hamburg.
- SINDOWSKI, K.-H., in W. MECKELEIN (1959): Forschungen in der
zentralen Sahara. - 152-181, Westermann, Braunschweig.
- SPRINGER, M.E. (1958): Dessert pavement and vesicular layer of
some soils of the desert of the Lahontan Basin Nevada.
Proc. Soil Sci. Soc. Am. 22, 63-66.
- VOLK, O.H. und E. GEYGER (1971): "Schaumböden" als Ursache der
Vegetationslosigkeit in ariden Gebieten. Z. Geomorph. N.F. 14,
79-95.

Yermosol-Solonchak-Bodenschaft des Fezzan

II. Soziologie und Bewässerungseignung

von

Th. Petermann und H.-P. Blume⁺

Im folgenden wird über das Verbreitungsmuster der Böden und deren Bewässerungseignung einer typischen Serir-Landschaft der zentralen, extrem ariden Sahara berichtet (Eigenschaften und Klassifizierung der Böden s. BLUME und PETERMANN in diesem Band). Die Arbeiten erfolgten im Auftrage des Ing. Büro Buchholz, Frankfurt. Kartiert wurden 300 qkm in einem 900 m-Raster von 2 m-Bodenschürfen und davon ein 20 qkm-Ausschnitt in einem 250 m-Raster, von dem ein repräsentativer Teil auf den umseitigen Karten dargestellt ist. Von allen Profilen wurde in 3 Horizonten Kiesgehalt, pH, Kalk- und Salzgehalt (1:2.5-EC, Bezug auf Sättigungsextrakt nach Gipskorrektur) ermittelt, von 32 Leitprofilen weitere Eigenschaften zwecks Eichung der Feldschätzungen.

Verbreitungsmuster der Böden

Weite Senken der flachwelligen, nach ONO mit 0.03 % geneigten Serirlandschaft werden von sandigen (meist S-1'S) Haplic Yermosols (Yh1) eingenommen, die im Osten stärker versalzen sind (Yz1). Sie weisen teilweise junge Decken umgelagerten Sandes auf (w). Die (in der Regel tonreicheren) Rücken weisen Yermic Solonchaks (meist Z2 in 0-30 cm uS-sL, Z1 in 40-80 cm Tiefe). Sie sind besonders an Oberhängen geköpft und dann durch Kiesoberfläche neben takyrischem Oberboden und oft rostfleckigem Unterboden (Zg) gekennzeichnet. Die Ursachen unterschiedlicher Versalzung sehen wir sowohl in unterschiedlicher Körnung als auch unterschiedlicher Reliefposition (bei Sanden und in Senken Auswaschung durch episodische Starkregen möglich, nicht jedoch bei Lehmen und an Hängen mit lateralem Hangwasserabzug. Sandige Yermosole mit Gipskruste (Yy) treten in kleinen, abflußlosen

⁺ Institut für Ökologie - FG Bodenkunde -, Englerallee 19/21, 1000 Berlin 33

Senken auf, in der wohl unter ehemals feuchteren Klimabedingungen Hangwasser Sulfate akkumulierten. Deren Salzgehalte sind gering (vgl. Karte b und e), wohl als Folge verstärkter Starkregenperkolatation nach Absinken des Grundwassers.

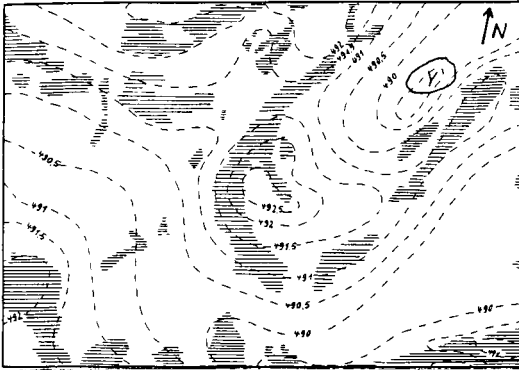
Bewertung für Bewässerungs-Feldbau

Eine Bewertung muß einerseits die Wachstumsfaktoren Durchwurzelbarkeit, Versorgung mit Wasser, Luft und Nährstoffen sowie Belastung mit Schadstoffen (incl. deren An- bzw. Abreicherung), Bearbeitbarkeit und Erosionsgefährdung erfassen, andererseits aus ökonomischen Gründen auf Feldbefunden beruhen. Da gedüngt und bewässert werden soll, war das entsprechende Transformationsvermögen eines Bodens für Wasser und Nährstoffe zu bewerten. Wir haben in Anlehnung an STORIE (1964) die folgende Gliederung in Landnutzungsklassen vorgenommen (s. auch SYS u. VERHEYE, 1974, NN, 1979):

Indexzahl	Landnutzungs-klasse	
100-80	I	ohne Einschränkung gut nutzbar
80-60	II	nutzbar mit geringen Einschränkungen
60-40	III	nutzbar mit Einschränkungen
40-20	IV	noch nutzbar mit starken Einschränkungen
20-10	V	gegenwärtig nicht nutzbar
<10	VI	nicht nutzbar

Aufgrund wuchsbegrenzender Faktoren wurden Unterklassen gebildet:

- a - Aktive Sandbewegung
- c - Wasserstau / Verschlammungsneigung / Luftmangel bei Bewässerung
- g - Einfluß (salzigen Grundwassers)
- k - Wasserleitfähigkeit des Unterbodens gering, d.h. Gefahr sekundärer Versalzung
- r - Hangneigung stark / Relief heterogen
- s - Wasser- / Nährstoffbindungsvermögen / Nährstoffreserven gering
- u - Kleinflächiger Bodenwechsel
- x - Flachgründigkeit

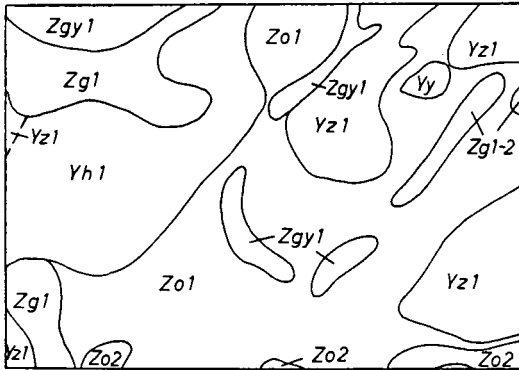


Ökologische Karten des
Wadi Jrawan, Fezzan

a Topographie
(n. Luftbild)

- Kiesoberfläche
 Gipskrusten

0 200 400m

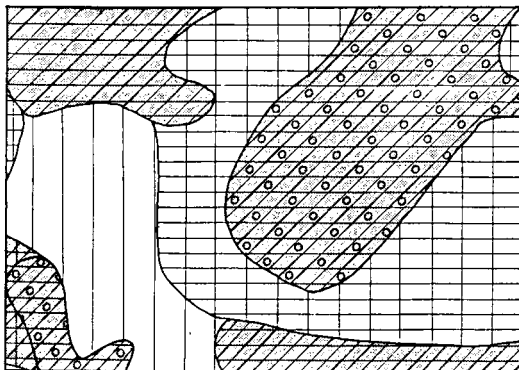


b Böden

Yermosole (Y)
Yh1 (+Yz1+wYh1)
Yz1 (+Yh1+wYz1+wYh1)
Yy (+Zy1)

Solonchake (Yermic. Z)
Zo1 (+Yz1+wZo1)
Zo2 (+Zl2)
Zgy1 (+Zgy2)
Zg1 (+Zgk1-2)
Zg1-2

g: (relict)Gleyic	h: Haplic
k: Calcariic	l: Luvic
o: Orthic	w: übersandet
y: Gypsic	z: Salty
1: Sandig	2: Lehmig

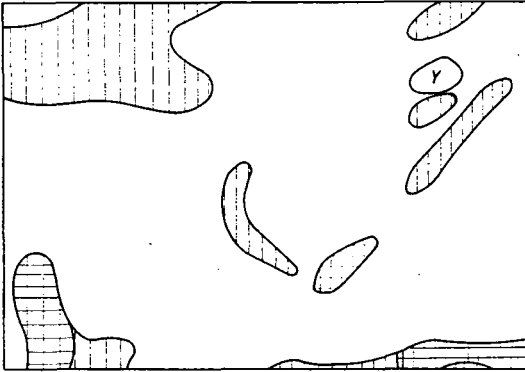


c Nutzbarkeitsklassen für
Bewässerungs-Landbau

- gut bis mittel
geeignet (II+III)
 mäßig bis ungeeignet
(IV+V)

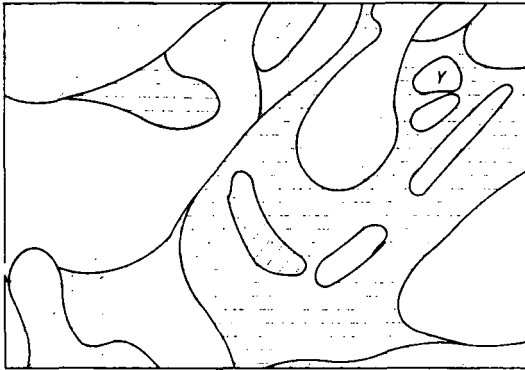
Begrenzung durch

- Relief
 Salze und Verschläm-
mungsneigung
 Wasserleitfähigkeit
 Wasser- und Nähr-
stoffbindungsver-
mögen



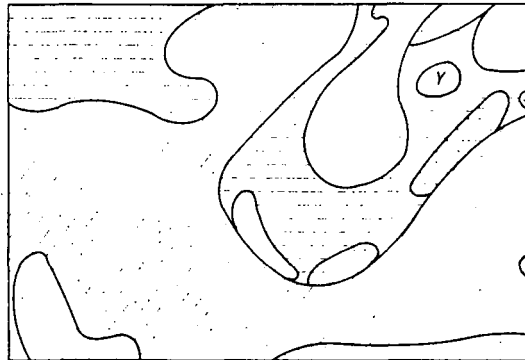
d Gesättigte Wasserleitfähigkeit (cm/d)

Minimum	oben	unten
> 40		
40 - 10		
10 - 1		
< 1		



e Versalzung (EC in mS/cm des Sättigungsextraktes)

	< 4
	4 - 8
	8 - 15
	> 15



f Nutzbare Wasserkapazität (mm/10dm)

	niedrig	< 90
	mäßig	90 - 120
	mittel	120 - 140
	mäßig hoch	140 - 160
	hoch	160 - 200

Die Indexzahl (I) wurde durch Multiplikation der Indices von 4 Faktorengruppen ermittelt:

$$I = 100 \times A \times B \times C \times D$$

Dabei werden mit A das Wasser- und Nährstoffbindungsvermögen, die Nährstoffreserven sowie Verschlammungsneigung und damit Luftmangel und Bearbeitbarkeit des Hauptwurzelraumes signiert, mit B Durchwurzelbarkeit und Durchlässigkeit des Unterbodens, mit C Nährstoffverfügbarkeit und Salztoxizität und mit D der Einfluß salzigen Grundwassers sowie Erosionsgefahr.

Im folgenden sind die Indices der Faktoren A-D aufgeführt, und zwar ableitbar aus im Felde ermittelbaren Bodeneigenschaften:

A. Physikalische Eigenschaften des Oberbodens

a) Körnung und Humusgehalt der oberen 40 cm

Körnung	Index bei % org. S.			
	<	1	2	4 >
1. $\bar{I}S, \bar{e}S, sL, \bar{s}L$	0.9	0.95	1	1
2. $u1S, suL, stL, t'L, \bar{s}T, \bar{u}1S$	0.85	0.9	1	1
3. $sU, utL, uL, tL, 1S, tS, uS, s'T, sT$	0.8	0.9	1	1
4. $1U, 1T, fS, 1'S, t'S, T$	0.7	0.8	0.9	1
5. U	0.65	0.8	0.9	1
6. $gS, mS, \text{feinkiesiger S}$	0.6	0.7	0.8	0.9

b) Skelett (Grobkies, Steine, harte Konkretionen) der oberen 40 cm

	Index
1. < 5 Vol.%	- 0
2. 5 - 15 Vol.%	- 0.1
3. 15 - 25 Vol.%	- 0.2
4. 25 - 35 Vol.%	- 0.3
5. > 35 Vol.%	- 0.5

c) Körnung und Skelett in 40 - 100 cm Tiefe

S, > 15 % Skelett	- 0.1
-------------------	-------

d) Dominierendes Gefüge und Lagerungsdichte der oberen 40 cm	Index
1. krü, sin, sub und $<1.75 \text{ g/cm}^3$	- 0
2. pol, pri, hül ^{x)} und/oder $>1.75 \text{ g/cm}^3$ (außer S)	- 0.1
x) bzw. leicht zementiert	

B. Physikalische Eigenschaften des Unterbodens

a) Mächtigkeit lockeren Bodens über festem Gestein oder verfestigtem Horizont	Index
1. > 150 cm	1
2. 100 - 150 cm	0.8
3. 40 - 100 cm	0.6
4. 15 - 40 cm ^{x)}	0.4
5. < 15 cm ^{x)}	0.3
x) bei <15 cm mächtiger, durch Pflügen brechbarer Verfestigung über lockerem Solum	
	+ 0.2

b) Wasserleitfähigkeit (für gesättigten Fluß) und Korrelation zur Körnung und Lagerungsdichte (n.MÜLLER, 1977): entscheidend Unterbodenhorizont mit der niedrigsten Leitfähigkeit

k_f in cm/d	Rg	< 1.4	-	1.75	>	g/cm^3	Index
1. > 300	gS, mS, fS		gS				-0
2. 300-100	gS, mS, fS, ls, ts, uS, uLS, sL, uL, utL, tL, uT, lT, T		gS, mS, l'S		gS		-0.05
3. 100-40	uS, uLS, lS, ts, sU, U, lU, tU, sL, uL, tL, uT, lT, T		fS, lS, t'S		gS, mS		-0.1
4. 40-10	SU, U, lU, tU		uS, uLS, lS, ts, sU, slU, U, lU, tU, sL, uL, tL, uT, lT, T		fS, l'S		-0.2
5. 10-1			sU, U, lU, tU, uL, tL, utL, uT, lT, T		uS, uLS, ls, ts, sU, U, lU, tU, uL, slU		-0.3
6. < 1					lU, tU, slU, sL, uL, utL, tL, uT, lT, T		-0.4

c) Zementierung oder ausgeprägte Schichtungsunterschiede

	40-100 cm	>100 cm
leichte Zementierung	- 0.2	- 0.1
Texturwechsel von TL zu S/Ki oder T zu SL	- 0.1	- 0.05

C. Salinität und Alkalität des Bodens

a) Elektr. Leitf. des Sättigungsextr. (Mittel d. ob. m)

EC i. mS/cm	< 4	- 8	- 15	- 30	>
S, 1S, $\bar{s}L$	1	1	0.95	0.9	0.8
sL, sT, stL, tL, uL	1	0.95	0.9	0.8	0.6
T, uT, utL	1	0.9	0.8	0.6	0.4

b) elektr. Leitf. d. Sättigungsextr. (>100 cm)

>8 mS/cm - 0.1

c) Alkalität des Oberbodens (pH H₂O)

pH < 8.5 - 9 >
-0 -0.1 -0.2

D. Landschaftsfaktoren

a) Hangneigung (Mesorelief)

Index bei	Geplanter Landnutzungstyp	
	Überstauen	Beregnung
0 - 2 %	1.0	1.0
2 - 4 %	0.9	0.95
4 - 8 %	0.8	0.9
8 - 16 %	0.6	0.8
> 16 %	0.4	0.6

b) Reliefstruktur (Mikrorelief)

eben, gleichförmig	Index - 0
schwach gewellt, schmale Abflurinnen, Rillen enges Nebeneinander versch. Reliefseinheiten,	- 0.05
wellig, rah, dichtes Spülrinnennetz	- 0.1

c) Hydrogeologische Lage	Index
Tiefe des (salzigen) Grundwasserkörpers	
> 8 m	- 0.0
8 - 4 m	- 0.2
4 - 2 m	- 0.4
< 2 m	- 0.6
d) Windumlagerung	Index
Erosionsgefahr (Wind- und Wassererosion) der Landschaftseinheit	
mittlere Gefährdung	- 0.05
starke Gefährdung	- 0.1

Nach diesem Schema wurden die Böden des Wadi Irawan bewertet (Karte c). Ein Vergleich mit Relief (a) und Bodenkarte (b) läßt erkennen, daß vor allem die Gleyic Solonchaks für einen Bewässerungs-Landbau kaum geeignet sind und zwar wegen starker Versalzung, Verschlammungsneigung der Krume, geringer Unterbodendränage und teilweise auch stärkerer Hangneigung. Insbesondere die sandigen Haplic Yermosols erwiesen sich demgegenüber als gut bis mittel geeignet mit Einschränkungen bei Wasser- und Nährstoffbindung, was häufiges Beregnen und Düngen erfordert. Den Karten d, e und f können einzelne Standortfaktoren entnommen werden: sie sollen dem Pflanzenbauer die Planung der Bewässerungsintensität zwecks Auswaschung der Salze und ökonomischen Wasserverbrauchs unter Vermeiden von Luftmangel durch Stau erleichtern.

Zusammenfassung

Am Beispiel eines extrem ariden Sahara-Ausschnittes wird die Standortbewertung für einen Bewässerungs-Landbau erläutert.

Literatur

MÜLLER, W. (1977): Die Dränung als Meliorationsmaßnahme vernäster Standorte. KWK Seminar, Hannover.

MN (1979): Soil survey investigations for irrigations. FAO Soils Bulletin 42, Rom.

STORIE, R.E. (1964): Soil and land classification for irrigation development. Int. Congr., Soil Sci., Bucarest.

SYS. C. und VERHEYE (1974): Land evaluation for irrigation of arid regions by the use of the parameter method. Transact, 10th IBG-Congr., Moskau, Bd. X, 149-155.

Paläoböden und Vorzeitklima in der zentralen
Sahara

von

Skowronek, A. ⁺

1 Problematik

Obwohl in der Umrahmung des Murzuk-Beckens (zentrale Sahara) fossile Rumpf- und Fußflächen vorkommen, fehlen Paläoböden als Zeugen für ein entsprechend tropisch-wechselfeuchtes Bildungsklima weitgehend.

Eine Paläo-Roterde im Grenzbereich des Ergs von Murzuk wird einem wechselfeuchten Bildungsklima semiariden bis subtropischen Charakters zugeordnet (KALLENBACH 1972). Dickere eisenhydroxid-reiche Verwitterungskrusten im Sandstein der Dachfläche des Djebel Messak sollen dagegen Relikte eines ehemaligen B-Horizontes aus einer Feuchtzeit des Jungtertiärs sein (KALLENBACH 1971).

Lateritische Verwitterungseroste des südlich anschließenden Plateau du Djado werden zeitlich in die Oberkreide gestellt (PLACHUT et al. 1960).

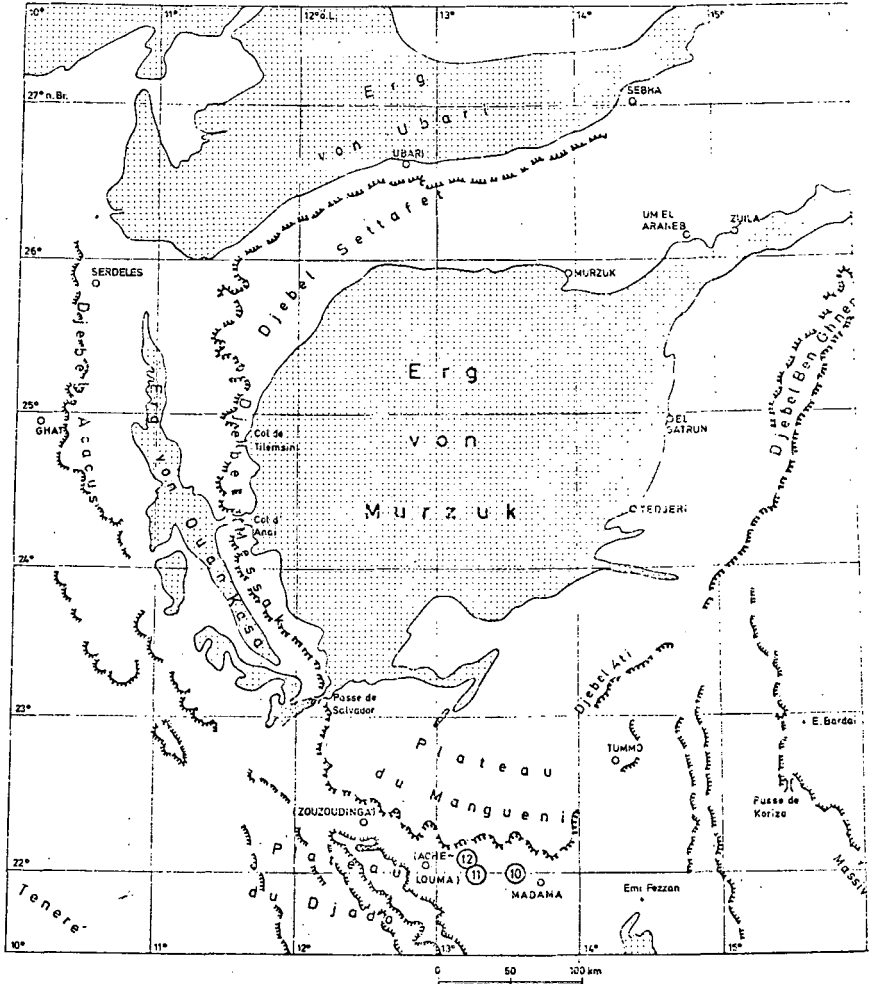
Die Braunlehm-Relikte auf den Basalten des Hoggar-Gebirges können nicht als Vergleichsbasis für Paläoböden im Arbeitsgebiet dienen, da sie in über 2000m Höhe gebildet wurden und ihre klimatischen Entstehungsbedingungen sowie ihr Alter noch nicht als geklärt angesehen werden können (vgl. KUBIENA 1955 u. ROGNON 1967).

Andererseits entstehen heute außer Wüstenlacken, Polituren, Krusten u.a. (vgl. z.B. SCHEFFER et al. 1963, HABERLAND 1975) keine vertikal untergliederbaren Lockerprodukte i.S. von Böden, so daß evtl. vorhandene Paläosole im Untersuchungsgebiet zeitlich in das Pleistozän und Frühholozän einzuordnen waren.

⁺ Geographisches Institut, Am Hubland, 8700 Würzburg

2 Untersuchungspunkte

Im Rahmen des Gesamtkonzepts einer Arbeitsgruppe des Geographischen Instituts der Universität Würzburg wurden auch fossile Pflanzen und Bodensedimente zur Interpretation der Landschaftsgeschichte herangezogen. Davon werden jetzt drei vorgestellt (s. Karte, Prof. 10, 11 u. 12).



Arbeitsgebiet mit Lage der untersuchten Profile

3 Pedogene Merkmale

Die beiden autochthonen Böden (Profil 10 u. 12) zeigen deutliche Texturunterschiede in den obersten Profilabschnitten. Der hohe Skelettanteil von über 30% wird hervorgerufen durch eine sekundäre Serir-Auflage auf den geköpften Boden. Sicher erfolgte zusätzlich eine selektive Ausblasung der feineren Komponenten.

Das dichte kohärente Lehmgefüge zeigt deutliche Quellungs- und Schrumpfungsrisse, was zumindest ein zeitweises wechselfeuchtes Bodenwasserregime belegt. Verbraunung und Neubildung von Karbonat ist ebenfalls zu beobachten (Profil 12).

Auch das Bodensediment (Profil 11) erfuhr nach seiner Ablagerung noch eine pedogene Überprägung in Form einer vertisol-ähnlichen Gefügebildung.

Die chemische Zusammensetzung vorbehandelter pedo- und lithogener Tone zeigt eine relative Konstanz der Kieselsäure und nur in einem Fall eine etwas stärkere Zunahme des Aluminiums. Legt man die Molekularverhältnisse von SiO_2 und Al_2O_3 zugrunde, so muß man von einer abgeschwächten siallitischen Verwitterung sprechen.

Röntgenographisch läßt sich keine wesentliche Um- oder Neubildung von Tonmineralen nachweisen, vielmehr werden die tonigen Komponenten des Ausgangsgesteins weitgehend in den Boden vererbt.

4 ^{14}C -Alter von Huminsäuren und Holzkohle

Von den beschriebenen Böden und dem Bodensediment wurde aus Huminsäuren und Holzkohlestückchen eine Radiocarbon-Datierung vorgenommen. Das ermittelte Alter spiegelt zweimal den Abbruch einer weiterführenden Bodenbildung wider, welcher durch Kappung der Profile und Auflagerung von Serir-Material hervorgerufen wurde (Profil 10 u. 12).

Labor Hv	Profil	Tiefe (cm)	^{14}C -Modellalter
90 69	10	5-10	10 900 \pm 540
90 70	11	250-260	9 500 \pm 215
90 71	12	45-50	9 580 \pm 180

Die angeführten Radiocarbon-Daten belegen im Untersuchungsgebiet eine echte Feuchtzeit, wie sie auch aus anderen Teilen der zentralen Sahara bekannt ist (GEYH/JÄKEL 1974).

5 Pollenanalyse (Profil 11)

Die im Bodensediment von Profil 11 in verschiedenen Tiefen zur Pollenanalyse entnommenen Proben zeigen nach SCHULZ (1979) das Bild einer lockeren Gras- und Krautvegetation, die der heutigen Pflanzendecke sehr ähnlich ist. Sie enthält sowohl sahelotropische als auch saharosindische Elemente. An Baumarten sind nur Acacia und Tamarix vertreten. Der Fremdeinfluß ist sehr gering zu werten, er wird nur von den wenigen Pollenkörnern von Betula repräsentiert.

6 Rekonstruktion bodenbildender Prozesse

Anhand der pedogenen Merkmale von zwei autochthonen Böden und eines Bodensediments lassen sich folgende Prozesse als Ursache für die Profilmorphologie rekonstruieren:

1. (Partielle) Lösungsverwitterung des Carbonat-Anteils im Ausgangsgestein (Profil 12)
2. Humifizierung und Verbraunung
3. Gefügebildung
4. Dekapitierung des oberen Solums und Fossilisation des Bodenrelikts durch einen Grobmaterial-Auflage bzw. Akkumulation eines Bodensediments.

7 Bildungsbedingungen

Die o.g. Prozesse der Bodenbildung und der Abtragung konnten nur unter wesentlich feuchteren großklimatischen Bedingungen ablaufen als sie heute bestehen. Der Vergleich der pedogenen Merkmale mit solchen in rezenten Böden Südost-Spaniens legt den Schluß nahe, daß in dem heute hyperariden Untersuchungsgebiet ein ähnliches Bildungsklima geherrscht haben muß: es war charakterisiert durch einen wechselfeucht-semiariden Witterungsablauf mit einem mehr episodischen Jahresniederschlag von schätzungsweise um 150mm (vgl. a. FÜRST 1970).

Das entsprechende Pflanzenkleid war deshalb nicht mediterran oder mediterran-ähnlich. Vielmehr konnten die sahelotropischen und saharosindischen Elemente der damaligen Vegetation bei Erhöhung des Niederschlagsangebotes ihre Standorte viel schneller verdichten, als durch Fernflug transportierte mediterrane Arten hätten Fuß fassen und sich ausbreiten können.

Dank absoluter Datierungen können diese Ereignisse zeitlich in die letzte große Feuchtzeit gelegt werden.

Literatur

- FÜRST, M. (1970): Beobachtungen an quartären Buntsedimenten der zentralen Sahara.- Abh.hess.L.-Amt Bodenforsch. 56, 129-150.
- GEYH, M. A. u. JÄKEL, D. (1974): Spätpleistozäne und holozäne Klimageschichte der Sahara aufgrund zugänglicher ¹⁴C-Daten.- Z.Geomorph.N.F. 18, 82-98.
- HABERLAND, W. (1975): Untersuchungen an Krusten, Wüstenlacken und Polituren auf Gesteinsoberflächen der nördlichen und mittleren Sahara (Libyen und Tschad).- Berliner Geogr. Abh. 21.
- HAGEDORN, H., BÜSCHE, D., GRUNERT, J., SCHÄFFER, K., SCHULZ, E. u. SKOWRONEK, A. (1978): Bericht über geowissenschaftliche Untersuchungen am Westrand des Murzuk-Beckens (zentrale Sahara).- Z.Geomorph.N.F. Suppl. Bd. 30, 20-38.
- KALLENBACH, H. (1971): Beiträge zur Sedimentologie des kontinentalen Mesozoikums am Westrand des Murzukbeckens (Libyen).- Geol. Rdsch. 61, 302-322.
- KALLENBACH, H. (1972): Petrographie ausgewählter quartärer Lockerseimente und eisenreicher Krusten der Libyschen Sahara.- Berliner Geogr. Abh. 16, 83-93.
- KUSIENA, W. L. (1955): Über die Braunlehmrelikte des Atakor (Hoggar-Gebirge, Zentral-Sahara).- Erdkunde 9, 115-132.
- PLAUCHUT, B., FAURE, H. et al. (1960): Notice explicative sur la Carte Géologique du bassin du Djado (Feuilles Djado et Tummo).- Dakar.
- ROGNON, P. (1967): Le massif de l'Atakor et ses bordures.- C.N.R.S., Paris.
- SCHEFFER, F., MEYER, B. u. KALK, E. (1963): Biologische Ursachen der Wüstenlackbildung. Zur Frage der chemischen Verwitterung in ariden Gebieten.- Z.Geomorph.N.F. 7, 112-119.
- SCHULZ, E. (1979): Die Vegetation der östlichen zentralen Sahara und ihre Entwicklung im Holozän.- Diss. Würzburg.
- SKOWRONEK, A. (1979): Preliminary report on palaeols and soil sediments in the Messak/Mangueni region (Central Sahara).- Palaeoecology of Africa 11, 57-59.

Pleistozän-Sedimente und Böden in Tripolitarien
und Fezzan

von

Hugenroth, P., ⁺⁾ und B. Meyer ⁺⁾

Zweck des Referates war es, anhand zahlreicher Landschafts- und Bodenphotographien einen Überblick über die latitudinale Zonierung W-Libyens zu vermitteln. Dazu wurden als Schwerpunkte der Betrachtung gewählt:

Im feuchteren NW liegt der Jebel Nefusa, ein aus kretazischen Sedimentiten gebildetes Hochplateau mit einer markanten Schichtstufe als nördlicher Begrenzung und die ihm im Norden vorgelagerten Jefara-Plains. Sie sind Teil eines vom südlichen Tunesien herüberschwingenden geomorphologischen Systems, das bodenkundlich wegen seiner z.T. beträchtlichen Lößmächtigkeiten von Interesse ist. Die Lössе und ihnen zwischengeschalteten Paläoböden — Kalkrotbraunerden mit Calcret-Horizonten — stellen einen Schlüssel zum Verständnis der quartärgeologischen, -morphologischen und -pedologischen Gliederung von Böden und Sedimenten in den weiter südlich anschließenden Räumen Tripolitarien und Fezzan dar.

Das geologische Bild läßt den Beckencharakter dieses Raumes erkennen. Dessen Gesteinsfolgen vom Ordovicium bis zum Alttertiär sind in den Beckenumrandungen durch tertiär-quartäre Prozesse der Pedimentation und Sedimentation zu Rumpfflächen- bzw. Schichtstufen-Abtragungs- sowie Becken-Sedimentationslandschaften ausgeformt worden. Der oft wiederholte Wechsel von Phasen geomorphologischer Stabilität und Instabilität und der Wechsel von pedologischen Trockenphasen mit vorwiegender Sedimentation und Feuchtphasen mit lösungsschemischer Bodenbildung während des Quartärs haben dabei die dominierende Rolle in der Ausprägung der Landschaft, der Pedimente und Sedimente und der Böden gespielt. Letztere sind in

+) Institut für Bodenkunde, von-Siebold-Str. 4,
D-3400 Göttingen

ihrer geographischen Anordnung ohne Anwendung paläopedologischer Gesichtspunkte genetisch nicht zu interpretieren.

Die z.T. über 60 m mächtigen Lößfolgen im Jebel Nefusa sind hauptsächlich durch Paläoböden des Typs Kalk-Rotbraunerde mit Calcret-Horizont untergliedert. Dieser Bodentyp entstand immer wieder während des Quartärs in Zeiten mit regelmäßigen Niederschlägen, die tief genug eindringen konnten, um eine Kalkverarmung des Oberbodens und eine Kalkanreicherung im Unterboden herbeizuführen. Eine Kalkabfuhr aus dem Solum hat dabei in der Regel stattgefunden, aber in der Regel nicht zu einer völligen Entkalkung geführt. - In vielen Fällen ist die Beteiligung von Baumwurzeln an der Kalkausfällung im Cc-Horizont sicher nachzuweisen. Vegetation ist bei der Bildung dieser Böden also offenbar in reichlichem Maß beteiligt gewesen. Der mehr oder weniger kalkverarmte Oberboden hat sich im Zuge der Kalkauflösung gerötet und erscheint rot oder rotbraun, je nach Gehalt an Ferrodolomit im Gestein. Der Grad der Calcret-Verfestigung des Unterbodens hängt in der Regel vom Kalkgehalt des Sediments ab. Er kann in einer totalen steinharten Vermörtelung bestehen. Der Oberboden ist häufig völlig abgeräumt, und der ehemalige Cc-Horizont bildet eine "Oberflächen-Pseudo-Kruste" der Landschaft. Calcretbildung kann aber auch lediglich in der Bildung von Kalknoduln bestehen.

Untersuchungen von ROHDENBURG und SABELBERG wonach in Marokko die letzte dieser mit Calcret und Decarbonations-Rubeszenz verbundenen Bodenbildungen in das ausgehende Würm und das beginnende Holozän fällt, lassen sich vermutlich auch auf die Lössse Südtunesiens und Nordlibyens übertragen. Die heutigen oberflächlich freigelegten Calcretes des libyschen Küstensaumes sind zum großen Teil aus würmzeitlichem Löss hervorgegangen. Dachförmige Überhänge an der Küste östlich Tripoli werden häufig von den Calcrethorizonten dieser Böden gebildet.

Die Einordnung der Lösssedimentation in das Wechselspiel von quartären Instabilitätsphasen — mit Pedimentation und ausgedehnter Schuttdeckenbildung — und Stabilitätsphasen — mit Bodenbildung — fällt in den Lössgebieten schwer, da Verzahnungen von Löss, fluvial umgelagertem Löss und Schwemmgeröll zwar häufig, aber schwer einzuordnen sind. Weiter südlich in Tripolitaniern, wo der Löss ausdünnert, ergibt sich vorerst der Eindruck, daß den trockenen, vegetationsarmen, aber durch Starkregen gekennzeichneten quartären Instabili-

tätsphasen mit überwiegender Kiesdeckenbildung in den Becken zunächst eine aride Stabilitätsphase mit äolischem Transport — vorwiegend Sand im Süden, Löß im Norden — ablief, auf die dann eine gleichmäßig feuchte Stabilitätsphase mit Bodenbildung folgte. Eine solche Folge scheint sich auch von der dem letzten Hochglazial entsprechenden Klimaepoche bis ins Holozän hinein vollzogen zu haben.

Der letzte als Kalk-Rotbraunerde deutlich ausgeprägte Boden aus der Jefara Ebene, wird im Stadtgebiet von Tripoli durch mächtige Schwemmlößdecken überlagert, die den genannten Boden größtenteils kappen. Darüber folgt noch einmal Löß, der außer der Akkumulation von Humus (hellgrauer Steppenboden) keine markante holozäne Bodenbildung erkennen läßt. Dieser Sedimentkomplex ist im Hafen von Tripoli auf ein Niveau unter dem Meeresspiegel ausgerichtet und bildet heute ein Kliff. Er wäre somit in die Zeit vor oder während der flandrischen Transgression zu stellen. Dieser jüngste Löß setzt nördlich vom Jebel Nefusa auf älteren abgeräumten Calcretes der Jefara-Ebene im Süden zunächst zögernd ein und nimmt nach Norden zur Mittelmeerküste hin erheblich an Mächtigkeit zu. In der Zone geringer Löß-Mächtigkeit finden sich hier wie auch in Tunesien die sog. "desert mounds", bis zu 3 m Höhe herausragende Lößhügel mit rundem oder tropfenförmigen Grundriß. Sie sind meist von Dornengestrüpp überzogen und weisen im Anschnitt in der Regel keine stratigraphische Untergliederung auf. Sie gehen nach unseren Beobachtungen kontinuierlich in die umgebende geringmächtige Lößdecke über.

Südtripolitanische Plateau- und Beckenlandschaften:

Calcret als Zeuge der Bodenbildung feuchterer Winterregen-Klimate reicht im Süden nach unseren Beobachtungen bis an die Erg im Edeien von Mursuk und vermutlich noch weiter südlich. Auch ein großer Teil der Hamada, z.B. die aus mit Wüstenlack überzogenem Basalt bestehende wie die auf dem großen südtripolitanischen Basaltplateau, kann im weiteren Sinne primär als eine Calcret-Landschaft angesehen werden. Das wird besonders dort deutlich, wo das Hamada-Plateau durch Pedimentstufen unterschritten wird. Hier wird die in den Klüften und Spalten des durch Insolationsverwitterung stark beanspruchten Basalts enthaltene Füllsubstanz ausgeräumt. Sie akkumuliert sich auf dem Pediment als Feinschuttdecke. Die Füllsubstanz bestand primär neben Insolationsdetritus des Basalts

aus äolisch eingetragenen kalkhaltigem Sand, der in einer feuchten Klimaphase pedogenetisch durch Calcret verfestigt wurde. Diese Calcret-Füllungen der Basalt-Klüfte zerbrechen bei der Ausräumung des Basalts und bilden eine oberflächliche Decke von sandvermischten Calcretbrocken.

In späteren Phasen der Bodenbildung ist diese Sedimentdecke wieder angelöst und im Unterboden durch Calcret erneut verfestigt worden. Dabei ist es auch hier wieder zur Rubeszenz gekommen.

Bodenbildung

feuchterer Paläoklimate kann sich außer in der Bildung von Kalkbraunerden mit Calcret aber auch anders äußern: So wurde in Schürfruben im Becken der Oase Jouffra in dicht unter der Oberfläche anstehenden montmorillonitreichen Peliten ein ausgedehntes begrabenes Gilgai-Relief beobachtet. Dieses Relief - mit all den für Gilgai typischen Scher- und Gleitphänomenen und Involutionen - ist in einer folgenden geomorphologischen Instabilitätsphase von fluvial transportierten Sedimenten ausgeglichen worden. Diese zeigen die typische Folge vom Kies zum Schwemmschluff. In einer nächsten - vermutlich der letzten - Bodenbildungsphase hat sich aus diesem Decksediment - ohne daß ausreichende Sickerfeuchte für die Wiederbelebung des Gilgais zur Verfügung stand - eine Kalkrotbraunerde entwickelt. Der Kies ist dabei durch Calcret verfestigt worden, der Schluff gerötet. Die letzte und gegenwärtige Phase des quartären Zyklus besteht hier in einer Überdeckung mit kalkreichem gelbbraunem Schichtflut-Schluff und - Feinsand und - an anderen Stellen - mit kalkhaltigem Dünen sand.

Fezzan:

Serir-Wüsten wie die auf der nach Süden geneigten Schichtfläche von Ubari/Murzuk müssen wohl in ihrem Sedimentaufbau als mehrphasige Produkte von Bodenbildung und Umlagerung bei der Pedimentation betrachtet werden. Profile solcher kalkfreier Serir-Decken lassen zwar nur gelegentlich paläogenetische "in situ" -Prozesse erkennen - wie z.B. Tonmigration -, sind aber reich an Phänomenen der hydrolytischen Verwitterung und Rubeszenz, die sich vor der Umlagerung vollzogen haben.

Als aktuelle, d.h. den gegenwärtigen Klimabedingungen entsprechende Bodenbildung tritt in der mit äolischem Schlufflehm angereicherten Hamada des Fezzan der YERMOSOL mit einem bis zu 6 cm starken Schaumoberboden auf.

Dieser zeugt bis tief in den Fezzan hinein von zwar seltenen, aber mit hohen Intensitäten auftretenden Starkregen, die beim Aufsaugen durch den Boden zur Luftokklusion führen. Solche Schaumböden verateten sich bereits durch den hohlen Klang beim Begehen. Überraschend

war, daß sich in der scheinbar völlig pflanzenfreien Hamada beim Aufgraben der Böden Libellen einstellten, die immerhin als Endglieder einer Nahrungskette anzusehen sind. Tatsächlich wird die Bioproduktion solcher YERMOSOLS unterschätzt. Sehr sporadisch finden sich bis zu fingerhohe Leguminosen-Einzelpflanzen, die ihre Assimilate in ein Wurzelnetz einlagern, das Hunderte von m² einnimmt und den Schaumhorizont unterfährt. In einer 10 cm starken Schicht konnten bis zu 0.15% C bei einem C/N-Verhältnis von 4.5 (einschließlich mineralisch fixiertem Ammonium) ermittelt werden, was etwa 490 kg N_t/ha entspricht.

Das Vorhandensein dieser N-Mengen wird sichtbar, wenn solche Flächen bewässert werden und der Weizen infolge Mineralisation ohne Düngung tief dunkelgrün wird, wie in den zahlreichen neuen Bewässerungsprojekten immer wieder zu beobachten ist. Die meisten der heutigen ca. 3000 ha großen Bewässerungerschließungsgebiete liegen in den Wüstenbecken. In Tripolitaniens mit seinen in einem Jahrzehnt ein- bis zweimal auftretenden Starkregen werden diese durch Schichtfluten gefährdet und müssen durch Dammbauten geschützt werden. In den dabei entstehenden langen Bodenaufschlüssen ist immer wieder die würmzeitlich-holozäne Sediment-Folge mit ihrem stetigen Übergang von Kiesen, die calcretisiert sein können, zu immer schluffigeren Sedimenten zu erkennen, deren heutiger Boden ein Yermosol ist. Die im nördlichen Fezzan bei Sebha gelegene Pedimentlandschaft zeigt eine starke paläoklimatisch bedingte fluviale Formung.

Vor den Escarpments der Beckenränder, z.B. der Schichtstufe von Ubari in der nördlichen Umrandung des Mursuk-Beckens wird das Vorzeit-Relief mit seinen Pedimenten, Spülflächen und Flachbecken, heute in großem Umfang von Sand- und Schluffeinwehungen überprägt, die aber immer wieder gelegentlich fluvial umgelagert werden.

Das abfließende Wasser sammelt sich in Pfannen, in denen es eindunstet oder versickert. Es bildet bei stauendem Untergrund einen oberflächennahen Grundwasserkörper. Es kann dadurch im Vorland der Stufen zu Gipsausblühungen in Oberflächennähe oder zur Bildung von Solontschaks kommen, z.B. mit säuliger Absonderung unter einem ver-

dichteten Oberboden.

Bei den mitunter sehr mächtigen Solontschak-Horizonten aber, z.B. im Bereich der Edeien Ubari, bleibt fraglich, ob sie als eine Jetztzeitbildung interpretiert werden können.

Als rezente Bodenbildung der Erg sind schließlich noch die YERMOSOLS der Dünen mit ihren Kalkvermittlungshäuten zu erwähnen.

EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF VEGETATIVE COVERS AND
CULTIVATION ON THE SOIL CHARACTERISTICS OF THE PODZOLIC
SOILS OF EASTERN BLACKSEA REGION

von I. AKALAN *)

INTRODUCTION

The soils are formed by the effect of climate, biosphere, time and topography on a definite parent material. A material obtained from grinding any rock, to the size of soil particles, can not be called soil and this material can not show any of the soil properties, especially from the view point of plant growth.

As it can not be possible to perform all the processes that soils undergone very slowly in their formation and development for thousands of years, their protection has become a national responsibility. This responsibility, especially in sloping forest areas, where erosion speeds up at once, by destroying natural balance, earns vital importance. In areas, where natural vegetative cover changes or destroyed by human beings, if necessary measures are not taken, though large uneconomical expenditure is incurred, the erosion starts and soil properties are subjected to negative changes. The purpose of this study is to determine the expected changes in the soil properties, during a short period of fifty years, by comparing the properties of soils under spruce forest which has grown naturally on young soils, developed on similar parent material, under same conditions; with the soils under beech forest which came into existence by degeneration of spruce forest; with the properties of soils under pasture which was the result of deforestation of beech forest and with the properties of soils of maize fields which were converted into fields by the cultivation of pasture.

MATERIAL and METHODS

The research work was carried out in the region having an altitude between 1230-1280 m. known as Ferganlı, at a distance of about 3 km South-East of Hamsi village of Trabzon, at a place on globe where 40°41' North latitude and 39°30' East longitude intersect. In this site there is a spruce forest which has similar parent material, soil, slope and exposure. The experiment was conducted in soils under spruce forest; under beech forest which took the place of spruce forest; under pasture which was the result of deforestation of spruce and beech forests about 50 years ago and the soils under maize fields which were converted into fields from the pasture.

In soil samples collected from 20 profiles, opened in the areas under four different vegetations.

Mechanical analysis (Bouyoucos, 1951), CaCO₃ (Gülçur, 1974), organic matter Walkley-Black (Jackson, 1960), reaction (Scheffer-Schachtschabel, 1970), porosity (Akalın, 1968), hydraulic conductivity (Richards, 1954), saturation percentage (Sönmez-Ayyıldız, 1964), electrical conductivity (Richards, 1954), water soluble ions (Richards, 1954), cation exchange capacity (Richards, 1954), aggregate stability (Kohnke, 1962-Yoder, 1936) has been done.

RESULTS and DISCUSSION

Effects of four different types of use on organic matter, porosity, hydraulic conductivity, saturation percentage, cation exchange capacity, base saturation, aggregation index values of soil were determined and compared.

*) Taprak İlmî Kürsüsü, Ziraat Fakültesi, Diskapi, ANKARA

Organic Matter

The quantities of organic matter which affects chemical and physical properties of soils positively, to a great extent, have been shown in Table 1 and Fig. 1. Table: 1. The quantities of organic matter (%) in the soils, under four different uses.

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Sub-surface S.	Sub. S.	
Maize	4.362	3.924	1.555	3.280
Pasture	6.839	3.841	2.339	4.340
Beech Forest	9.977	3.336	1.802	5.038
Spruce Forest	13.618	5.773	2.924	7.440

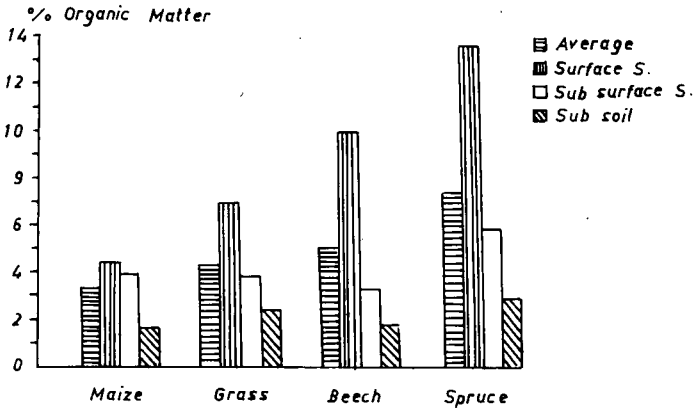


Fig. 1. The quantities of organic matter in the soils.

The reasons of lowest organic matter content in maize field can be the decrease of the quantity of organic matter returning to soil, due to cultivation of land and harvesting of crops, enhancement in microbial activity and chemical oxidation because of increasing the aeration of soil.

The comparatively higher organic matter level in pasture land is due to non-cultivation of this land, presence of proportionately more dense vegetative materials on the surface and within the soil than the maize field. The main reason of lower organic matter contents in pasture land soil than forest soil could be due to loss of part of pasture grass by grazing and cutting off and decomposition of remainder more easily than those of forest litters.

The decrease in organic matter by cultivation had a negative effect on cation exchange capacity, saturation percentage, hydraulic conductivity, available water capacity and percentage of water resistant aggregates of soil. The decrease in aggregate stability especially stimulate erosion which opens way for mass transportation of soil.

Porosity

The arrangement of pore-spaces which controls water and air movements in soils, presents a very complicated view. The soils which have total porosity at the ratio of 50 % and macro and micro pores almost equal to each other are ideal for plant growth. The total porosity values obtained from four treatments of the experiment have been shown in Table 2 and Fig. 2.

Table: 2. The porosity values of the soils

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Subsurface S.	Sub S.	
Maize	41.66	41.18	34.88	39.21
Pasture	61.76	55.50	51.87	56.38
Beech forest	60.01	58.47	49.11	55.86
Spruce forest	62.46	57.60	57.50	59.19

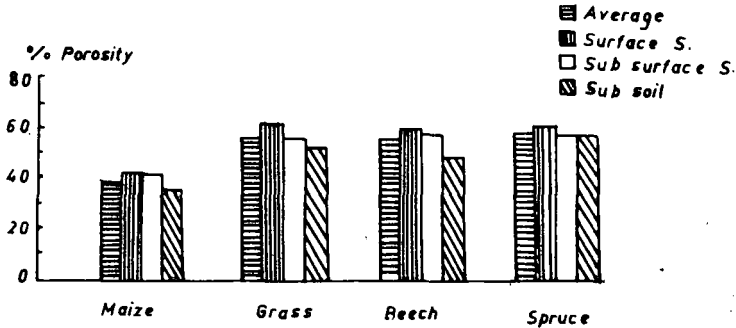


Fig. 2. The porosity values of the soils.

The average porosity value of the cultivated maize field, after removal of natural vegetative cover, has been found to be reduced to a very low level such as 39,21 %.

The results obtained from soils which were under permanent vegetation show to have attained such high values as 55.8 % (beech forest) and 59.19 % (spruce forest).

The porosity values show a decrease with the depth. As a result of this decrease, the pore volume in lower layers of maize field reached to a very low value of 34.80 %, whereas, in the lower layers of soils, under permanent vegetation, remained to a suitable level, because of the root effect.

Hydraulic conductivity

Hydraulic conductivity which is a measure of water conduction capacity of soils, is under direct or indirect effects of soil structure, texture, porosity and organic matter content. In soils having low hydraulic conductivities, the plants suffer because of excess or lack of water storage.

The hydraulic conductivity values of experimental soils have been shown in Table 3 and Fig. 3.

Table: 3. Hydraulic conductivity values of the soils (cm/hr.)

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Subsurface S.	Sub. S.	
Maize	3.14	5.61	4.52	4.42
Pasture	31.12	23.80	14.47	23.13
Beech forest	28.62	16.46	9.26	18.11
Spruce forest	18.33	11.16	9.75	13.08

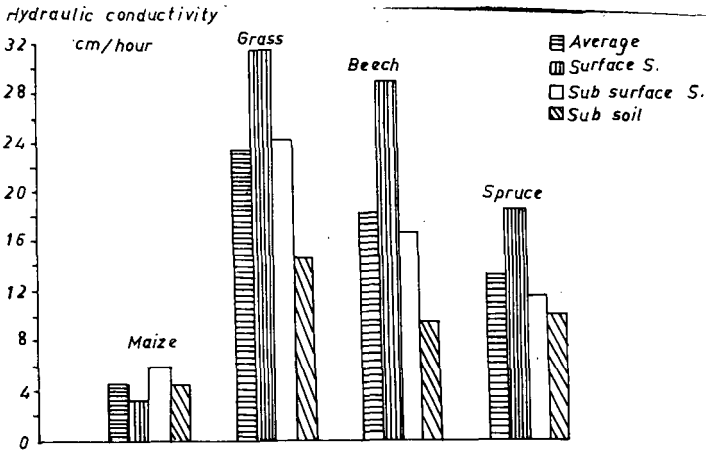


Fig. 3. Hydraulic conductivity of the soils.

The lowest average hydraulic conductivity value was measured in the maize field (4.42 cm/hr.). This was followed by spruce forest (13.08 cm/hr.), beech forest (18.11 cm/hr.) and pasture land (23.13 cm/hr) respectively.

The reasons of the lowest hydraulic conductivity value in the maize field can be explained by disturbing of natural balance, decreasing of organic matter, destroying of structure by mechanical break-down of peds and decreasing of porosity.

As the pasture plants have dense hairy roots, the increased hydraulic conductivity and they were more effective than the root systems of forest trees.

Water content

The water which is essential for soil development and plant growth, is partly held on the surfaces of particles and partly stored in small soil pores.

The water, termed as free water fills up soil pores and is subjected to leaching, capillarity, diffusion and movement by evaporation.

The quantities of water at field capacity and wilting point which give values for available water contents have been shown in Table 4 and Fig. 4.

Table: 4. The field capacity, wilting point and available water percentages of the soils (Pw)

Treatments	Types of water %	Profile layers			Average of layers
		Surface S.	Subsurface S.	Sub S.	
Maize	Field capacity	23.24	21.90	21.75	22.30
	Wilting point	14.53	12.52	12.44	13.16
	Available water	8.71	9.38	9.36	9.14
Pasture	Field capacity	33.91	25.80	21.78	27.16
	Wilting point	24.07	14.10	13.13	17.10
	Available water	9.84	11.70	8.65	10.06
Beech forest	Field capacity	36.60	24.32	21.24	27.39
	Wilting point	24.86	14.44	11.90	17.07
	Available water	11.74	9.88	9.34	10.32
Spruce forest	Field capacity	42.63	29.05	26.24	32.64
	Wilting point	31.24	17.06	15.50	21.27
	Available water	11.39	11.99	10.74	11.37

The lowest field capacity and wilting point values were determined in maize field soils. In other soils which were under permanent vegetative cover, these values were very close to each other and at a level much higher than those of maize field soils.

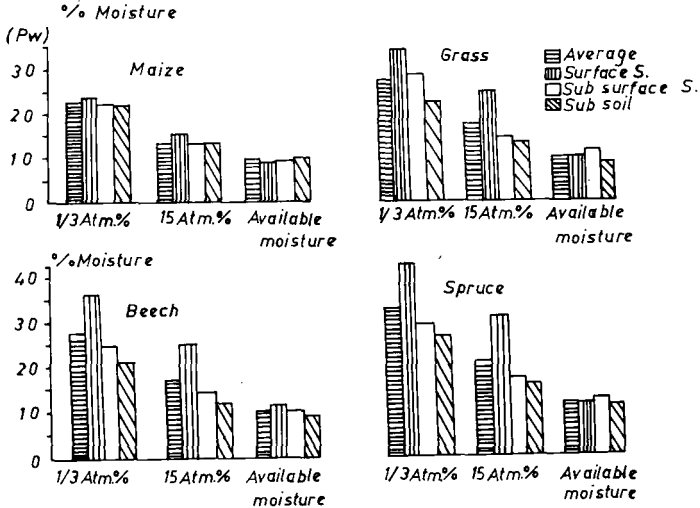


Fig. 4. The field capacity, wilting point and available water capacities of experimental soils (percent by weight).

In soils, under permanent vegetative cover, inspite of more adsorbed water, the quantities of available water were lower than the expected values, because of retaining of major portion of water by adsorptive forces very tightly.

The cultivation of land did not cause significant decrease in the quantity of available water in the maize field.

Saturation percentage

Saturation percentage which is related to soil texture and the quantity of organic matter and consequently to colloidal matter contents, is a property which is mainly used in estimating texture of soil. It is also considered in calculating the quantity of salts from the electrical conductivity in the saline soils.

The average saturation percentage values of experimental soils have been shown in Table 5 and Fig. 5.

Table: 5. The average saturation percentage values of the soils.

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Subsurface S.	Sub S.	
Maize	37	34	31	34
Pasture	54	46	36	45
Beech forest	66	38	31	45
Spruce forest	78	45	37	53

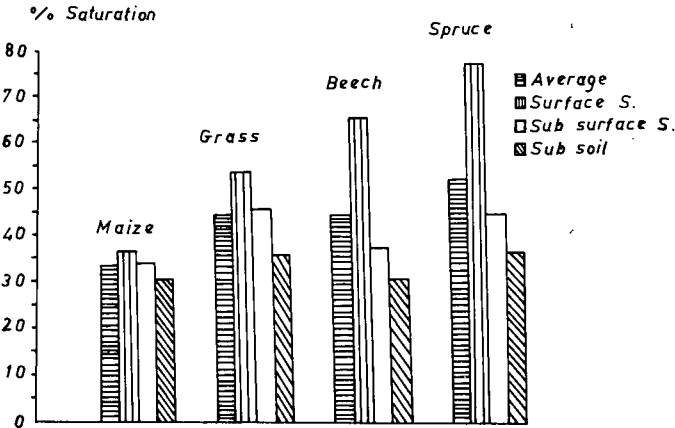


Fig. 5. The average saturation percentage values of the soils.

The lowest saturation percentage value (34 %) was measured in the maize field soil. In spite of the clay percentages close to each other in the soils, contrary to the maize field, the saturation percentage values were found to be related to the organic matter percentages. A positive correlation, significant at 1 % level ($r=0.914^{++}$), expressed by the equation $Y=23.776+4.060X$ was obtained between the organic matter contents and the saturation percentages.

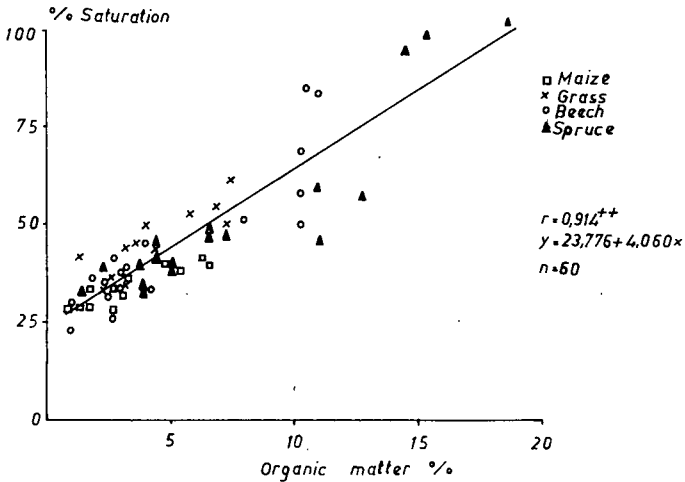


Fig. 6. The relationship between organic matter and saturation percentage.

The saturation percentage values showed decrease from upper layers to lower layers, in all the investigated soils. This can also be explained by the decrease in organic matter level.

Cation exchange capacity

As the plants are benefited to a significant extent from the plant food elements held in exchangeable form in the electrical field of the surfaces of clay and organic colloids in the soil, the importance of cation exchange phenomenon, from the plant nutrition point of view, is great.

The average cation exchange capacities of the soils have been shown in Table 6 and Fig. 7.

Table: 6. The average cation exchange capacities of the soils (me/100 gr)

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Subsurface S.	Sub S.	
Maize	31.50	31.40	30.52	31.14
Pasture	33.60	30.86	28.11	30.90
Beech forest	38.99	33.07	28.86	34.00
Spruce forest	40.52	34.21	30.59	35.11

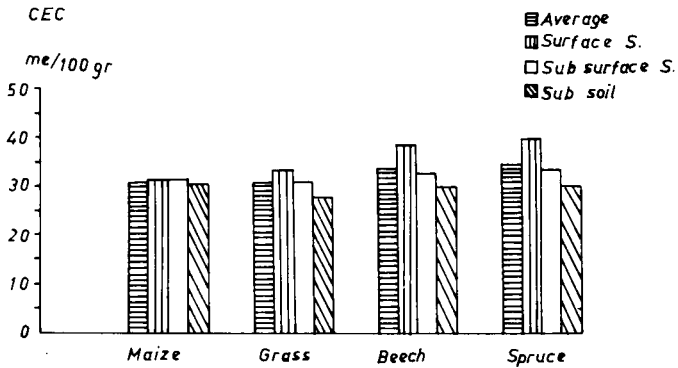


Fig. 7. The average cation exchange capacity values of the soils (me/100 gr).

The cation exchange capacity values varied between 28.11-40.52 me/100 gr levels and showed a slight increase from the values of maize field to those of spruce forest soils.

As there was no significant difference in the clay contents of the soils, the quantities of organic colloids have played an important role in the increase of cation exchange capacities.

A positive correlation, significant at 1 % level ($r=0.867^{++}$) expressed with $Y=28.318+0.918X$ equation was found between organic matter contents and cation exchange capacity.

Base saturation percentage

Base saturation percentage which is important regarding soil pH and plant nutrition, decreases as the climate becomes more humid.

The base saturation percentage values of the experimental soils have been shown in Table 7 and Fig. 8.

Table: 7. The average base saturation percentages of the soils

Treatments	Profile layers			Average of layers
	Surface S.	Subsurfache S.	Sub. S	
Maize	81	76	79	79
Pasture	73	72	75	75
Beech forest	53	46	52	52
Spruce forest	54	35	41	41

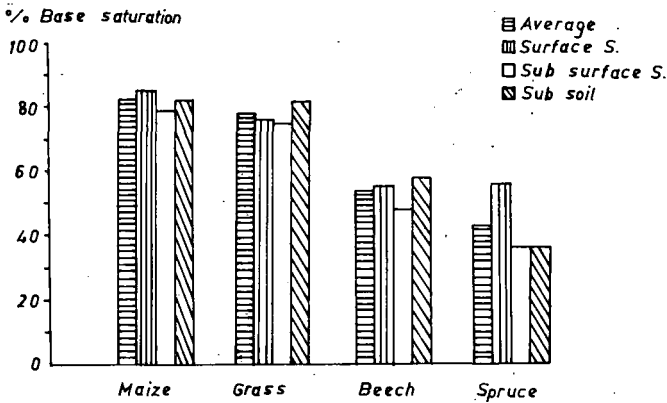


Fig. 8. The average base saturation values of the soils.

The base saturation percentage values showed a decrease from the values of maize field to those of spruce forest.

The local plant cover increases the organic matter of the soil. On decomposition of this organic matter, the resultant CO_2 increases the quantity of H^+ ions. It stimulates the reaction equilibrium and increases the amount of hydrogen ions on the colloidal particles and thus base saturation percentage decreases.

A relationship significant at 1% level ($r=0.795^{++}$) and expressed by $Y=-54.63+19.37X$ equation was found between pH and base saturation percentage values.

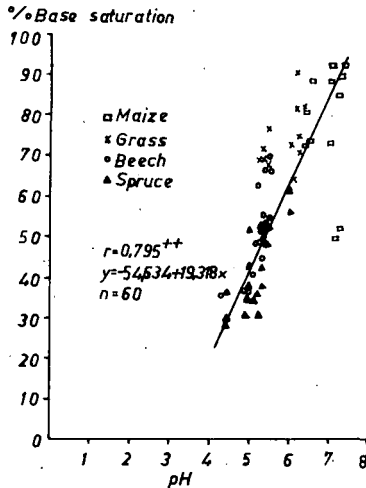


Fig. 9. The relationship between pH and base saturation percentage

Aggregation index

The resistance of soil aggregates against water, which affects different physical properties of soils and soil erosion, showed a distinct increase from the values of maize field to those of spruce forest soils (Table 8, Fig 10.).

Table: 8. The aggregation index values of surface layers of the soils.

Treatments	Numbers of profile						The average of profiles
	1	2	3	4	5	6	
Maize field	2.14	1.54	2.42	2.34	-	-	2.11
Pasture	2.09	1.82	2.71	2.90	-	-	2.38
Beech forest	3.14	2.32	3.35	3.87	4.29	4.37	3.56
Spruce forest	3.84	3.81	4.43	2.73	3.33	3.63	3.64

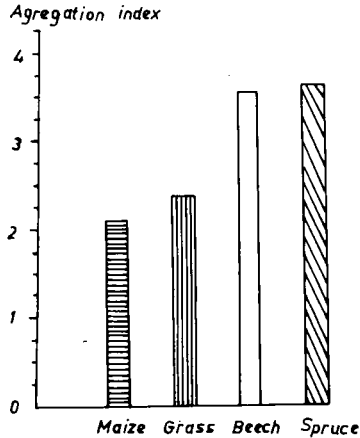


Fig. 10. The aggregation index values of the surface layers of the soils.

A positive correlation, significant at 1 % level and expressed with $Y=1.39+0.24X$ equation was determined between organic matter contents and aggregation index values.

The relationship existing between various properties all the experimental soils were determined (Table 9).

Table. 9: The relationships between various physical and chemical soil properties

Nr.	Relationships	Regration equation	Correlation coefficient
1	Organic matter %-CEC (me/100 gr)	$Y=28.319+0.918X$	$r=0.867^{++}$
2	" " -Saturation %	$Y=23.776+4.060X$	$r=0.914^{++}$
3	" " -1/3 Atm % water	$Y=17.806+1.942X$	$r=0.796^{++}$
4	" " -Hydraulic Cond. (cm/hr.)	$Y= 7.904+1.323X$	$r=0.419^{++}$
5	" " -aggregation index	$Y= 1.395+0.240X$	$r=0.647^{++}$
6	Hydraulic cond.-Clay %	$Y=15.237-1.082X$	$r=-0.485^{++}$
7	1/3 Atm % - Saturation %	$Y=-1.989+1.687X$	$r=0.926^{++}$
8	1/3 Atm % - 15 Atm %	$Y=-5.811+0.837X$	$r=0.985^{++}$
9	Exchangeable K^+ -Water soluble K^+	$Y=-0.014+0.281X$	$r=0.818^{++}$
10	Exchangeable Ca^{++} -Water soluble Ca^{++}	$Y=-0.768+0.240X$	$r=0.649^{++}$
11	pH-Base saturation %.	$Y=-54.634-19.318X$	$r=0.795^{++}$

REFERENCES

- Akalan, I. 1968. Toprak (olusu, yapisi ve özellikleri) A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayin No. 356-Ankara.
- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils-Agronomy Journal 43.9.
- Gülçür, F. 1974. Topragin fiziksel ve kimyasal analiz metodlari. I.Ü. Orman Fakültesi Yayinlari No. 1970. O.F. yayin No. 201-Kutulmus Matbaasi, Istanbul.
- Jackson, M.L. 1960. Soil Chemical analysis-Prentice Hall Inc. Engwood. Cliffs, N.J.
- Kohnke, H. 1962. Soil Physics Laboratory Manuel-Purdue University-U.S.A.
- Richards, L.A. 1954.Diagnosis and improvement saline and alkali soils. Handbook No. 60, USDA, Riverside-Calif. U.S.A.
- Scheffer, F. Schachtschabel, P. 1970. Lehrbuch der Bodenkunde. Verlag Paul Parey-Hamburg und Berlin.

Kanadische Verfahren der Standortkartierung und
ihre bodenkundlichen Aspekte im Vergleich mit
südwestdeutschen Methoden.

von

Müller, S.⁺

Als Mitarbeiter südwestdeutscher angewandter Standortkartierungen lernte der Verfasser 1978 das von HILLS und Mitarbeitern in Ontario/Kanada seit über 30 Jahren entwickelte System der forstlichen Standortsgliederung und -kartierung aus eigener Anschauung kennen. Die dortigen Darstellungsmaßstäbe sind sehr klein: 1:250 000, 1:125 000 und 1:50 000 (vgl. BURGER 1972).

Die Grundkonzeption des Ontario-Verfahrens hat sich als eine kombinierte Standortkartierung in erstaunlicher Parallelität zu den in Südwestdeutschland praktizierten Methoden entwickelt, obwohl in den Anfängen keinerlei gegenseitige Kontakte bestanden haben.

Die beiden südwestdeutschen Verfahren sind:

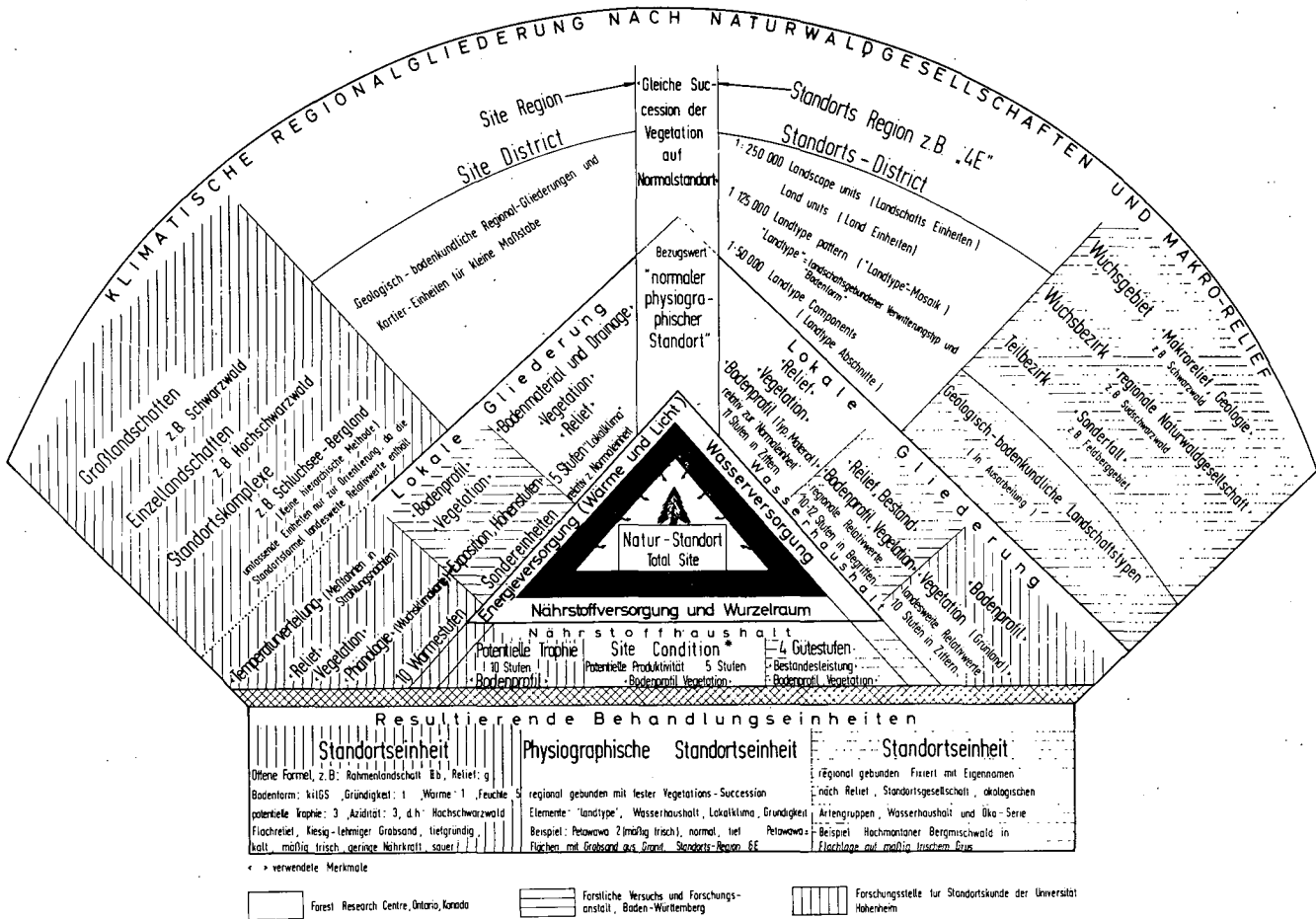
a) die landbauökologische Standortkartierung.

Sie wurde anfänglich entwickelt von H. ELLENBERG, dann von SCHREIBER, WELLER und Mitarbeitern fortgeführt. Die Kartierung wird meist in großen Maßstäben, vorwiegend 1:5 000, durchgeführt, neuerdings sind auch Maßstäbe von 1:25 000 und 1:50 000 aufgekommen (vgl. MÜLLER, S., SCHREIBER, F.K., und WELLER, F., 1972).

b) Das Verfahren der forstlichen Standortkartierung in Baden-Württemberg (vgl. Arbeitskreis Standortkartierung 1978).

In der Mitte aller Ansätze steht der individuelle Pflanzenstandort. Aus seinem vielfältigen Beziehungsgefüge wählen alle drei Kartiermethoden 3 Komplexe von Grundfaktoren aus, die sie dann aber in verschiedener Weise pauschaliert darstellen (vgl. Abb. 1):

⁺ Forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt, Abt. Botanik u. Standortskunde, Fasanengarten, 7000 Stuttgart 31



Forest Research Centre, Ontario, Kanada

Feldliche Versuchs und Forschungsanstalt, Baden-Württemberg

Forschungsstelle für Standortkunde der Universität Hohenheim

Abb. 1: Schematischer Vergleich der drei standortskundlichen Kartiermethoden (Entwurf: S. Müller 1979)

1. Energieversorgung (Wärme und Licht)

Merkmale: Regionalklima, insbesondere Temperaturdaten, Vegetation (Phänologie) und Relief.

2. Wasserversorgung

Merkmale: Vegetation, Bodenprofil, Relief, Niederschlagsdaten.

3. Nährstoffversorgung und Wurzelraum

Merkmale: Bodenprofil, Vegetation, Relief und Bestand

Diese Faktoren werden über die oben erwähnten, etwa nach ihrem Gewicht angeordneten Merkmale und Meßdaten erfaßt. Aus einer Kombination der verschiedenen Merkmale gehen die Standortseinheiten hervor. Diese sind bei allen Verfahren Komplexe aus Naturstandorten, die für Zwecke des Land- und Waldbaues gleichartig behandelt werden können.

Bei der Ausscheidung von Standortseinheiten steht der Boden oft im Zentrum der Betrachtung. Bei allen drei Methoden wird bei einer einzelnen Standortsbeschreibung der Boden als Bodenform beschrieben und daneben auch der genetische Bodentyp nach der regional gültigen Systematik erwähnt.

In der Kartiereinheit erscheinen aber nur die für den jeweils vorliegenden Zweck ausgewählten, oft auch aus technischen Gründen gerade noch erfaßbaren Aspekte des Bodens. Bei der in jedem Verfahren etwas anders angesetzten Gewichtung der einzelnen Faktoren sind diese Aspekte aber im einzelnen verschieden.

In den sehr kleinmaßstäblichen Karten des Ontario-Verfahrens, deren Einheiten meist nach dem Luftbild abgegrenzt sind, geht der Boden in den Komplex der "landtype" ein. Man versteht darunter einen gesteins- und landschaftsgebundenen "Verwitterungstyp", d.h. das geologische Substrat im Wurzelraum wird dargestellt, unterteilt in Materialklassen. Bei Hartgesteinen wird z.B. die Verwitterungsanfälligkeit und die Petrographie klassifiziert. Diese Substratansprache ist kombiniert mit einer Angabe des dazugehörigen Reliefs. In kleineren Maßstäben wird auch die Variationsbreite des Boden-Wasserhaushalts und der Gründigkeit genannt, so daß der Benutzer die einzelnen Geländeabschnitte in eine Bodenkatena einordnen kann.

Die zusammenfassende Einheit einer solchen "landtype" bildet also das geologische Substrat im Bereiche des Wurzelraums. In der Weite des meist schlecht erschlossenen kanadischen Raums bleibt der Kartierung oft nichts anderes übrig, als solche im Luftbild und nach vorhandenen geologischen Unterlagen gerade noch identifizierbaren Flächen auszuscheiden. Dabei besteht eine große Analogie zur Bodenform der Bodensystematik von E. MÜCKENHAUSEN (1977, S. 46). In groben Zügen entspricht die "landtype" ungefähr den geologisch-ökologischen Landschaftstypen des Verfassers (vgl. MÜLLER, S., 1975), die bei uns zur Übersichtsdarstellung der Standortsverhältnisse dienen sollen. Bei der Einzelsprache des Standorts werden in Ontario die Parameter für den Wasserhaushalt (11 Stufen) und den Nährstoffhaushalt (5 Stufen) im wesentlichen nach dem Bodenprofil eingestuft.

In der landbauökologischen Standortskartierung Südwest-Deutschlands erscheint die Bodenform mit den Begriffen der Bodenschätzung in der Standortsformel. Wo die Aussage der Vegetation unsicher ist, dient das Bodenprofil zur Ermittlung der Wasserhaushaltsstufe.

Wesentlich ist bei diesem Verfahren die "potentielle Trophie" oder "Nährkraft", - ein typischer Merkmalskomplex aus Gründigkeit, Humusführung und Humusqualität, der als Speicher- und Transformationsvermögen des Bodens für Wasser und Nährstoffe in 10 Stufen eingeschätzt wird. Dieser Aspekt eines potentiellen Grundumsatzes der Vegetation mit Hilfe des Bodens verdient die Aufmerksamkeit der angewandten Bodenkunde.

Bei der Forstlichen Standortskartierung von Baden-Württemberg wird der Boden als Bodenform in sog. "Öko-Serien" erfaßt, das sind in Wasserhaushaltsreihen angeordnete Substratgruppen, die sich im Hinblick auf Bodenartenfolge und -struktur so nahestehen, daß sie als Wurzelraum der Waldböden zusammengefaßt werden können. Zu beachten ist, daß bei derselben Bodenform aus waldbaulichen Gründen jeweils eine vernässende und eine nicht vernässende Öko-Serie scharf unterschieden wird.

Alle Merkmale der "lokalen Gliederung" sind bei den beiden forstlichen Standortskartierungen fest integriert in die übergeordneten "regionalen Gliederungen". Es handelt sich also um zweistufige, kombinierte Verfahren. Dabei spielt in Ontario im schwer abzugrenzenden Kontinuum des Kanadischen Schildes die

sog. "Normaleinheit" die entscheidende Rolle.

Um in diesem Continuum einen möglichst von kleinklimatischen und edaphischen Zufällen unabhängigen Bezugswert sowohl für die regionale Differenzierung der Standorts-Regionen als auch für die Standortsgliederung innerhalb der Standorts-Regionen zu erhalten, hat HILLS (Zitat aus BURGER, 1972) den "mittleren Standort" als physiographische Einheit folgendermaßen definiert: Der Bezugspunkt wird in leicht welliger Geländelage angenommen, der Wurzelraum liegt in gut entwässertem Lehmboden, sein Wasserhaushalt ist (nach KRAUSS) etwa "vorratsfrisch". Es gibt keine erkennbaren Mängel oder Überschüsse an Nährstoffen. Der gedachte Bezugspunkt ist weder besonders exponiert noch besonders geschützt und liegt in keiner Frostmulde."

Diese mittlere "physiographische Einheit" ist also vorrangig durch Boden- und Reliefmerkmale definiert. Sie ist der feste Bezugsrahmen der Standortsbeurteilung, im Vergleich zu dem die Vegetation sehr wandelbar sein kann.

In der auf landesweite phänologische Beobachtungen und für Mitteleuropa gültige Wasserhaushalts-Aspekte des Grünlands aufbauenden landbau-ökologischen Kartierung gelten weiträumige Relativwerte. Der klimatische Rahmen ist für jede Fläche in der Wuchsklimakarte von Baden-Württemberg (H. ELLENBERG 1955) festgelegt. Deshalb dient hier z.B. die südwestdeutsche, regionale Gliederung lediglich der allgemeinen Orientierung.

Die länderweise verschiedenen historischen und räumlichen Gegebenheiten führten zu logischen Anpassungen an diese örtlichen Voraussetzungen. Das gilt in besonderem Maße für das erst eine Ordnung ermöglichende "zentrale Prinzip" der Standortsgliederung im Kontinuum des "Kanadischen Schildes", dem der viel einfachere Regionalvergleich in unserem von Natur übersichtlicher gegliederten Südwestdeutschen Schichtstufenland entgegensteht.

Literatur:

Arbeitskreis Standortskartierung (1978): Forstliche Standortsaufnahme-Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. - 3. Auflage, 183 S., Landwirtschaftsverlag Münster-Hültrup

- Burger, D. (1972): Forstliche Standortsklassifizierung in Kanada.-
Mittlg. Verein, Heft 21, S. 5-36, Stuttgart
- Ellenberg, H. (1955): Wuchsklimakarte 1:200 000 von Baden-Württemberg, erarbeitet auf Grund phänologischer Geländeaufnahmen. - Reise- und Verkehrsverlag, Stuttgart
- Müller, S., Schreiber, K.F., u. Weller, F. (1972): Grundzüge einer Schnellmethode der Standortskartierung im Maßstab 1:50 000 als Grundlage für die Agrar- und Landschaftsplanung in Baden-Wttbg. - Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft, 16, S. 106-119, Göttingen
- (1975): Geologisch-ökologische Landschaftstypisierung für die Standortskartierung in Baden-Wttbg. - Daten und Dokumente zum Umweltschutz der Universität Hohenheim, H. 14, S. 113-128, Stuttgart
- Schlenker, G. (1964): Entwicklung des in Südwestdeutschland angewandten Verfahrens der Forstlichen Standortskunde in "Standort, Wald und Waldwirtschaft in Oberschwaben". S. 5-26, Stuttgart, Bezug durch Verein f. Forstl. Standortskunde etc., Stgt.-Weilimdorf, Fasanengarten

Beziehungen zwischen Ertrag und
Bodenbewertung durch die Boden-
schätzung

von

Wittmann, O. +

Auf Anregung des Bayerischen Geologischen Landesamtes wurden im Jahr 1975 von den Ämtern für Landwirtschaft an 3780 über ganz Bayern verteilten Einzelflächen Erhebungen über die Erträge der wichtigsten Feldfrüchte und des Grünlandes durchgeführt. Dieses Zahlenmaterial, das teilweise aus exakten Messungen stammt, zum größeren Teil jedoch auf den jahrelangen Ertragsfeststellungen der Grundstücksbesitzer basiert, wurde vom Geologischen Landesamt durch Angaben über Geologie, Boden und Klima ergänzt und in Beziehung zur Bodenschätzung statistisch ausgewertet. Unter anderem sollten damit für die Agrarleitplanung des Bayer. Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Anhaltspunkte für die Ableitung von Ertragsklassen aus den Bodenschätzungskarten geliefert werden.

Die Ergebnisse, die in den folgenden Diagrammen in Form von Mittelwerten aufgezeigt sind, stellen nur eine kleine Auswahl aus dem umfangreichen Material dar. Sie geben trotz der oft erheblichen Streuung der Einzelwerte in Verbindung mit den Bodenschätzungskarten einen guten Überblick über das durchschnittliche Ertragspotential der landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns unter durchschnittlichen Bewirtschaftungsbedingungen. Dabei repräsentiert in den verschiedenen Landschaften ein bestimmter Bodenwert, wie er in der Ackerzahl oder in der Grünlandendzahl zum Ausdruck kommt,

+ Bayerisches Geologisches Landesamt, Prinzregentenstr. 28,
8000 München 22

für die einzelne Fruchtart unterschiedlich hohe Erträge. Auch sind die Ertragsrelationen zwischen den einzelnen Fruchtarten von Bodenlandschaft zu Bodenlandschaft verschieden. Verursacht wird dies durch Boden- insbesondere aber durch Klimaunterschiede. Boden- und klimaabhängig sind jedoch auch die Betriebssysteme und die Fruchtfolgen der einzelnen Gebiete. Einer realen Bodenbewertung können deshalb nur die Erträge der in den landschaftstypischen Fruchtfolgen und Betriebssystemen möglichen und tatsächlich vorkommenden Feldfrüchte und Kulturarten unter Berücksichtigung ihrer Flächenanteile zugrunde gelegt werden. Die von den Ergebnissen sich aufdrängende Frage, wieweit die Bewertung der Böden durch die Bodenschätzung richtig ist, wird somit zunächst auf die betriebswirtschaftliche Seite verlagert.

Anmerkungen zu den Diagrammen:

Bei den Bodenwertzahlen handelt es sich ausschließlich um Endzahlen (Ackerzahl, Grünlandendzahl).

Die Zahlen an den Kurven kennzeichnen das geologische Ausgangsmaterial:

- | | |
|--|--|
| 7 Talsedimente Klima 1-5 | 19 Malm- und Albüberdeckung |
| 8 Talsedimente Klima 6-9 | 20 Sandböden } Dogger, Lias, Rät, |
| 9 Moor- und Anmoor | 21 Lehm Böden } Feuerletten, Sand- |
| 10 Seeabsätze und Alm | 22 Tonböden } steinkeuper |
| 11 Terrassen-, Flug- und Deck-
sande | 23 Lehm- und Sandböden } Gips- und |
| 12 Löß, Lößlehm, Decklehm | 24 Tonböden } Lettenkeuper |
| 13 Jung- und postglaziale
Schotter | 25 Muschelkalk (u. Zechsteindolomit) |
| 14 Hochterrassen- und
Deckenschotter | 26 Sandböden |
| 15 Jung- und Altmoräne | 27 Lehm- u. Tonböden } Buntsandstein |
| 16 Sandböden | 28 Paläozoische Schiefer,
Phyllite etc. |
| 17 Lehm- u. Tonböden } Vorlandmolasse | 29 Sandböden } Granit, Gneis |
| 18 Faltenmolasse, Helvetikum,
Flysch
Kalkalpine Zone | 30 Lehm Böden } Glimmerschiefer etc. |

Klima (nach A. HOCK, Klimakarte von Bayern 1 : 2.5 Mill.; Beikarte zur Bodenkundl. Übersichtskarte von Bayern 1 : 500 000. - München 1955.)

- | | |
|-------------------------|---------------|
| 1 ausgesprochen trocken | 6 feucht |
| 2 trocken | 8 sehr feucht |
| 4 mäßig feucht | 9 überfeucht |

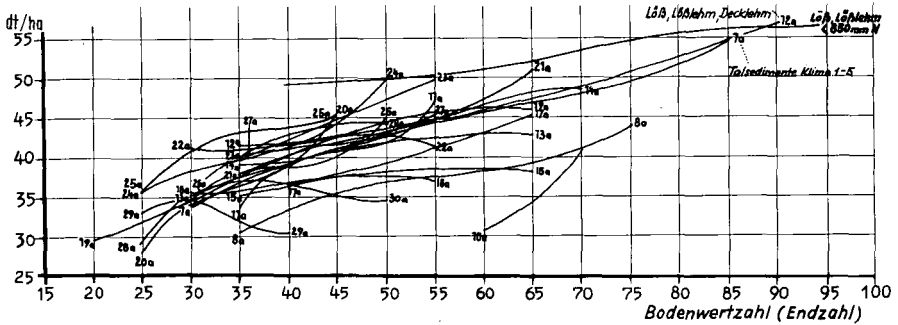


Abb. 1: Ertrag W-Weizen/Bodenwertzahl

Durchschnittlich: LÖB und LÖblehm (12), Talsedimente Klima 1-5 (7). Überdurchschnittlich: LÖB und LÖblehm bei Niederschlägen <650 mm sowie bei Böden aus Letten-, Gipskeuper (23, 24) und Muschelkalk (25) unter ähnlich günstigen klimatischen Verhältnissen. Unterdurchschnittlich: Talsedimente Klima 6-9 (8), Seeabsätze und Alm (10), Moränen (15), Kristallin (29, 30) - Substrate kühlfeuchter Bereiche

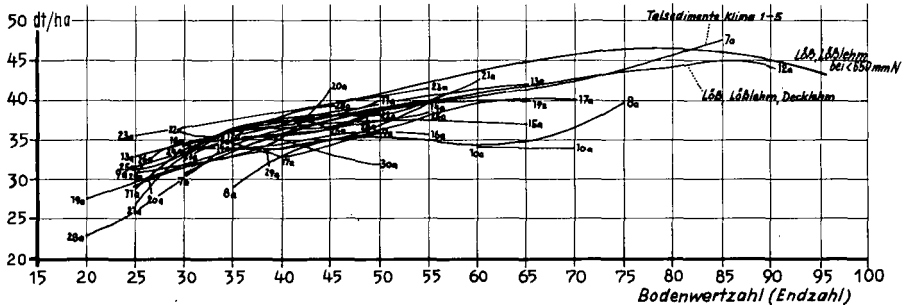


Abb. 2: Ertrag S-Gerste/Bodenwertzahl

Stärkere Bündelung der Ertragsmittelwerte als bei W-Weizen infolge besserer Anpassungsfähigkeit der S-Gerste. Überdurchschnittlich: LÖB und LÖblehm bei Niederschlägen <650 mm. Unterdurchschnittlich: Talsedimente Klima 6-9 (8), Seeabsätze und Alm (10) sowie paläozoische Schiefer (28) und Kristallin (30) - Substrate kühlfeuchter Bereiche

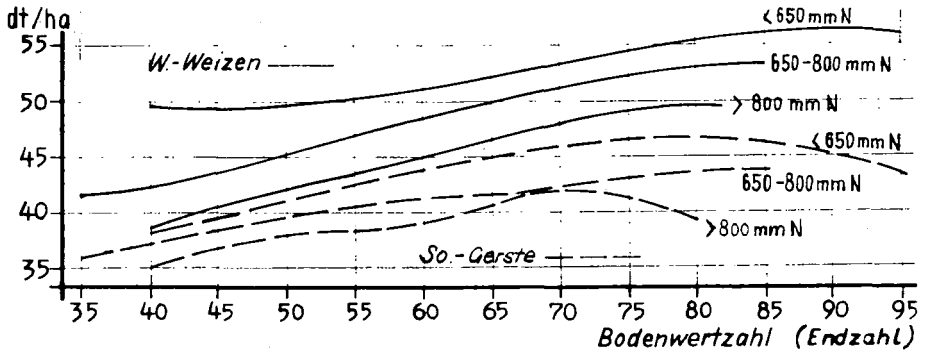


Abb. 3: Ertrag W-Weizen und S-Gerste/Bodenwertzahl bei Böden aus LÖß und Lößlehm und unterschiedlichen Niederschlagsmengen

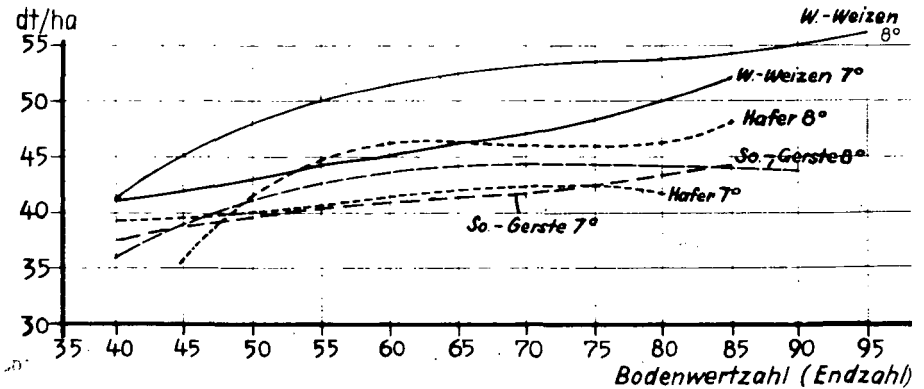


Abb. 4: Ertrag W-Weizen, S-Gerste und Hafer/Bodenwertzahl bei Böden aus LÖß und Lößlehm unter unterschiedlichen Temperaturverhältnissen

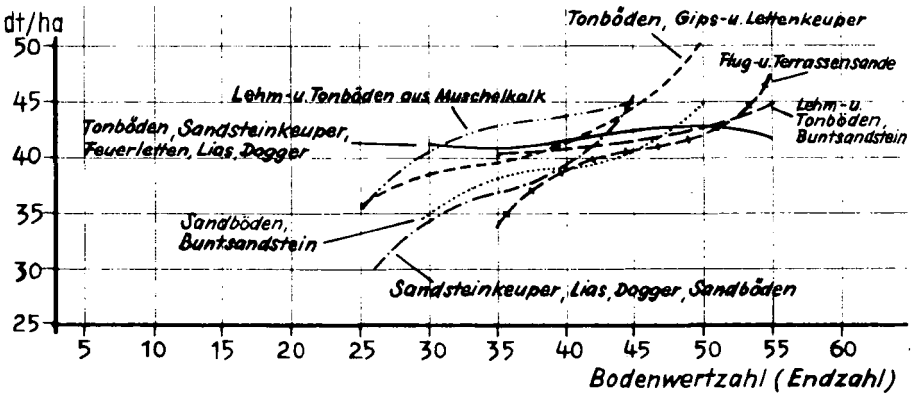


Abb. 5: Ertrag W-Weizen/Bodenwertzahl bei Sand- und Tonböden
Auf Tonböden höhere Erträge als auf Sandböden, besonders bei geringen Bodenwerten (= bindemittelarme, für den Weizenbau nicht geeignete Sande)

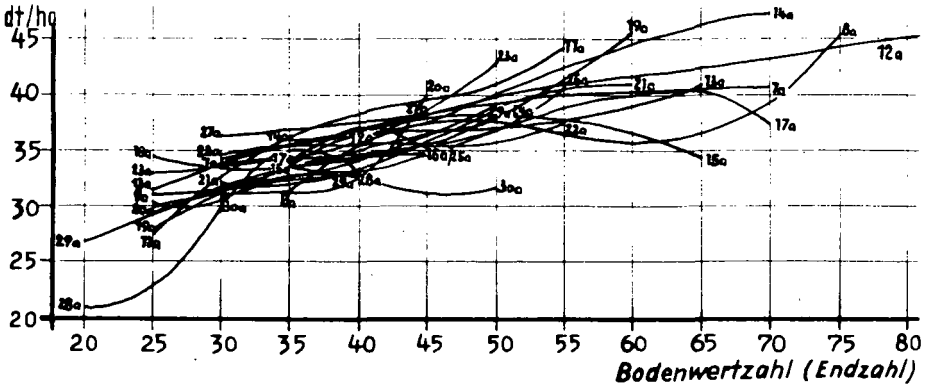


Abb. 6: Ertrag Hafer/Bodenwertzahl
Durchschnittlich: Löß und Lößlehm (12). Unterdurchschnittlich: Moränen (15), paläozoische Schiefer (28), Kristallin (30)- Substrate kühlfeuchter Bereiche

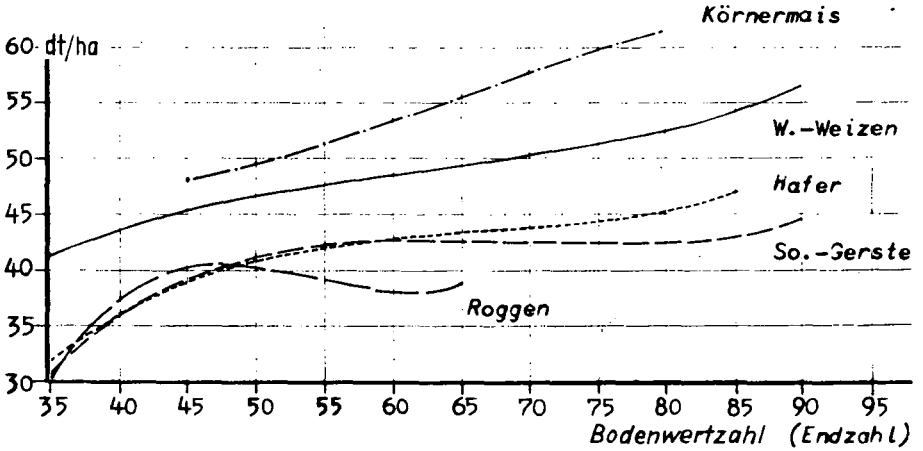


Abb. 7: Ertrag Körnerfrüchte/Bodenwertzahl bei Böden aus LÖß und Lößlehm im trockenen Klimabereich (1-3)

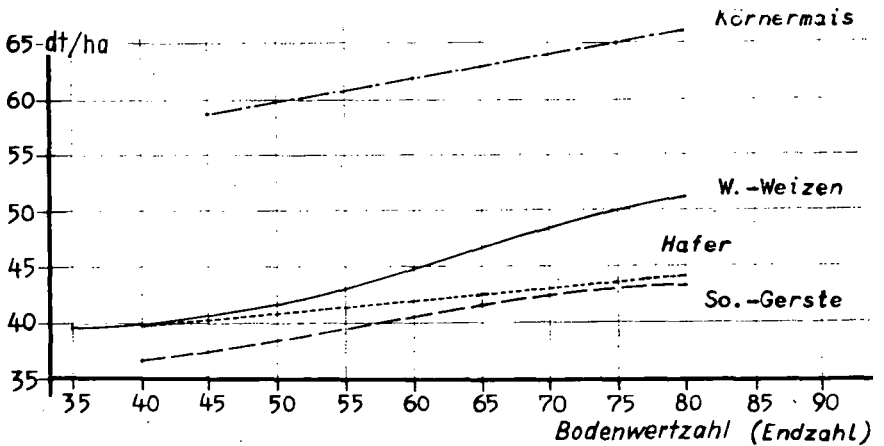


Abb. 8: Ertrag Körnerfrüchte/Bodenwertzahl bei Böden aus LÖß und Lößlehm im mäßig feuchten und feuchten Klimabereich (4-6)

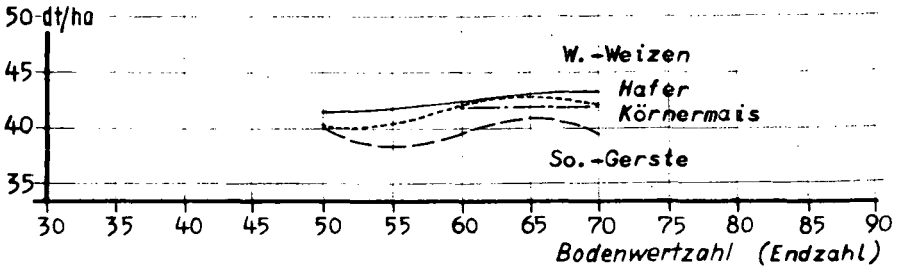


Abb. 9: Ertrag Körnerfrüchte/Bodenwertzahl bei Böden aus LÖß, LÖßlehm und Decklehm im sehr feuchten Klimabereich (7-9)

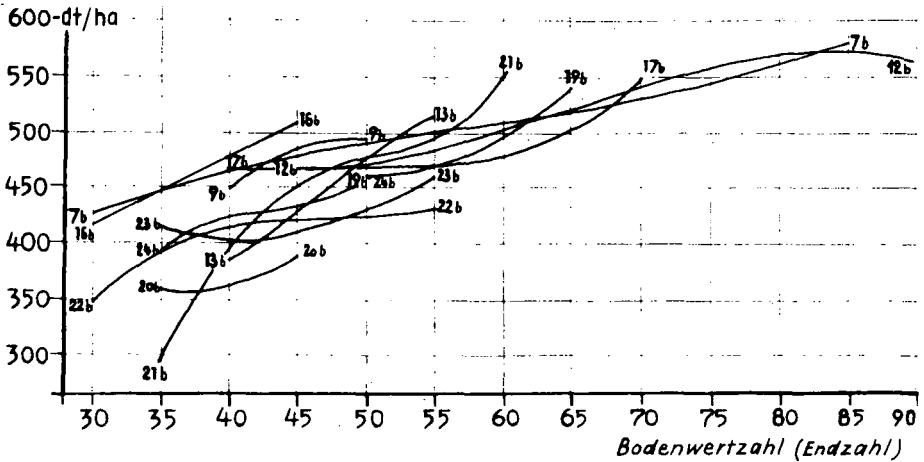


Abb. 10: Ertrag Zuckerrüben/Bodenwertzahl Durchschnittlich: LÖß und LÖßlehm (12), Talsedimente. Klima 1-5 (7). Unterdurchschnittlich: Sandsteinkeuper, Feuerletten, Rät, Lias, Dogger (20, 21, 22), Gips- und Lettenkeuper (23, 24) - Gebiete mit weniger geeigneten Böden

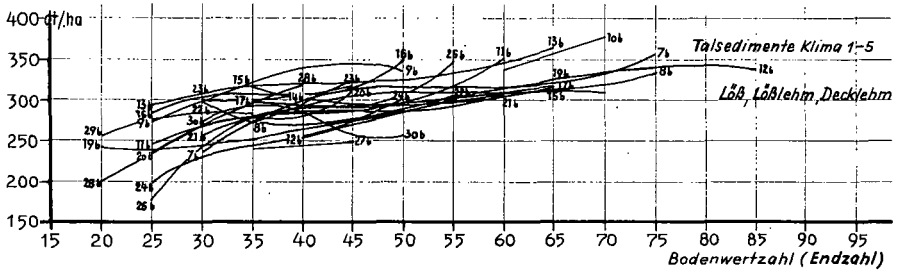


Abb. 11: Ertrag Kartoffeln/Bodenwertzahl
Überdurchschnittlich: Moor- und Anmoor (9), Seeabsätze, Alm (10), Terrassen- und Flugsande (11), jung- und postglaziale Schotter (13), "Kartoffelböden". Unterdurchschnittlich: Talsedimente (7, 8), Löss, Lösslehm, Decklehm (12), Malm und Albüberdeckung (19), Tonböden, Lettenkeuper (24), Buntsandstein (26, 27), paläozoische Schiefer (28), Lehmböden Kristallin (30) - meist schwere, z.T. hydromorphe Böden; z.T. auch feuchtkühle Klimabereiche

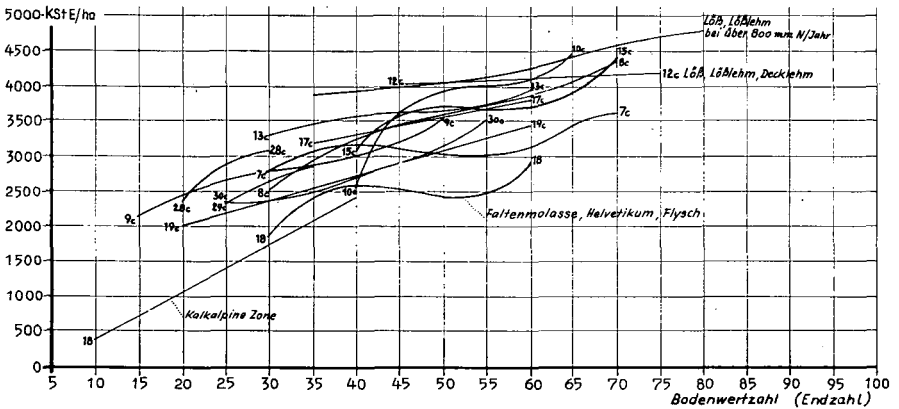


Abb. 12: Ertrag/Bodenwertzahl
Überdurchschnittlich: Talsedimente Klima 6-9 (8), Seeabsätze, Alm (10), Lösslehm, Decklehm bei Niederschlägen von > 800 mm, Schotter (13) und Moränen (15) - Substrate des Alpenvorlands. Unterdurchschnittlich: Kalkalpine Zone und Faltenmolasse - z.T. weniger intensive bis extensive Bewirtschaftung

Verarbeitung der Daten der Reichsbodenschätzung mit Hilfe
multivariater Verfahren für Zwecke der ökologischen Land-
schaftsplanung

von

Heineke, K.-J.*, K.-F. Schreiber* und R. Thöle*

1. Einleitung

Bei der Aufbereitung von geo- und biowissenschaftlichem Grundlagenmaterial für landschaftsökologisch orientierte Planungen treten immer wieder die Probleme einer "objektiven" räumlichen Aggregation der in den Grundlagenmaterialien oft kleinflächig verteilten Daten zu größeren Einheiten auf. Schwierigkeiten gibt es auch bei der räumlichen Überlagerung verschiedener Daten. Solche Aggregationen und Überlagerungen sind aber für landschaftsökologische Planungen notwendig, da hier häufig die Ausgrenzung von ökologisch \pm homogenen Landschaftseinheiten erforderlich ist. So schreibt auch das neue "Gesetz zur Sicherung des Naturhaushaltes und zur Entwicklung der Landschaft (Landschaftsgesetz) vom 18. 2. 1975" von Nordrhein-Westfalen, mit der 2. Durchführungsverordnung vom 8. 4. 1977 die Ausweisung von "planungsrelevanten, ökologisch begründeten Landschaftseinheiten" zwingend vor.

Dazu müssen Informationen über die Beschaffenheit der Böden, die zu größeren definierten Bodeneinheiten aggregierbar sein sollen, notwendigerweise mit einbezogen werden.

2. Methoden

Da neuere großmaßstäbige, bodenkundliche Landesaufnahmen noch nicht flächendeckend vorliegen, bietet sich für Planungsaufgaben aufgrund seiner Geschlossenheit das Material der Reichsbodenschätzung wenigstens für die landwirtschaftliche Nutzfläche an. Zur schnelleren und "objektiveren" Verarbeitung sowie inhaltlichen und räumlichen Zusammenfassung dieser Daten ist allerdings eine EDV-

* Institut für Geographie, Lehrstuhl Landschaftsökologie

4400 Münster, Robert-Koch-Str. 26

mäßige Aufbereitung und Verknüpfung mit wirkungsvollen taxonomischen Algorithmen erforderlich.

Da die Klärung der Fragen der räumlichen Aggregation von Böden und der dabei verwendbaren multivariaten bzw. taxonomischen Verfahren noch ganz am Anfang steht, erschien es uns zweckmäßig, in einem ersten Schritt an einem Beispielgebiet aus dem westlichen Münsterland (Blatt 6850 Velen-Ost im Maßstab 1:5 000) mit Hilfe verschiedener Gruppierungsalgorithmen eine Gruppierung der Böden nach den Profilbeschreibungen der Reichsbodenschätzung vorzunehmen. Damit sollte getestet werden, nach welchen, zwar von den abgespeicherten Merkmalen abhängigen, aber mathematisch "objektiven" Kriterien die einzelnen geprüften Verfahren die Profile zu räumlichen Einheiten zusammenfassen. Grundlage für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der einzelnen Gruppierungs-Vorschriften waren dabei die Ergebnisse und Kartiereinheiten der Bodenkarten 1:25 000 und 1:5 000 des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen.

Die multivariaten bzw. taxonomischen Verfahren setzen einen hohen Relevanzgrad des Merkmalskomplexes auf die Eigenschaften des Untersuchungsobjektes voraus. Die Daten der Bodenschätzung erfüllen allerdings diesen Anspruch nicht immer. Als weitere Einschränkung erfordert es die Logik der taxonomischen Verfahren, daß für ihre fehlerfreie Anwendung in der Regel ein geschlossener Datensatz notwendig ist; es können also nur die Informationen verwendet werden, die für alle zu gruppierenden Profile zwar in unterschiedlicher Ausprägung, aber vollständig vorliegen. Dieser Forderung wird das Material der Bodenschätzung häufig nur unzureichend gerecht. In der praktischen Anwendung wird man die fehlenden Daten aus dem Material ergänzen oder im Felde nacherheben müssen.

Unsere Untersuchungen begannen wir mit 15 Variablen, von denen allerdings nur 11 in die weiteren Berechnungen Eingang fanden. Bei den verwendeten Methoden bedingt die Inwertsetzung der einzelnen Größen keine weiteren Einschränkungen. Es können nebeneinander sowohl nominal als auch kardinal skalierte Werte berücksichtigt werden.

Mit Hilfe der taxonomischen Verfahren ist es möglich, eine umfangreiche Gruppe von Elementen aufgrund ihrer Ähnlichkeit durch den Aufbau von Gruppen, Klassen und Clustern - allerdings nur auf die verwendeten Variablen bezogen, - annähernd optimal und objektiv zu strukturieren.

Es werden hierbei im wesentlichen zwei Formen verwendet:

1. hierarchische Verfahren;
2. nicht-hierarchische Verfahren.

Bei den hierarchischen Verfahren läßt sich das Ergebnis sehr anschaulich in einer Hierarchie von Clustern darstellen, die in Form eines Dendrogrammes sichtbar gemacht werden kann. Zwei Cluster auf verschiedenen Ebenen enthalten also entwe-

der unterschiedliche Elemente oder ein Cluster niederer Stufe ist in einem solchen höherer Stufe enthalten; dabei ist die Zuordnung endgültig. Bei den nicht-hierarchischen Verfahren dagegen können die Elemente auf jeder Stufe neu geordnet werden.

3. Ergebnisse

Es würde hier zu weit führen, auf die Vor- und Nachteile aller in die Untersuchung einbezogenen Verfahren einzugehen. Das mit Hilfe des WARD'schen Verfahrens und einer daran anknüpfenden nicht-hierarchischen Gruppierung zur "direkten Verbesserung des Varianzkriteriums" erzielte Ergebnis war am besten mit Hilfe der "konventionellen" Aussagen der Bodenkartierung zu interpretieren.

Da nach einem Grundtheorem der numerischen Taxonomie eine Gewichtung der einzelnen Variablen nicht erlaubt ist -dieses kann schon allein durch hohe Korrelationen zwischen den Variablen geschehen-, wurden durch eine Hauptkomponentenanalyse aus den 15 Variablen die 11 unabhängigen Variablen ermittelt. Die Tabellen 1 und 2 zeigen eine Aufstellung der 11 extrahierten Variablen und der 4 Variablen, die ohne wesentlichen Informationsverlust fortfallen können. Nur die Entscheidung, ob die Bodenzahl oder die Ackerzahl für die weitere Rechnung benutzt werden sollten, wurde durch die Hauptkomponentenanalyse nicht eindeutig beantwortet. Wir entschieden uns dafür, die Bodenzahl weiterhin zu verwenden, da sie die ursprünglichere Information ist. Außerdem wurde darauf verzichtet, die Grenzlinien der Schätzungsurkarten in die Berechnungen zu übernehmen, da auch die rechnerische Konstruktion von Isolinien als Grenzlinien von Bodeneinheiten mit Hilfe von "Thiessen-Polygonen" ein Ziel dieser Untersuchung war.

Aus der Fehlerkurve der Clusteranalyse nach WARD läßt sich eine optimale Anzahl von 4 Clustern mit einem Generalisierungsgrad von 15,73 ablesen. Der Einfachheit halber kann man den Generalisierungsgrad etwa gleichsetzen mit einem entsprechenden Informationsverlust in Prozent.

Dabei enthält die 1. Gruppe Elemente, die durch

- a) die niedrigsten Tongehalte aller Profile (bis 5%),
- b) einen Humusgehalt von h' bis h und
- c) Bodenzahlen bis maximal 34

gekennzeichnet sind; in dieser Gruppe sind vor allem leichte sandige Böden vertreten, im wesentlichen Sand-Braunerden. Da in dieser Gruppe Angaben über Stau-nässe bzw. Grundwasser (Fleckung und Konkretionen) weitgehend fehlen, werden hier auch Pseudogleye und Gleye aus Sand miterfaßt. Die Zusammenfassung erfolgt also hauptsächlich aufgrund der Bodenart.

Die 2. Gruppe enthält schwere Böden, die

- a) durch die höchsten Tongehalte (bis 38%) und
- b) höhere Bodenzahlen von 35 bis 50

ausgewiesen sind. Es handelt sich um lehmige bis stark lehmige Böden. Die Humusgehalte entsprechen denen der ersten Gruppe. Diese Böden sind ebenfalls z. T. vernäbt. Es sind im wesentlichen Pseudogleye und Gleye aus Geschiebesand über Geschiebelehm.

In der 3. Gruppe werden Böden zusammengefaßt, die durch

- a) hohe Bodenzahlen (33-58),
- b) stark wechselnde Tongehalte von Horizont zu Horizont,
- c) günstige bodenphysikalische Verhältnisse und
- d) Mächtigkeiten der humosen Horizonte von 40-110 cm

gekennzeichnet sind. Es sind dieses vor allem die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Plaggenesche.

Das entscheidende Kriterium für die Zuordnung von Elementen zur 4. Gruppe ist der stark erhöhte Humusgehalt in den beiden oberen Horizonten. Diese Gruppe war auch am eindeutigsten zu identifizieren. Hier werden die anmoorigen bis moorigen Böden der Auenbereiche der das Blattgebiet durchziehenden Bäche zusammengefaßt. Ein Vergleich der Karten (Abb. 1 und 2) zeigt, daß sich - trotz der rechnerisch konstruierten Grenzlinien in Abb. 1 mit Hilfe der unregelmäßig verteilten Profile - in wesentlichen Bereichen ermutigende Übereinstimmungen finden lassen.

4. Diskussion

In seiner Aussagegenauigkeit wird eine durch taxonomische Verfahren auf der Grundlage der Daten der Reichsbodenschätzung erstellte Karte etwa zwischen den Bodenkarten 1:25 000 und 1:5.000 einzuordnen sein, wobei allerdings der Informationsgehalt nur den Interpretationsmöglichkeiten der Bodenschätzung entsprechen kann.

Hier standen zunächst nur die nackten Daten der Profilbeschreibungen der Bodenschätzung zur Prüfung. Mit dem ausgewerteten - und auswertbaren - Material war es nicht möglich, auf Grund des Fehlens von quantitativen und/oder qualitativen Angaben über Rostfleckung bzw. Konkretionen Aussagen über den Vernässungsgrad zu formulieren; deshalb stützt sich die Regionalisierung der Bodenschätzungsdaten durch die taxonomischen Verfahren vor allem auf die Bodenart und den Humusgehalt und bleibt dementsprechend ungenau und fehlerbehaftet. Eine Verbesserung bodenkundlicher und ökologischer Aussagen ist jedoch, neben ergänzender Feldarbeit, durch die Verbesserung der Informationsstruktur der Bodenschätzung mit Hilfe von Übersetzungs- und Korrekturschlüsseln und damit die Erweiterung der Variablen, die gleichzeitige Einbeziehung weiterer geowissenschaftlicher Daten sowie durch die Verfeinerung der mathematischen Verfahren zu erwarten.

Neben der abstrakten Zuordnung einzelner Elemente (also Profile) zu bestimmten Clustern ergibt sich als weiteres Problem insbesondere die Zusammenfassung, d.h. die rechnerische Grenzfindung zwischen den Clustern. Wir haben zunächst mit dem

sogenannten Verfahren der "Thiessen-Polygone" eine Regionalisierung begonnen. Da es sich hier um ein rein geometrisches Verfahren handelt, wird allerdings die räumliche Beziehungsstruktur der Variablen nur zu einem Teil erfaßt. Es bleibt abzuwarten, ob unter Hinzuziehung geomorphologischer Parameter eine der "natürlichen" Abgrenzung bei der Feldkartierung nahekommende Grenzfindung erreicht werden kann.

Tab. 1: Erläuterungen zu den in die Clusteranalyse eingegangenen Variablen

Nr.	Kurzbezeichnung	Erläuterung
1	BSCH 1	Mächtigkeit des 1. Abschnittes in cm
2	BSCH 2	Mächtigkeit des 2. Abschnittes in cm
3	BSCH 3	Mächtigkeit des 3. Abschnittes in cm
4	BOAR 1	%-Gehalt der abschlämmbaren Bestandteile in BSCH 1
5	BOAR 2	%-Gehalt der abschlämmbaren Bestandteile in BSCH 2
6	BOAR 3	%-Gehalt der abschlämmbaren Bestandteile in BSCH 3
7	HUGE 1	%-Gehalt der organischen Substanz in BSCH 1
8	HUGE 2	%-Gehalt der organischen Substanz in BSCH 2
9	BOZA	Bodenzahl
10	ZUST	Zustandsstufe
11	FEUC	Angabe der Feuchtesituation

Tab. 2: Erläuterungen zu den Variablen, die nicht berücksichtigt wurden

Nr.	Kurzbezeichnung	Erläuterung
1	BSCH 4	für viele Profile wurde ein 4. Abschnitt nicht ausgewiesen; der Datensatz muß aber vollständig sein
2	BOAR 4	entsprechend BSCH 4 sind die Angaben für diese Variable sehr lückenhaft
3	MBOA	Bodenart des Klassenzeichens; wegen Gefahr der Mehrfachgewichtung wurde diese Größe vernachlässigt
4	AKZA	diese Variable korreliert hoch mit der Bodenzahl, so daß die gleichzeitige Verwendung beider Größen die Gefahr der Doppelgewichtung in sich birgt; außerdem sollte der subjektive Einfluß, der bei der Einstufung beider Zahlen eine Rolle gespielt hat, gering gehalten werden

Abb. 1:

Plotter-Karte der durch Clusteranalyse gebildeten Bodeneinheiten.
Erläuterung der Gruppen 1 bis 4 im Text.

Abb. 2:

Bodeneinheiten der BK 25 Blatt 4107 Borken.

(mit Genehmigung des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen vom
8.Mai 1978)











- A. Terrestrische Böden**
- Braunerden**  Pseudogley-Braunerde
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) und Geschiebesand
(Pleistozän) über Geschiebelehm (Pleistozän)
- Podsole**  Gley-Podsol
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) und Niederterrassen-
sand (Pleistozän)
- Pseudogleye**  Pseudogley
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) und Geschiebesand
(Pleistozän) über Geschiebelehm
-  Pseudogley
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) und Geschiebesand
über Geschiebelehm (Pleistozän)
- B. Semiterrestrische Böden**
- Gleye**  Gley
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) und Geschiebesand
(Pleistozän) über Geschiebelehm (Pleistozän)
-  Gley, z.T. Naßgley und Anmoorgley
aus Bachablagerungen (Holozän) und Niederterrassen-
sand (Pleistozän)
-  Podsol-Gley
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän)
und Niederterrassensand (Pleistozän)
- C. Moore**
-  Niedermoor, z.T. Moorgley
aus Niedermoororf (Holozän)
über Ablagerungen verschiedenen Alters
- D. Anthropogene Böden**
-  Graubrauner Flaggensch ü. verbräunten oder pseudo-
vergleyten Böden
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) über Geschiebelehm
(Pleistozän)
-  Flaggensch über Pseudogley
aus Flugsand (Holozän, Pleistozän) über Geschiebelehm
Pleistozän

Abb. 1

6850 Velen-Ost

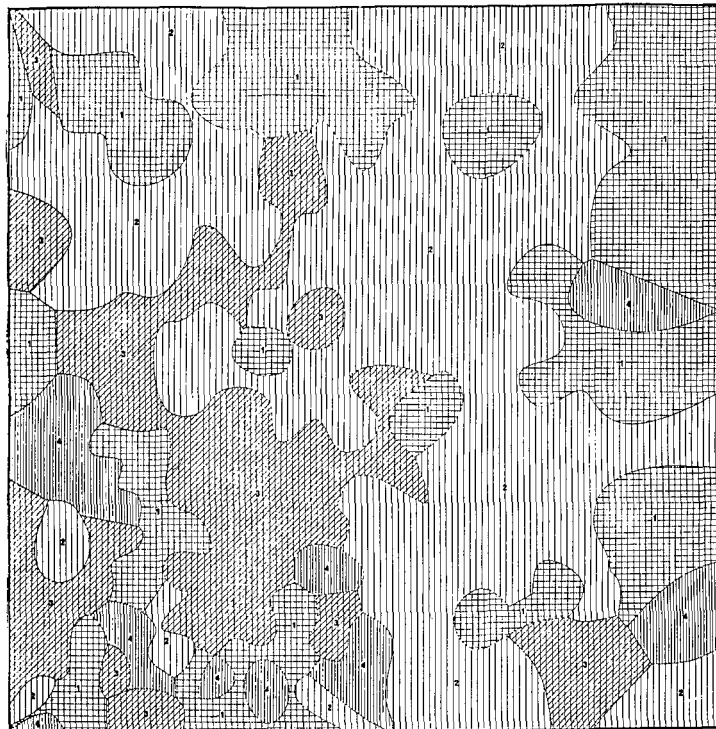
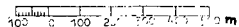
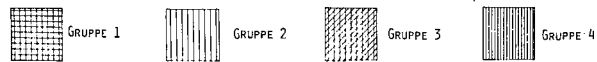
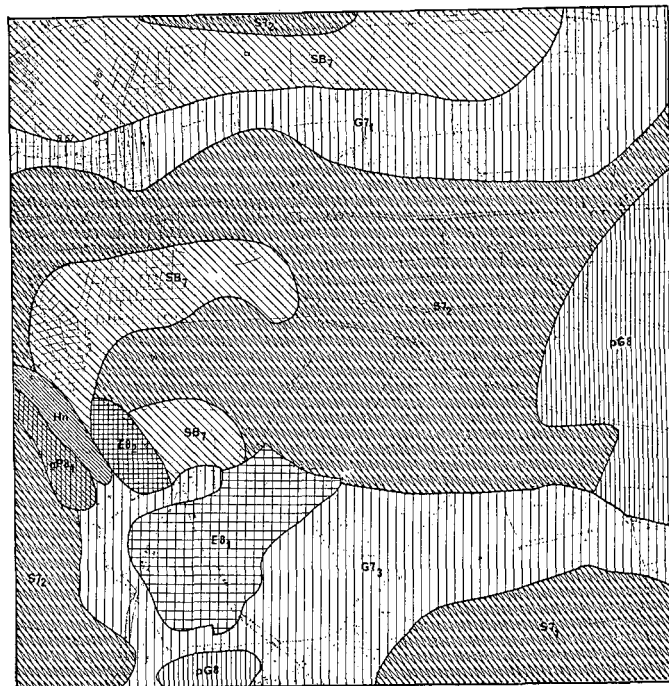


Abb. 2

6850 Velen-Ost



Taxonomische Auswertung von Bodendaten
der Bundesrepublik Deutschland

von

Lamp, J.⁺

Die systematische Einteilung von Böden in Klassen eines morphogenetischen Systems und die regionale Gruppierung in Einheiten von Bodenkarten erfordern vielfältige Entscheidungen, die zum einen d e d u k t i v von Vorstellungen und Theorien über die allgemeine und spezielle Pedogenese ausgehen und zum anderen i n - d u k t i v auf Beobachtungen von Merkmalen der Böden im Gelände und Untersuchungen im Labor beruhen (SCHROEDER und LAMP, 1976). Trotz der prinzipiellen Verknüpfung und wechselseitigen Bedingung von Deduktion und Induktion erfährt der zweite Weg eine relativ zunehmende Bedeutung bei der Klassifizierung und Gruppierung von Böden. Dieser neuzeitliche Trend wird gestützt durch die Entwicklung von B o d e n - I n f o r m a t i o n s s y s t e m e n, die große Datenmengen aus Archiven bzw. laufenden Erhebungen aufnehmen und mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung auswerten können (LAMP, 1977). Im folgenden werden der Aufbau einer Boden-Datenbank, Ziele und Methoden für die Nutzung in Bodensystematik und -kartierung beschrieben sowie erste Ergebnisse einer taxonomischen Auswertung mit einfachen Verfahren mitgeteilt.

Bodendaten, die für taxonomische Auswertungen geeignet sind, werden in der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend an Hochschulen und Geologischen Landesämtern erhoben. Durch einen Rundbrief an alle bodenkundlichen Institute und Abteilungen wurden Art und Umfang auswertbarer Bodendaten erkundet und diese durch Fahrten zum größten Teil der Einrichtungen gesammelt.⁺⁺ An den Bodenkund-

⁺ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 2300 Kiel

⁺⁺ Ich danke herzlichst allen Leitern und Mitarbeitern der Einrichtungen für ihre faktische und der DFG für die finanzielle Unterstützung.

lichen I n s t i t u t e n d e r H o c h s c h u l e n lagen Daten je nach Forschungsrichtung in sehr unterschiedlichem Ausmaß meistens in Form gedruckter Dissertationen vor. Nur von Hohenheim konnte eine größere Sammlung von Daten auf kopierten Formblättern ausgewertet werden. An den G e o l o g i s c h e n L a n d e s ä m t e r n waren standardisierte Bodendaten naturgemäß in weit größerer Anzahl vorhanden, meistens in Erläuterungsheften zu Bodenkarten, zum Teil auch auf Formblattsammlungen. Von mehr als 100 Bodenkarten (mit Maßstäben $\geq 1:25\ 000$) konnten durchschnittlich je Karte 10-15 Profile ausgewertet werden. Insgesamt wurden rd. 600 000 Daten von etwa 2000 Profilen bzw. 10000 Horizonten aus dem Erhebungszeitraum 1955-1975 erfaßt.

Die Ü b e r t r a g u n g der gesammelten Daten in EDV-verarbeitbare Form wurde mit Hilfe studentischer Hilfskräfte auf Markierbelege vorgenommen. Die Belege - je eine Form für Profil- und Horizontdaten - haben zwar ein starres Aufnahmeformat, erlauben aber auch bodenkundlich nicht voll ausgebildeten Kräften die Übertragung, da aus der Gesamtheit der vorgegebenen Werteausprägungen nur die jeweils auftretenden durch Bleistiftmarkierung eingetragen werden.

Die Liste aller P r o f i l - u n d H o r i z o n t m e r k m a l e , die auf diese Weise abgefragt wurden und maximal für ein Profil bzw. Horizont vorkommen können, ist in Abbildung 1 zusammengestellt. Sie umfaßt die wichtigsten Bodenmerkmale, die allerdings nicht von jeder Herkunft (z.B. Geolog. Landesamt) oder jedem Projekt (z.B. Erläuterungsheft) in gleicher Weise bestimmt waren, so daß Werte zum Teil fehlen oder mit nicht identischen Methoden beobachtet und gemessen wurden. Diese partielle H e t e r o g e n i t ä t der Daten beeinträchtigt übergreifende taxonometrische Auswertungen und sollte in Zukunft durch weitere Standardisierung - eine Aufgabe des DBG-Arbeitskreises Bodensystematik - reduziert werden.

Zur Ein- und Ausgabe, Prüfung sowie teilweisen Auswertung der Bodendaten wurde der Aufbau eines P r o g r a m m s y s t e m s KIBIS (Kieler Boden-Informationssystem) in Angriff genommen, das die an Rechenzentren oft vorhandenen Programmpakete (SPSS, CLUSTAN) ergänzt. Programme (vorwiegend FORTRAN) zum Lesen und

Skala ¹⁾	Dimension ²⁾	KENNUNG
N		Herkunft
N		Projekt
N		Profil-Nr.
O		Horizont-Nr./Anzahl

Skala ¹⁾	Dimension ²⁾	PROFILMERKMALE	Skala ¹⁾	Dimension ²⁾	HORIZONTMERKMALE
			M	M-2	Obere Horizontgrenze
			M	M-2	Untere "
N		Zusatz-Bodentyp	N		Horizontbezeichn. 3
N		Neben - "	N		" 2
N		Haupt - "	N		" 1
N		Varietaet A	O		Matrix-Hue
N		" B	O		" -Value
M		Erhebungsjahr	O		" -Chroma
M	M1	Hochwert	O	(F-2)	Bodenskelett
M	M1	Rechtswert	N		Bodenart
N		Aufl. Humusform	O		Humosität
O	(M-2)	" " maechtig	O		Feindurchwurzelung
M	M-1	Grundwassertiefe	O		Lagerungsdichte
N		Reliefform	N		Gefüge-Form
O	E-2	Neigung (%)	O		" -Größe
N		Exposition	O		" -Festigkeit
M	M0	Hoehe ue. NN	O	(F-2)	Fleckungs-Fläche
M	M-3	Niederschl. i. Jahr	O	(M-2)	" -Grösse
M	M-3	" Mai-Okt.	O		" -Hue
M	C-1	Lufttemp. i. Jahr	O		" -Value
M	C-1	" Mai-Okt.	O		" -Chroma
N		Nutzung	O	(F-2)	Konkretionen-Fläche
			O	(M-3)	" -Grösse
			O		" -Festigk
			N		" -Art
			M	G-2	Kies-u. Steingehalt
			M	G-2	Grobsand
			M	G-2	Mittel"
			M	G-2	Fein "
			M	G-2	Grobschluff
			M	G-2	Mittel "
			M	G-2	Fein "
			M	G-2	Ton
			M	G-2	Humus(C)-Gehalt
			M	E-2	C/N-Verhältnis
			M	G-2	Carbonatgehalt
			M	G-4	Eisen-total
			M	G-4	" -dithionitlösl.
			M	G-4	" -oxalatlös.
			M	E-1	pH-Wert
			M	L-5	H-Wert
			M	L-5	S-Wert
			M	L-5	Austauschkapazität
			M	E-1	Raumgewicht
			M	V-2	Porenvolumen
			M	G-5	Phosphat-laktatlösl.
			M	G-5	Kalium - "

1) Skala:

N = Nominal
O = Ordinal
M = Metrisch

2) Dimension:

E = Allg. Exponent
M = Meter
C = °Celsius
G = Gewichtsanteile
V = Volumenanteile
F = Flächenanteile
L = Ladungseinheiten (val) pro Gewichtseinheit (g)
(mit Angabe des Exponenten zur Basis 10, z.B. M-2=cm; G-2=Gewichts-%; L-5=mmval/100g)

Tab. 1: Profil- und Horizontmerkmale der Boden-Datenbank

Interpretieren von Markierbelegen, zum Umsetzen und Prüfen sowie zum Sortieren von Daten haben bisher wertvolle Dienste bei der Aufbereitung und Fehlersuche geleistet. Weitere, z.T. erprobte, z.T. geplante Programme zum Drucken von Isolinien, Karten und Diagrammen, zum Zeichnen von Tiefenfunktionen sowie zur Datenaufnahme und Programmsteuerung mit dem Terminal vervollständigen die taxonomische Auswertung von bodenkundlichen Punkt- und Flächendaten (eine Dokumentation ist in Vorbereitung). Derartige Systeme sollten zukünftig ausgebaut und der Bodenkunde und anderen interessierten Fachgebieten allgemein zugänglich gemacht werden.

Taxonomische Auswertungen von Bodendaten sind mit einer Reihe von Methoden und Zielen möglich:

- Kennzeichnung der Variabilität der Bodenmerkmale von Gesamtheiten, genetischen Klassen und regionalen Gruppen durch Lage- und Streumaße (Mittelwert, Standardabweichung, Schiefe etc.) sowie durch Häufigkeitsverteilungen ohne und mit Merkmalstransformationen,
- Ermittlung von Fehlern, die durch Probenahme, Messung und Analyse, Datenübertragung, Methoden- und Herkunftsunterschiede sowie innerhalb von Bodenklassen und -gruppen entstehen,
- pedomorphometrische Analysen, um Beziehungen zwischen Einzelmerkmalen und Merkmalskomplexen, z.B. zwischen Feld- und Labormerkmalen, physikalischen und chemischen Eigenschaften zu erfassen oder um Tiefenfunktionen zu berechnen,
- Quantifizierung der Pedogenese, indem einfache und multiple Abhängigkeiten der Böden von Faktoren aufgezeigt und genetische Bilanzierungen durchgeführt werden,
- taxonomische Berechnungen i.e.S. zur uni- und multivariaten Unterscheidung von Bodenklassen (Typen) und Horizontbezeichnungen sowie zur Aufstellung von Identifikationsschlüsseln,
- pedoregionale Ermittlung von Lage- und Streumaßen, Trends und Abfolgen von Böden in Gebieten, Regionen etc.,

-- Quantifizierung der P e d o f u n k t i o n durch Berechnung einfacher und multipler Abhängigkeiten der Ökokomponenten von Bodenmerkmalen und durch ökologische Bilanzierungen.

Am Beispiel der ausgewählten Horizontmerkmale Tongehalt und pH-Wert werden zunächst H ä u f i g k e i t s v e r t e i l u n g e n für einzelne Datenherkünfte in Bundesländern (Univ. Hohenheim und Geol. Landesämter) sowie für die daraus ermittelte Gesamtheit vorgestellt (Abb. 2 und 3). Aus Abbildung 2 geht die Datenbasis der Berechnungen hervor (siehe Lage der Bodenkarten; beachte Konzentration der Karten in Niedersachsen und Schleswig-Holstein auf Marschgebiete und in Hessen auf Weinbergsböden; vereinzelte Lage der Profile in Bad.Württemberg und Rheinl.Pfalz nicht dargestellt).

Die T o n g e h a l t e aller erfaßten Horizonte (siehe Anzahl n in Abb. 1) weisen für die Mehrzahl der Herkünfte und die Gesamtheit eine eingipflig rechtsschiefe Häufigkeitsverteilung auf, die auch für andere Fraktionen und Komponenten häufig vorkommt. In den Daten von Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz, insbesondere aber in den Marschgebieten treten -außer den geo- und pedogenetisch bedingten Hauptmaxima zwischen 5 und 25 % - noch (geogenetische) Nebenmaxima bei 50 % auf.

Die Häufigkeitsverteilungen der p H - W e r t e , die vorwiegend in 1 n KCl-, z.T. auch in 0.1 n KCl- und 0.025 n CaCl₂-Lösung gemessen wurden, haben für die Gesamtheit und die meisten Einzelherkünfte eine zweigipflige Form (s. Abb. 2). Im sauren Bereich zwischen pH 3.0 und 4.5 sind Aluminium-, Eisen- und Huminsäurepuffer verantwortlich für häufig auftretende H⁺-Ionenkonzentrationen, bei pH-Werten über 6.8 puffern die Carbonate des Bodens. Im mittleren, durch Silikatverwitterung und basische Austauschionen gepufferten Bereich treten nur für einige Herkünfte Häufungen auf (s.auch pH-Bereiche nach ULRICH et al., 1979).

Ein einfaches Beispiel für eine taxonomische Auswertung i.e.S. wird in Abbildung 3 vorgestellt, die die I n t r a - H o r i - z o n t k l a s s e n - V a r i a n z für die Merkmale Ton- und C-Gehalt, dithionitlösliches Eisen und den pH-Wert der Datenherkunft Hohenheim (Institut für Bodenkunde und Standortslehre) wiedergibt. Für die meisten Horizontbezeichnungen ist die Intra-

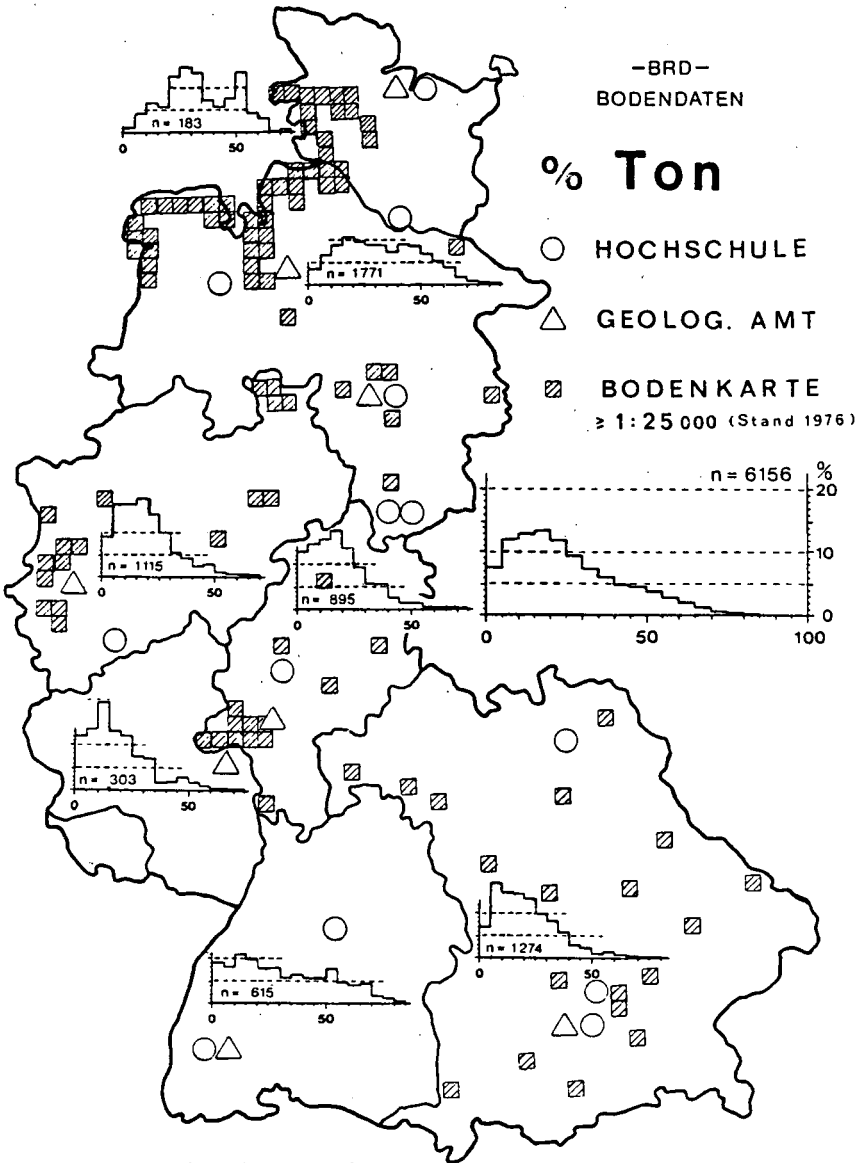


Abb. 1: Häufigkeitsverteilungen der Tongehalte in Horizonten verschiedener Datenherkünfte (Mitte rechts: Gesamtheit)

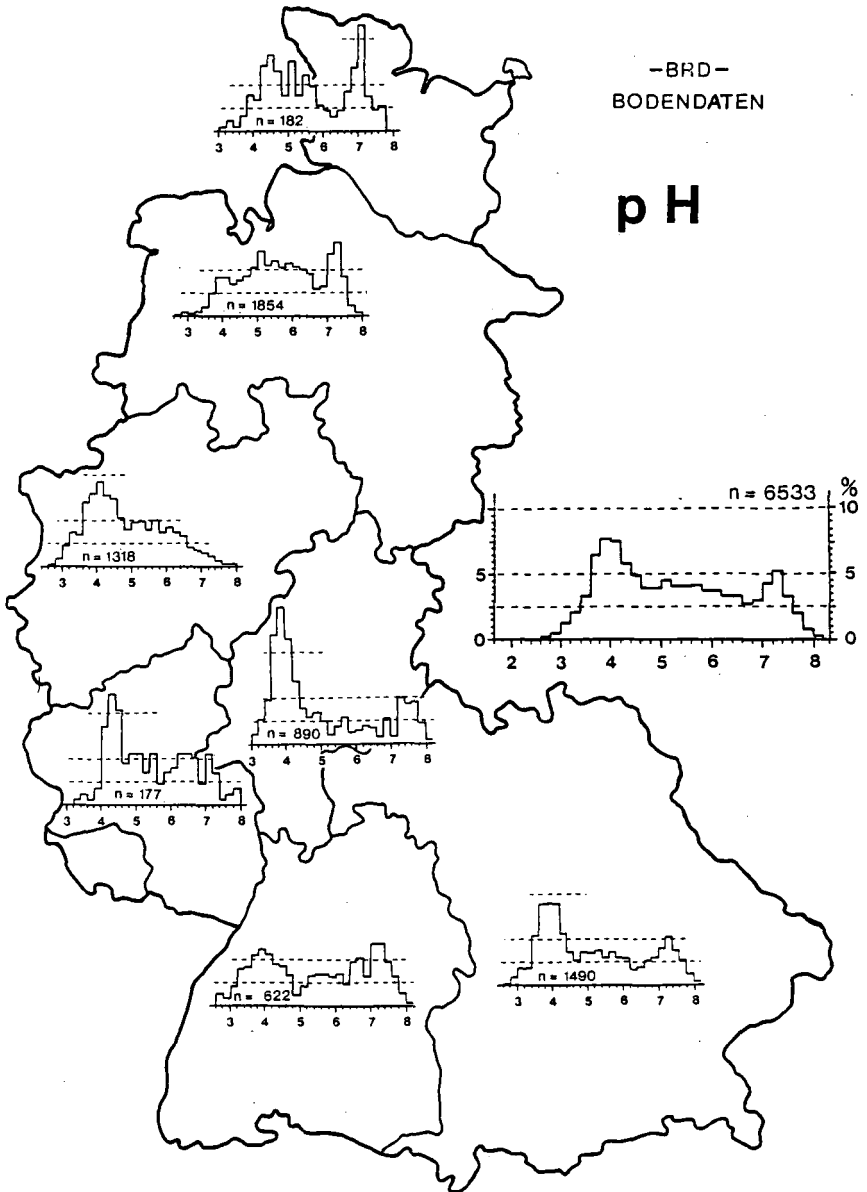


Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen der pH-Werte in Horizonten verschiedener Datenherkünfte (Mitte rechts: Gesamtheit)

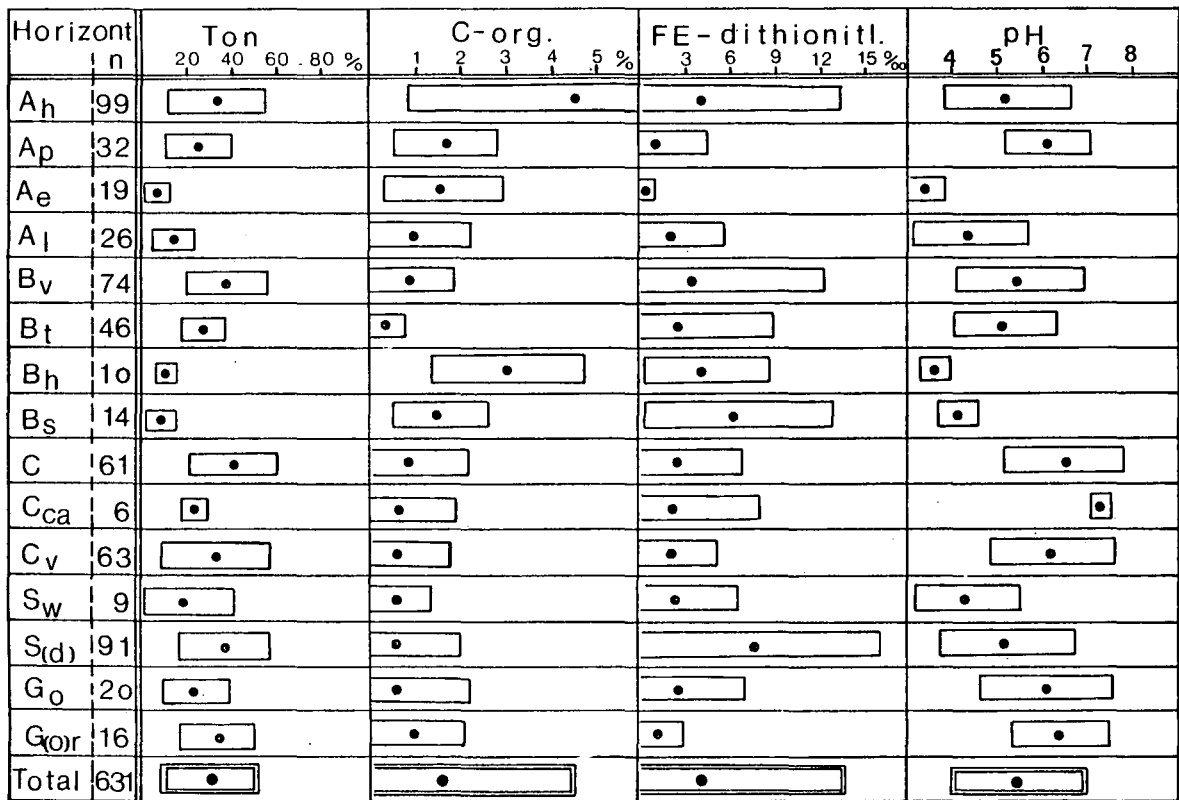


Abb. 3: Intra-Horizontklassen-Varianz von ausgewählten Merkmalen der Datenherkunft Hohenheim (• = Mittelwert, halbe Kastenlänge = Standardabweichung)

Klassen-Varianz (halbe Kastenlänge = Standardabweichung) im Vergleich zur Lage der Mittelpunkte so groß, daß sich die Horizontklassen nicht signifikant unterscheiden und deshalb auch nicht monothetisch, d.h. durch ein Merkmal, definieren lassen. Eine relative Ausnahme bilden die A_1 -, B_t - bzw. A_e - und B_s -Horizonte von Parabraunerden und Podsolen, die insbesondere in den Tongehalten und pH-Werten eine enge Streuung aufweisen.

Mit diesen Ergebnissen werden exemplarisch Mittel und Wege aufgezeigt, deren sich die Bodensystematik in der Bundesrepublik Deutschland bei ihren Entscheidungen bedienen kann, z.B. um objektive, auf den Eigenschaften der Böden beruhende, quantitative Abgrenzungen für die Bodenklassifikation zu schaffen (siehe Beitrag von SCHLICHTING und BLUME in diesem Band). Internationale (globale) Definitionen sollten dabei durch nationale (lokale) Auswertungen überprüft werden.

Literatur

- LAMP, J.: Zur Entwicklung und Anwendung von Informationssystemen in der Bodenkunde.
Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 25, 453-458.
- SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P.: Ein Beitrag zur Objektivierung der DBG-Bodensystematik.
In diesem Band.
- SCHROEDER, D. und LAMP, J.: Prinzipien zur Aufstellung von Bodenklassifikationssystemen.
Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 139, 617-630, 1976.
- ULRICH, B.; MAYER, R. und KHANNA, P.K.: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling.
Schriften Forstl.Fak.Univ.Göttingen 58, Sauerländer's, Frankfurt 1979.

Möglichkeiten einer rechner-gestützten Boden-
kartierung

von
Kneib, Wolfram⁺

Wer die EDV in der Bodenkartierung installieren möchte, der sollte zunächst nicht mit der Leistungsfähigkeit von Bodeninformationssystemen und Computerkartographie und womöglich mit Zeit- und Personal-Einsparung argumentieren.

Umstellung auf EDV erfordert erfahrungsgemäß immer mehr Personal und nicht weniger Zeit in der meist längeren Anlaufphase. Darüber hinaus: EDV-Output kann nicht besser sein als unsere Eingabedaten, und dem Anwender ist es egal, ob computer-gefertigt oder nicht, wenn er aus den Karten nur regional und funktional sichere Aussagen ableiten kann.

Warum und wo dann EDV?

Ich meine zunächst dort, wo die Kernprobleme der Bodenkunde und Bodenkartierung liegen.

Problem 1: Vom Merkmal zum Profil (Typisierung).

Problem 2: Vom Profil zur Fläche (Regionalisierung).

Zur Untersuchung dieser Probleme benutzen wir Stichprobenverfahren, wir erwarten Repräsentativität dieser Stichproben, wir gliedern oder gruppieren und erwarten innerhalb eines Typs geringere Merkmalsvariabilität als zwischen zwei Typen. Wir sprechen von Zusammenhängen zwischen Profiltyp und Faktoren und leiten daraus Abgrenzungen ab, die wiederum eine definierte Varianz innerhalb einer bestimmten Distanz ergeben sollen.

Mit anderen Worten, bodenkundliche Datenerhebung basiert auf einem statistischen Ansatz, verwendet statistische Terminologie, was fehlt, ist die Konsequenz, der Einsatz statistischer Verfahren.

Hierzu bedarf es neben benutzerfreundlichen Programmen der EDV.

Problem 1: Vom Merkmal zum Profil.

Bereits bei der Auswahl der Merkmale müssen zwei Fragen geklärt sein.

1. Ist das Merkmal geeignet zur Ausgliederung von Horizonten als Grundbausteine einer morphogenetischen Klassifikation?
2. Ist das Merkmal gut standardisiert und damit reproduzierbar im Gelände zu erfassen?

⁺Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel, Olshausenstr. 40-60, 2300 Kiel

Für die Gehalte an Organischer Substanz und Eisen ist die erste Frage unbestritten zu bejahen. Die zweite Frage ist jedoch offen. Für den Gehalt an Organischer Substanz existieren zwar verschiedene Skalen, und in der Regel fehlt auch nicht der Hinweis, daß die Körnung einen Einfluß auf die Farbwirkung der Organischen Substanz besitzt, aber wie sieht der Zusammenhang tatsächlich aus? Ein Beispiel aus einem Untersuchungsgebiet in der Niederen Geest Schleswig-Holsteins:

An 2542 Proben im Bereich von l u S bis S mit einem Median (MD) zwischen Feinsand und Mittelsand wurde die Organische Substanz und der Value der Feuchtfarbe (FFV, nach MUNSSELL) bestimmt.

FFV	MD µm				
	<100	101-200	201-300	301-400	>400
2	>50 65 7100 60	>50 73	20-100 69	20-100 65	
3		20-100 73	20-100 69	<50 89	<50 68
4		<50 90	<50 88	<20 86	<20 82
5		<20 84	<20 91	<20 92	<20 77
6		<20 89	<20 84	<20 86	

Darst. 1: Die Beziehung Organische Substanz, Körnung, Farb-Value. Unter den Intervallen der Organischen Substanz (% der Feinerde) die statistische Sicherheit S (in %).

Die Tafel ermöglicht es, bei bekanntem Feuchtfarb-Value einer Probe und nach Abschätzung des Medians der Korngrößenverteilung, den Gehalt an Organischer Substanz abzulesen. Eine statistische Sicherheit von über 70 % ist allerdings nur bei einer weitgehenden Überschneidung der Intervalle zu erreichen. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich für die Beziehung Farb-Chroma und Eisengehalt.

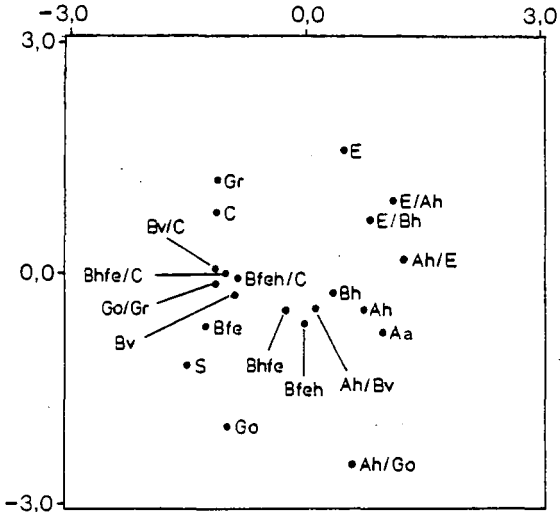
Daraus folgt: Solange man für abgeleitete Merkmale keine ausreichend gesicherte Eichung besitzt, sollte man auf das Basismerkmal zurückgreifen, in diesem Fall zumindest die Farbe mit der MUNSSELL-Karte.

Welche anderen Merkmale sind darüber hinaus in der Lage, reproduzierbar Horizonte zu beschreiben?

Nach unseren Untersuchungen (KNEIB/SCHROEDER, 1977) sind unsere Horizontabgrenzungen nur sehr unterschiedlich durch bestimmte Merkmalskombinationen begründet. Die Quote richtiger Zuweisung schwankt je nach Merkmalssatz und Horizont zwischen 45 und 75 %.

Abhilfe bei diesem Problem könnte ein H o r i z o n t b e s t i m m u n g s s c h l ü s s e l geben. Allerdings sollte er für Zwecke der Bodenkartierung zunächst ausschließlich auf F e l d m e r k m a l e n beruhen; diesem Tatbestand wird nach meiner Meinung in der Literatur viel zu wenig Rechnung getragen!

Wenn man in einer Diskriminanzanalyse neben Farb-, sonstigen Feldmerkmalen auch die Tiefe mitlaufen läßt, ergibt sich folgendes Streudiagramm der ersten beiden Diskriminanzfunktionen (Darst. 2).



Darst.2: Diskriminanzanalytische Trennung von Horizonten auf der Basis von Feldmerkmalen und Tiefe (Horizontbezeichnungen nach SCHROEDER, 1978)

Die Distanzen zwischen den Gruppen-Mittelpunkten sind ein Maß für die diskriminierenden Eigenschaften der Merkmale. Eine eindeutige Trennung ist nur für einen Teil der Horizonte zu erreichen. Ein Bestimmungsschlüssel wird also neben bestimmten Merkmalskombinationen nicht die Tiefe, sondern erwartungsgemäß vorrangig die Abfolge im Profil gemäß dem pedogenetischen Konzept unserer Klassifikation berücksichtigen müssen. Die Merkmale mit der höchsten Trennfähigkeit (aus der Diskriminanzanalyse bestimmt) wurden in ihren Streubreiten und Mittelwerten verwendet für einen Bestimmungsschlüssel "Niedere Geest".

Grundlage ist ein Datensatz mit den am besten diskriminierenden Feldmerkmalen: Feuchtfarb-Value, Feuchtfarb-Chroma, Gefüge, Festigkeit, Verformbarkeit-Plastizität, Flächenanteile an hellen Quarz-

körnern in dunkler Matrix, Rostflecken und Konkretionen. Der Schlüssel gliedert sich in vier Teile: A Oberboden-Humusanreicherung, B Braunerde, E Podsol, G Gley-Pseudogley, die wie ein Flußdiagramm aufgebaut sind; man folgt JA-NEIN-Entscheidungen und Sprunganweisungen innerhalb eines Teils bzw. von einem Teil zum anderen (auf ein Beispiel muß hier aus Platzgründen verzichtet werden, siehe KNEIB, 1979).

Auch wenn dieser Entwurf zunächst als Versuch angesehen werden muß, der nur in einem Bodenbezirk gilt und dessen Bestätigung noch aussteht, so kann er auch in diesem Stadium bereits zwei wesentliche Funktionen erfüllen: Für denjenigen, der sich in eine Kartierung hineinzufinden hat, besitzt der Schlüssel insbesondere didaktischen Wert, da er den Vorgang der Horizontierung schematisiert und durchsichtig macht. Für den erfahrenen Kartierer bietet er die Möglichkeit, in Form eines Programms in der EDV jederzeit eine Überprüfung der eigenen Horizontierung vorzunehmen, wobei dann auch eine nachträgliche Neugruppierung der Daten schnell möglich ist. Die Merkmalsansprachen im Gelände vermittelt einer standardisierten und kodierten Anleitung werden in Zukunft direkt auf Ablochschemata der EDV vermerkt und können direkt oder über Lochkarten eingegeben werden. Horizontzuweisungen sind dann sofort überprüfbar, Horizontabfolgen können z.B. unter Einbeziehung der Mächtigkeit zu Subtypen bzw. Typen zusammengefaßt werden, bei entsprechenden Programmen ist auch ein Kartenausdruck möglich. Die Unabhängigkeit des Kartierers wird durch dieses Verfahren nicht beeinträchtigt, weil alternative Tests veränderter Schlüssel jederzeit möglich sind. Die fortschreitende Erfahrung jedes einzelnen Kartierers bleibt so jedoch nicht nur als subjektiver individueller "Erfahrungsschatz" erhalten, sondern wird auch für andere mit dem Boden befaßte Arbeitsgruppen zugänglich und nachvollziehbar.

Problem 2: Vom Profil zur Fläche.

Hier geht es hauptsächlich um die Frage der Varianz innerhalb einer bestimmten Distanz. Ergebnisse zu diesem Problem sind in MUTERT/LAMP/KNEIB, 1979 (in diesem Band) zusammengefaßt.

Danach darf man bei vorgegebener stat. Sicherheit von 70 % im Hügelland keine 20m und in der Vorgeest keine 50 m überschreiten, wenn man noch in derselben Einheit (Subtypniveau) bleiben will. Bei $S = 95$ % sind es sogar nur 5 bzw. 15m. Auf Varietät-Niveau gelten für die Vorgeest ähnliche Werte wie für das Subtyp-Niveau im Hügelland. In der Vorgeest stimmen die Ergebnisse aus einer Vorkartierung (ca. 1000 ha) weitgehend mit denen aus der Hauptuntersuchung (160 ha) überein. Das gleiche gilt für einen Vergleich zwischen einem Großtransekt und kleinräumigen Untersuchungen im Hügelland.

Wenn man diese Variabilität für ein Gebiet von 100 ha annimmt, dann braucht ein Kartierer, vorausgesetzt er weiß genau, in welchem Bereich er welche Distanz nicht überschreiten darf, immer noch ca. 200 Profile, um diese Fläche auszukartieren.

Das heißt, die Erfassung der Struktur der Bodendecke ist in den von uns untersuchten Landschaftsräumen mit den gegebenen Profildichten nicht möglich (es sei denn im Maßstab 1:5000).

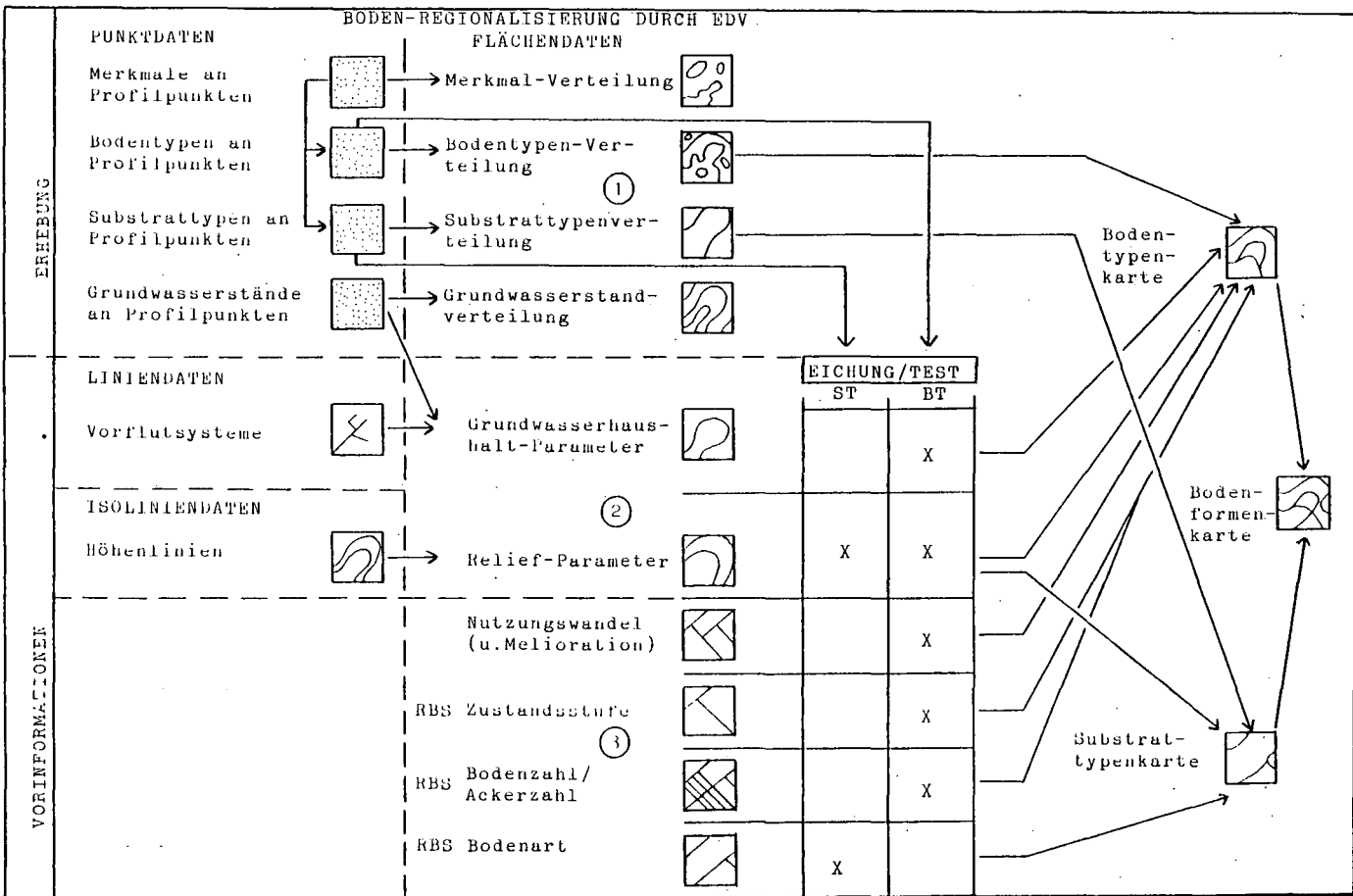
Wenn also unsere bodenkundlichen Übersichtskarten im Maßstab 1:25000 in der Hauptsache Karten vermeintlich gleicher Konstellation bodenkundlicher Faktoren sind und der jeweilige pedogenetische Inhalt der Einheiten ohnehin nur als *V e r t e i l u n g* und nicht als *V e r t e i l u n g s m u s t e r* angegeben werden kann, dann stellt sich für mich die Frage, warum man nicht von vornherein versucht, die Regionen gleicher Bodenbildungsfaktoren zu systematisieren und quantifizieren, um dann die jeweilige Verteilung der Böden durch eine geschichtete Zufallsstichprobe je Einheit exakt zu erfassen.

In einem Wechsel von Eichung und Test könnten dann durch erweiterte Stichproben die Abgrenzungskriterien überarbeitet und verbessert werden.

Für diesen Arbeitsabschnitt bietet sich wiederum die EDV an.

Die folgende Übersicht schematisiert die Vorgehensweise (Darst.3).

Ausgangsdaten sind nach der Erhebung Merkmale sowie Grundwasserstände an Profilpunkten (links oben). Ziel ist eine Bodenformenkarte (rechts). Aus den Merkmalskombinationen gruppieren wir Bodentypen - soweit möglich Substrattypen - an Profilpunkten. Hieraus könnten bereits Flächeneinheiten berechnet oder konstruiert werden.^① Da wir jedoch annehmen, daß über die Einbeziehung von Faktoren eine höhere Konsistenz der Einheiten erzielt werden kann, beziehen wir Karten mit Vorflutsystemen und Höhenlinien ein, aus denen jedoch erst flächendeckend Abgrenzungsparameter ermittelt werden müssen.^② Nutzungswandel und RBS-Unterlagen liegen bereits als Flächendaten vor.^③ Damit haben wir sechs mögliche Abgrenzungskriterien aus Vorinformationen, die über die repräsentative Stichprobe zunächst geeicht und durch Erweiterung der Stichprobe nachfolgend getestet werden können. Ist eine optimale Abgrenzung erreicht, können Folgekarten durch vorherige Berechnung der Abgrenzungskriterien mit einer erheblich verminderten Stichprobe kartiert werden. Für alle Gruppierungen, Berechnungen und den Kartenausdruck bedarf es der EDV.



Zusammenfassend ergeben sich für diesen Kartentyp folgende Vorteile:

1. Repräsentativität der Stichproben.
2. Bei ausreichender Stichprobe und vorgegebener Sicherheitswahrscheinlichkeit ist auch die Angabe von Streubreiten innerhalb der Einheiten möglich.
3. Abgrenzungskriterien und Grenzverlauf sind nachvollziehbar.
4. Die Qualität der Grenzziehung in bezug auf die Abgrenzung einzelner Einheiten ist aus der Verteilung ablesbar.
5. Die Vergesellschaftung der Einheiten wird meßbar.
6. Die Punkte 1-5 gelten für alle an den Stichproben erhobenen Daten, also sowohl für Boden- und Substratangaben als auch für Grundwasserkennwerte.
7. Die Karte zeigt die Ergebnisse, die tatsächlich erfaßt wurden, sie ist nicht das Ergebnis von Interpretation, sondern bietet eine bodentypologische Regionalisierung, die sowohl für pedogenetische als auch für funktionale Deutungen als Basis geeignet ist.

Literatur

- KNEIB, W., SCHROEDER, D.: Empirie und Theorie bei der Bodenkartierung. Mitt.DBG 25 H. II, S.483-488, 1977
- KNEIB, W.: Untersuchungen zur Gruppierung von Böden als Grundlage für die Bodenkartierung. Diss. Agrarwiss. Fak. Kiel, 1979
- MUTERT, E., LAMP, J., KNEIB, W.: Zur regionalen Variabilität von Böden in Schleswig-Holstein (in diesem Band)
- SCHROEDER, D.: Bodenkunde in Stichworten. 3. Aufl., Kiel, 1978.

Beurteilung des Standortes für die Wasserversorgung
landwirtschaftlicher Nutzpflanzen anhand klimatischer
und bodenkundlicher Daten und ihre kartographische
Darstellung

von
Eckelmann, W.*

Die Beurteilung des Standortes für die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen gewinnt besonders in Jahren mit geringen Niederschlagsmengen während der Sommermonate an Bedeutung. Dies gilt insbesondere für leichte Sandböden, die in weiten Teilen Niedersachsens verbreitet sind. Für die Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanzen wurde deshalb ein Konzept erarbeitet, das die Ermittlung der Trockengefährdung bodenkundlicher Standorte und daraus die Herstellung einer Karte der Trockengefährdung ermöglicht.

Die Trockengefährdung eines Standortes ist abhängig von dem pflanzenverfügbaren Wasser des Bodens und den auf den Boden einwirkenden klimatischen Faktoren. Es ist somit erforderlich,

1. die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser für ein gegebenes Bodenprofil zu berechnen und
2. eine geeignete klimatische Grundlage für die Ermittlung der Trockengefährdung als Zusammenspiel von Bodenwasser und Klima zu schaffen.

Unter Berücksichtigung der Absicht, eine Karte der Trockengefährdung zu entwerfen, wurde die Berechnung des pflanzenverfügbaren Wassers auf der Grundlage der "Bodenkundlichen Standortkarte 1:200.000" vorgenommen. Das pflanzenverfügbare Wasser wurde berechnet aus der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes, zu der bei Grundwassernähe kapillare Nachlieferungsraten zugeschlagen wurden.

*) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Stilleweg 2,
3000 Hannover 51

Als klimatische Grundlage wurde eine Karte der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich der Verdunstung) entwickelt. Verwendet wurden hierzu die Karte "Mittlere Niederschlagshöhen" von Niedersachsen sowie eine aus verschiedenen Daten entworfene Karte der potentiellen Verdunstung. Aus beiden Karten wurde durch Subtraktion der entsprechenden Werte die Karte der klimatischen Wasserbilanz (für die Monate Mai - Oktober) hergestellt.

Um die Mengen 'Pflanzenverfügbares Wasser'(mm) und 'Klimatische Wasserbilanz'(mm) in Beziehung setzen zu können, wurde auf der Grundlage von bodenphysikalischen Messungen und Kartierergebnissen ein Diagramm entwickelt, in dem die Trockengefährdung in 7 Stufen unterteilt dargestellt wird.

Mit Hilfe dieses Diagramms kann durch Einsetzen der Mengen 'Pflanzenverfügbares Wasser'(mm) und 'Klimatische Wasserbilanz'(mm) für jede Fläche der "Bodenkundlichen Standortkarte 1:200.000" die zugehörige Stufe der Trockengefährdung ermittelt werden.

Eine ausführliche Veröffentlichung mit Abbildungen ist für die Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung in Vorbereitung.

Möglichkeiten zur Erfassung und Beurteilung der Boden-
erosion durch Wasser und durch Wind bei der boden-
kundlichen Landesaufnahme.

von

Capelle, A. und R. Lüders +)

Einleitung

Seit mehreren Jahren häufen sich die Klagen aus der Landwirtschaft über Schäden durch Bodenerosion. Als Ursachen für das verstärkte Auftreten der Bodenerosion können genannt werden:

1. Vergrößerung der Ackerschläge, verbunden mit der Beseitigung von erosionshemmenden Hindernissen.
2. Ausweitung des Ackerbaues und Reduzierung des Grünlandanteiles auf ungünstigen Standorten.
3. Anbau kurzlebiger Kulturpflanzenarten, Verlängerung der Brachezeiten.
4. Absenkung des Grundwasserspiegels durch Entwässerungsmaßnahmen oder Nutzwasserentnahmen.

Nach ihren Entstehungsursachen läßt sich die Bodenerosion in zwei Arten unterteilen, nämlich in die Bodenerosion durch oberflächlich abfließendes Niederschlagswasser - gelegentlich auch Schmelzwasser - und die Bodenerosion durch Wind. Vorherrschend ist die Bodenerosion durch Wasser im Berg- und Hügelland, besonders in den mit Löß und Sandlöß bedeckten Teilen. Im nicht windgeschützten Flachland mit seinen sandigen Böden und ackerbaulich genutzten Mooren überwiegt die Bodenerosion durch Wind.

In vielen Gebieten Niedersachsens treten die beiden Arten der Bodenerosion räumlich eng nebeneinander auf. Deshalb liegt es nahe, ihre Ursachen und Folgen systematisch zu erfassen und nach einheitlichen Kriterien zu beurteilen. Bei der Entwicklung der Beurteilungsschemata zeigte es sich, daß sich die Bodenerosion durch Wasser und die Bodenerosion durch Wind unter vergleichbaren Aspekten darstellen, die nach gleichwertigen Kriterien beurteilt werden können. Auf diese Weise werden

+) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,
3000 Hannover 51, Stilleweg 2

Ursachen und Folgen der Bodenerosion überschaubar; die Möglichkeiten zur Bekämpfung werden leichter verständlich.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Beurteilungsschemata werden zur Zeit im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung bei der bodenkundlichen Landesaufnahme im Maßstab 1 : 25 000 und ihrer Auswertung angewendet.

Die in den Tabellen zur Abstufung benutzten Ziffern 0 bis 5 tragen die Bedeutung: nicht vorhanden, sehr gering, gering, mittel, hoch und sehr hoch.

Aspekte der Bodenerosion

1. Erosionsgefährdung

Die Erosionsgefährdung eines Standortes beruht auf dem Zusammenwirken von Bodenbeschaffenheit, Relief und Bodenbedeckung. Die Kriterien der Erosionsgefährdung sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Kriterien der Erosionsgefährdung

Hauptfaktor	Beurteilungskriterien bei Erosion durch		Beurteilungsmethoden
	Wasser	Wind	
Bodenbeschaffenheit	Korngrößenzusammensetzung		Bestimmung der Bodenart (Fingerprobe und Labormethode) Abschätzung, Labormethode für Humusgehalt Abschätzung von Verschlämmungsneigung und kf-Wert Abschätzung; ökologische Feuchtestufe zu Beginn der Vegetationszeit
	Infiltrationsrate	Bodenfeuchte an der Oberfläche	
Relief	Hangneigung Hanglänge Hangsituation	Oberflächenform Lage zur Hauptwindrichtung (Windbahnen) Flächengröße	Ermittlung aus Topkarte, Vergleich und Abschätzung im Gelände
Bodenbedeckung	Art und Verteilung der Vegetations- und Nutzungsformen		Abschätzung im Gelände (nach Tab.4)

In Anlehnung an Wischmeier, Johnson & Cross (1971) und Woodruff & Siddoway (1965) läßt sich die potentielle Erosionsgefährdung aus der Bodenbeschaffenheit und dem Relief ermitteln. Eine vereinfachte Einstufung kann bei der Bodenerosion durch Wasser aus der Bodenart und der Neigungsstufe (Tab. 2) und bei der Bodenerosion durch Wind aus der Bodenart und der ökologischen Feuchtestufe (Tab. 3) abgeleitet werden.

Tabelle 2: Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser aus Bodenart und Neigungsstufe

Bodenart	Neigungsstufe (%)					
	<2	2-3,5	3,5-9	9-18	18-36	>36
Feinstsande schluffige Sande sandige Schluffe	0	2	4	5	5	5
lehmige Schluffe tonige Schluffe	0	1	3	4	5	5
tonreiche Schluffe schlufffreie Lehme schlufffreie Tone	0	0	1	2	3	5
sonstige Bodenarten	0	0	0	1	3	5

Tabelle 3: Ermittlung der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wind aus Bodenart und ökologischer Feuchtestufe

Bodenart	ökologische Feuchtestufe				
	frisch	schwach frisch	schwach trocken	trocken	stark trocken
Feinsande Mittelsande	1	2	3	4	5
Torfe	0	1	2	3	5
Schluffe	0	0	0	1	1

Die potentielle Erosionsgefährdung entspricht etwa den Bedingungen, die bei großflächiger Ackernutzung ohne Erosionsschutz auf Brachland herrschen.

Art und Verteilung der Vegetations- und Nutzungsformen können erosionshemmend wirken (Tab. 4) und dadurch die potentielle Erosionsgefährdung verringern. Das Ergebnis ist die aktuelle Erosionsgefährdung (Tab. 5).

Je höher die aktuelle Erosionsgefährdung ist, desto eher wird das Erosionsereignis durch Schädewetterlagen ausgelöst. Diese bestehen bei der Bodenerosion durch Wasser aus Witterungsperioden mit hoher Niederschlagsintensität, bei der Boden-

erosion durch Wind aus Witterungsperioden mit hoher Evaporation und kräftigen, böigen Winden (kritische Windgeschwindigkeit: ca. 4 m/sec in 15 cm Höhe). Die Unterlagen des Deutschen Wetterdienstes liefern Hinweise auf Vorkommen und Häufigkeit dieser Schädwetterlagen.

Da erodiertes Bodenmaterial auf Flächen abgelagert werden kann, die erosionsgefährdeten Böden benachbart sind, besteht auf ihnen die Möglichkeit einer Schädigung durch Bodenauftrag sowie durch Verschütten und Beschädigen von Pflanzen. Dies wird jedoch in der potentiellen und aktuellen Erosionsgefährdung nicht erfaßt.

Tabelle 4: Einstufung der Erosionshemmung durch unterschiedliche Vegetations- und Nutzungsformen

Stufe	Art und Verteilung der Vegetations- und Nutzungsformen
2 (gering)	mittel- bis großflächige Nutzung mit weiträumigem Wechsel der Vegetations- und Nutzungsformen
3 (mittel)	mittel- bis kleinflächige Nutzung mit engräumigem Wechsel der Vegetations- und Nutzungsformen
4 (groß)	a) kleinflächige Nutzung mit sehr engräumigem Wechsel der Vegetations- und Nutzungsformen b) großflächige Nutzung als Grünland oder Wald

Tabelle 5: Ermittlung der aktuellen Erosionsgefährdung aus der potentiellen Erosionsgefährdung und der Erosionshemmung

potentielle Erosionsgefährdung	Erosionshemmung		
	2	3	4
1	1	0	0
2	1	1	0
3	2	1	1
4	3	2	1
5	4	3	2

2. Erosionsformen

Der Abtrag bei Bodenerosion durch Wasser kann flächenförmig oder rinnenförmig erfolgen. Der flächenförmige Abtrag erfaßt die Gesamtfläche mehr oder weniger gleichmäßig, während bei rinnenförmigem Abtrag Rillen, Furchen oder Gräben gebildet werden (Tab. 6). Bei Bodenerosion durch Wind sind nur selten spezifische Abtragsformen festzustellen.

Die durch Bodenerosion verursachten Einschnitte werden im Zuge landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung meist rasch wieder beseitigt.

Tabelle 6: Gliederung der Erosionsformen

Erosionsform	Tiefe
flächenförmig	ohne meßbare Einschnitte
rillenförmig	Einschnitte bis 10 cm tief
furchenförmig	Einschnitte 10 bis 25 cm tief
grabenförmig	Einschnitte über 25 cm tief

3. Erosionsgrad

Der Erosionsgrad ist ein Maß für den tatsächlichen Bodenabtrag im Laufe längerer Zeiträume. Er wird erfaßt durch die Verkürzung typischer Horizonte im Vergleich zu nicht erodierten Normalprofilen in der Umgebung (Tab. 7).

Dem Erosionsgrad, d.h. der Tiefe des Abtrages, steht die Mächtigkeit des Auftrages gegenüber. Das bei Bodenerosion durch Wasser abgetragene Material ist als Kolluvium vorwiegend am Hangfuß, in Dellen und Tälern anzutreffen, soweit es nicht fluviatil abtransportiert worden ist. Das bei Bodenerosion durch Wind abgetragene Material wird meist deckenförmig oder als Dünen abgelagert.

Tabelle 7: Ermittlung des Erosionsgrades

Erosionsgrad	oberflächlich anstehender Teil des Bodenprofils	Kennzeichnung des Bodentyps
2	Reste des Oberbodens	ursprünglicher Typ, erodiert
3	Unterboden	ursprünglicher Typ, stark erodiert
4	Untergrund	neuer Typ

4. Erosionsschaden

Der Erosionsschaden ist die Folge eines aktuellen Erosionsereignisses. Das Ausmaß des Schadens kann nur unmittelbar nach diesem Ereignis unter Berücksichtigung der Abtrags- und Auftragsflächen ermittelt werden.

Der Erosionsschaden besteht einerseits im Abtrag von Boden, Pflanzen, Saatgut und Mineraldünger, andererseits im Überdecken von Boden, Verfüllen von Gräben und Vorflutern sowie Beschädigen und Verschütten von Pflanzen.

5. Erosionsschutz

Der Erosionsschutz soll die Bodenerosion möglichst weitgehend verhindern. Diesem Ziele dienen verschiedene Maßnahmen des Acker- und Pflanzenbaues, der Kulturbau-technik und der Forstwirtschaft, die in Tabelle 8 der jeweiligen Erosionsart entsprechend zusammengefaßt sind.

Tabelle 8: Maßnahmen des Erosionsschutzes

Bereich	Bodenerosion	
	durch Wasser	durch Wind
Acker- und Pflanzenbau	Fruchtfolgen mit möglichst ständiger Bodenbedeckung Herstellung optimaler Schlaggrößen Erhaltung eines optimalen Bodengefüges Bestellungsarbeiten quer zum Gefälle	Bestellungsarbeiten quer zur Hauptwindrichtung
Kulturbau-technik	Herabsetzung des Oberflächenabflusses durch Terrassierung Wasserauffangfurchen Erhöhung der Infiltrationsrate	Verhinderung zu tiefer Grundwasserstände z.B. durch Rückstau-einrichtungen in Vorflutern
Forstwirtschaft	Anlage von Hecken oder Gehölzen an Terrassenkanten	Aufforstung Windschutzstreifen

Die meisten der vorgesehenen Maßnahmen verbessern die Art und die Verteilung der Vegetations- und Nutzungsformen. Sie führen somit zu einer Abnahme der aktuellen Erosionsgefährdung. Die potentielle Erosionsgefährdung kann z.T. durch Maßnahmen der Kulturbau-technik verringert werden.

Über die jeweils geeignete Kombination von Maßnahmen muß von Fall zu Fall entschieden werden.

Darstellung auf Bodenkarten

Prinzipiell lassen sich alle aufgeführten Aspekte der Bodenerosion auf Bodenkarten ausweisen. Für die bodenkundliche Landesaufnahme erscheint es sinnvoll zu sein, die vereinfachte Einstufung der potentiellen Erosionsgefährdung auf Bodenkarten und/oder dazugehörigen Auswertungskarten darzustellen. Spätere Untersuchungen müssen zeigen, ob eine weitergehende Benutzung der Erosionsgleichungen von Wischmeier et.al. (1971) und Woodruff & Siddoway (1965) bei der bodenkundlichen Landesaufnahme möglich und sinnvoll ist. Die potentielle Erosionsgefährdung ist die einzige bodenkundliche Beurteilungsgröße, die über längere Zeiträume konstant bleibt. Schon durch Änderungen der Fruchtfolge oder der Anbauverhältnisse wird die aktuelle Erosionsgefährdung variiert. Der Erosionsgrad geht weitgehend in die ausgewiesenen Bodeneinheiten mit ein.

Bei bodenkundlichen Spezialaufnahmen, die zur Durchführung von Erosionsschutzmaßnahmen dienen, sind alle Kriterien der Erosion mit einzubeziehen. Aus den Karten sollte hervorgehen, welche erosionshemmenden Faktoren vorhanden sind und welche Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Literatur

- NN: Kartieranleitung der Geologischen Landesämter, 2. Auflage, Hannover 1971.
- Wischmeier, W.H., Johnson, C. & Cross, B. (1971): A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. - J. Soil Water Conserv. 26/5, 189-193.
- Woodruff, N.P. & Siddoway, F.H. (1965): A wind erosion equation. - Soil Sci. Am. Proc. 29, 602-608.

Hilfsmittel der Bodenkartierung und der
landwirtschaftlichen Bodenbewertung

von

T. Harrach ⁺

Üblicherweise gewinnt der Bodenkartierer Informationen über den Boden vor allem durch die Interpretation von Bodenmerkmalen, die er in Profilaufschlüssen und Bohrkernen wahrnimmt. Solche nur punktuell möglichen Untersuchungen können mit Hilfe verschiedenartiger Hilfsmittel sinnvoll ergänzt werden. Unter Hilfsmitteln der Bodenkartierung und Bodenbewertung werden hier alle Möglichkeiten zur Beschaffung von Erkenntnissen über den Boden verstanden, die nicht aus der unmittelbaren Untersuchung des Bodenprofils gewonnen werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei einfache standortkundliche Methoden. Auf landwirtschaftlich genutzten Böden sind vor allem folgende Möglichkeiten der Informationsbeschaffung möglich:

- Folgerungen auf den Boden aus den Gesetzmäßigkeiten der Bodenbildung an Hand leichter erfaßbarer bodenbildender Faktoren
- Benutzung veröffentlichter bzw. in Archiven zugänglicher Informationen (einschl. Reichsbodenschätzung)
- Ermittlung der auf der Bodenoberfläche leicht erfaßbaren Bodeneigenschaften
- Beachten von Zeigerpflanzen, Unkrautgesellschaften, Grünlandgesellschaften
- Beobachtung der Tätigkeit bestimmter Tierarten
- Beachtung des Anbaues oder des Fehlens anspruchsvoller Kulturen (z.B. Rüben, Spargel)

⁺Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus Liebig-Universität Gießen, 6300 Gießen, Ludwigstraße 23

- Deutung der Grünland-Acker-Grenze
- Ermittlung der Erträge (Messung, flächendeckende Bonitierung oder Auskunft kundiger Landwirte)
- Ertragsanalyse.

Die Benutzung standortkundlicher Hilfsmittel dient

- zur Ergänzung und Interpretation bodenkundlicher Ergebnisse, der flächenhaften Differenzierung des Bodens und der Abgrenzung von Bodeneinheiten sowie
- dem flächenhaften Übertragen punktuell gewonnener bodenkundlicher Ergebnisse.

Bei der Bodenkartierung wird damit eine höhere Arbeitsproduktivität und eine bessere Qualität der Karten bezweckt.

Bei der landwirtschaftlichen Bodenbewertung werden Hilfsmittel besonders für folgende Detailaufgaben benötigt:

- Abgrenzung von Flächen mit gleichem Ertragspotential
- Bewertung des Ertragspotentials
- Ermittlung der ertragsbegrenzenden Bodeneigenschaften
- Erfassung von Bewirtschaftungerschwernissen (z.B. hoher Tongehalt, Steine, Vernässung, Verschlammungsneigung, erhöhter Düngerbedarf)
- Abgrenzung und Charakterisierung von meliorationsbedürftigen Flächen (Grund der Meliorationsdürftigkeit).

Bei der Bodenkartierung und Bodenbewertung werden die zu untersuchenden Flächen üblicherweise einmal systematisch untersucht. Der konsequente Einsatz von standortkundlichen Hilfsmitteln bedeutet dagegen mehrfache flächendeckende Untersuchungen. Mindestens drei Arbeitgänge seien genannt:

- Begehung der Fläche im Frühjahr zur Zeit differenzierter Abtrocknung (Untersuchung von Bodenart, Humusgehalt, Skelettanteil, Gefüge usw. im Oberboden)

- Bonitierung der Pflanzenbestände und vegetationskundliche Beobachtungen vor der Ernte
- Gezielte und beschleunigte Bodenuntersuchung mit Bohrungen und Aufgrabungen.

Da dafür aufgeschlossene Landwirte über langjährige Erfahrungen mit den Böden ihrer Gemarkung verfügen, ist es gegebenenfalls möglich, auf die ersten beiden obengenannten Arbeitsgänge zu verzichten, wenn geeignete örtliche Informanten zur Verfügung stehen.

Literatur:

- T. HARRACH: Einfache standortkundliche Methoden als Hilfsmittel der landwirtschaftlichen Bodenbewertung und Bodenkartierung. Zeitschr. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung (In Vorbereitung)

Kartierung und Bewertung von Vorlandflächen
vor der schleswig-holsteinischen Westküste
aus bodenkundlicher und ökologischer Sicht

von

Finnern, H. *

Seit einigen Jahren werden die bodenkundlichen Untersuchungen und Kartierungen für die Bodenkarten 1 : 25 000 an der Westküste Schleswig-Holsteins auch auf Flächen im Vorland ausgedehnt, auf Marschen und Watten vor den Landesschutzdeichen.

Die Kartierung im Vorland, z.T. viele Kilometer vor den Landesschutzdeichen erfolgt auf einer großen Zahl von Bodenkarten 1 : 25 000, wobei sich für die Bearbeitung nicht unerhebliche Schwierigkeiten ergeben. Arbeitsweise und Arbeitszeit richten sich entscheidend nach den Gezeiten (Ebbe und Flut). Teilweise sind flachgängige Boote erforderlich, Leuchtpistole, Leine und Funkgerät sind wichtige Hilfsmittel. Die Orientierung im Gelände ist äußerst schwierig, Priele und nicht begehbbare Flächen behindern die Arbeitsweise.

Die Kenntnis von Böden und Sedimenten ist von großer Bedeutung u.a. für:

1. Sicherung des Wattsockels gegen weiteren Abtrag
2. Sicherung der Wattenrinnen gegen weitere Verbreitung und Vertiefung (z.B. Insel Pellworm)
3. Anlage von Dämmen zur Schaffung von Stillwasserzonen und damit in relativ kurzer Zeit Gewinnung neuer Watt- und Vorlandflächen
4. Sinnvolle Abwägung von Küstenschutzmaßnahmen und Naturschutzbelangen.

1963 wurde der Generalplan Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz von Landesregierung Schleswig-Holstein beschlossen, die Fortschreibung erfolgte 1977.

Dieser Plan soll nicht nur dem Schutz der Menschen hinter den Deichen dienen, sondern als flächenhafter Küstenschutz ist er auf die Erhaltung des Watta ausgerichtet und hier setzt unsere Arbeit ein in der Erfassung der Watten.

* Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein
Postfach 5049, 2300 Kiel 21

Die Bewertung und Abgrenzung der verschiedenen Vorlandbereiche erfolgt in Absprache mit anderen Fachdisziplinen und teilweise auch nach einer vom MELF mit Zustimmung aufgenommenen Legende. Zur Beurteilung werden außer dem Boden bzw. dem Sediment Flora und Fauna zur Abgrenzung der Einheiten mit herangezogen.

Unterscheidungskriterien sind u.a.

Vegetation im Bereich der Vorlandflächen
Korngrößenzusammensetzung nach Ton, Schluff, Feinsand
Bodenartenschichtung
die bis 2 Meter unter Flur angetroffenen fossilen Böden
("untergegangene" Böden).

Die unterschiedlichen Höhenverhältnisse, wie sie in den Karten-
unterlagen vorliegen, sind hilfreich bei der Grenzziehung.

Im Einzelnen werden danach unterschieden:

1. Salzmarsch (Andel-Rotschwingelzone)

Anlandungen vor dem Landesschutzdeich (geschlossene Pflanzendecke
und beginnende Bodenbildung)

Vorlandboden aus feinsandigem Schluff, stellenweise auch schluffigem
Ton mit Wechsellagerung von feinen Sand- und Tonbändern (Sturmflut-
schichtung), kalk- und salzhaltig

Oberboden im allgemeinen ausgebildet, schwach humos, stark durch-
wurzelt und rostfleckig, feinpolyedrisches bis polyedrisches Gefüge,
Horizonteinteilung nach $A_{\tau} - G_{Oz} - G_{Rz}$ möglich

Geschlossene Pflanzendecke aus Salzrotschwingel, Salzbinse u.a. und
Andel

Gelände über MThw, Geländeoberfläche stellenweise unregelmäßig
(alte Priele, Entwässerungsgräben, Boden- und Sodenentnahmestellen)

Nur bei stärkeren Sturmfluten überspült

Grundwasserstände: um 80 cm unter Flur und tiefer

Nutzung: Schafweide, Gänseweide;

nach Bedeckung intensive landwirtschaftliche Nutzung
möglich

2. Salzmarsch (Andelzone)

Tiefer gelegener Vorlandboden mit geschlossener Pflanzendecke und geringer Bodenbildung

Vorlandboden aus feinsandigem Schluff, stellenweise auch schluffigem Ton mit Wechsellagerung von Feinsand- und Tonbändern (Sturmflutschichtung), kalk- und salzhaltig

Oberboden i. allg. nur wenige Zentimeter ausgebildet und schwach bis sehr schwach humos, durchwurzelt und rostfleckig, geringmächtiger Oxidationshorizont (G_{oz}) über hochanstehendem Reduktionshorizont (G_{rz})

Geschlossene Pflanzendecke überwiegend Andel (Andelzone) mit weiterer Salzflora von Meerstrand-Dreizack (*Triglochin maritima*), Salzwegerich (*Plantago maritima*), Löffelkraut, Salzmelde u.a., vereinzelt - besonders an tieferen Stellen - Queller (*Salicornia herbacea*)

Gelände über MThw, Geländeoberfläche stellenweise unregelmäßig (alte Priele, Entwässerungsgräben, Bodenentnahmestellen)

Bei stärkeren Fluten überspült

Grundwasserstände: um 50 cm unter Flur

Nutzung: i. allg. Schafweide;

nach Bedeichung intensive landwirtschaftliche Nutzung möglich (Acker- und Grünland)

3. Queller-Schlickgras-Zone

Vorlandfläche i. allg. mit dichtem fast vollständigem Bewuchs von überwiegend Schlickgras, Queller (*Salicornia herbacea*) und an höher aufgelandeten Bereichen Andel, in Gräben Grünalgen (Meersalat)

Wattsediment überwiegend aus tonigem und feinsandigem Schluff, kalk- und salzhaltig

Fläche im älteren Buhnenbereich, flache Überspülung, mäßig trittfest

Grundwasser: Reduktions-Horizont unter der Oberfläche

4. Schlickwatt

Im allg. vegetationsloses Wattgebiet

Vereinzelte Bestände oder Fehlen von Schlickgras und Queller, je nach Höhenlage zu MThw möglich

Bei sandigen Deckschichten weitgehend ohne Vegetation

Wattsediment aus feinsandigem tonigem Schluff, kalk- und salzhaltig

Zum Teil geringmächtige Feinsandüberdeckung und erstes Auftreten von *Arenicola marina* (Pierwurm), bei stark bindigem und tonreicherem Schlick jedoch fehlend

Deutliches Vorkommen von Schwefelwasserstoff (H_2S) ab rd. 5 cm u. GOF

Geringe Lagerungsdichte

Schlickwatt beginnt an der begrünten Außenfläche und liegt im allg. bei MThw (+ 1,5 m NN) und darunter bis + 1,0 Meter NN

Auftreten im alten Bühnenbereich und seewärts

Regelmäßig überflutet, mäßig trittfest bis nicht trittfest

5. Mischwatt (Schlick-Sand-Watt)

Im allg. vegetationsloses Wattgebiet

Vereinzeltes Vorkommen von Queller und/oder Schlickgras

Häufiger Schichtwechsel aus geringmächtigen Wattsedimenten (Feinsand, Schluff, Ton) mit einer Gesamtmächtigkeit von mehr als 30 cm und Gebiete, in denen ein kleinflächig häufiger Wechsel zwischen Schlickwatt, Sandwatt und evtl. fossilen Bodenbildungen auftritt

Mischwatt liegt unter MThw und ist meist länger überflutet

Kalk- und salzhaltig, i. allg. mäßig bis schlecht trittfest

6. Sandwatt

Vegetationsfreies Wattgebiet

Wattsediment aus schluffigem Feinsand bis Feinsand,
in Randbereichen zum Teil mit einigen Zentimetern mächtiger Über-
deckung von Schluff bis schluffigem Ton

Flächen unter MThw

Unterschiedliche Höhenlage nach Platen und Rinnen

Bei Flut regelmäßig überspült, stärkere Strömungsgeschwindigkeit
und überwiegende Anlandung von Feinsand

Kalk- und salzhaltig

Trittfest

Bei Entsalzung und Trockenfallen Gefahr von Sandverwehungen

In "untergegangenen Gebieten" werden weiterhin gesondert unterschieden:

7. Flächen mit hochanstehenden fossilen Böden oder gekappten Boden-
profilen aus schluffigem Ton bis tonigem Schluff

Gebiete teils mit einigen Zentimetern mächtiger Feinsand- oder
Schluffauflage

Häufig Auftreten von *Arenicola marina* in kleiner Spezies

Vegetationsfreies Gebiet

Flächen liegen i. allg. unter MThw

Bei Flut regelmäßig überspült

Unterschiedliche Trittfestigkeit

Daneben erfolgen vielfache Differenzierungen mit Über-, Unter- und
Zwischenlagen.

Für die Bewertung nach bodenkundlichen Kriterien sind besonders be-
deutungsvoll Bodenart und Lagerungsdichte - Trittfestigkeit -.

Bodenärtlich erfolgt eine stärkere Differenzierung im Bereich der
Sande - auch zur besseren Kenntnis der Sedimentverlagerung. - Ton und
Schluff werden geschlämmt, Sande über die DIN hinausgehend mit ameri-
kanischem Siebsatz ASTM gesiebt.

Im Feinsandbereich sind 7 Differenzierungen vorgenommen worden:

63 - 75 μ , 75 - 90 μ , 90 - 106 μ , 106 - 125 μ , 125 - 150 μ , 150 - 180 μ ,
180 - 212 μ .

Zur Zeit können wir sagen, daß z.B. die vorliegenden Sandwatten eine Maximierung der Körnung im Bereich 90 bis 180 μ aufweisen mit deutlichem Schwerpunkt wiederum zwischen 125 und 150 μ also zwischen 0,12 und 0,15 mm.

Darüberhinaus werden Flora und Fauna mit erfaßt wie z.B.: *Hydrobia ulvae* (Wattschnecke), *Mya arenaria* (Sandklaffmuschel), *Cardium edule* (Herzmuschel), *Scorbicularia plana* (Pfeffermuschel), *Lanice conchilega* (Borstenvurm), *Festuca rubra* (Roter Schwingel), *Salicornia herbacea* (Queller), Diatomen (Kieselalgen), *Zostera nana* (Zwergsee gras), *Puccinellia maritima* (Andelgras), *Spartina townsendi* (Reisgras), *Arenicola marina* (Pierwurm), *Corophium volutator* (Schlickkrebs), *Littorina littorea* (Strandschnecke), *Mytilus edulis* (Miesmuschel), sowie Pflanzenreste, Humusstreifen. Einige sind deutliche Zeiger, andere treten sowohl in dieser wie einer anderen Einheit auf, sind aber für andere Bereiche von Bedeutung, so z.B. *Zostera nana* - Zwergsee gras, daß den Wildgänsen als Nahrungsquelle dient.

Zweck der Maßnahme u.a.

1. Ausscheiden von ökologisch besonders wertvollen Flächen mit ständig hoher Nährstoffzufuhr und damit verbunden hochspezialisierte Flora und Fauna, hohe biologische Aktivität
2. Kenntnis über die Sedimentverhältnisse im Vorland

Wandel der Kulturlandschaft in ihrer Bedeutung
für die gegenwärtige und zukünftige Nutzung am
Beispiel eines Parks.

von

Friedrich, F. und Litz, N. *

1. Einleitung

In zunehmendem Maße wird die Forderung nach bodenkundlichen Arbeiten in Stadtlandschaften gestellt. Die gewonnenen Erkenntnisse werden benötigt zur Erhaltung von Landschaftsteilen oder zur Planung für unterschiedliche Nutzungsansprüche. Die angewandte Forschung stellt Daten als Entscheidungshilfen zur Verfügung (KEMPENER 1976).

2. Ziel der Untersuchung

Teilergebnisse einer solchen Bestandsaufnahme sollen hier vorgestellt werden. Im Rahmen des Versuchs, die gegenseitige Beeinflussung von dicht bebauten und begrüneten Gebieten aus klimatischer Sicht quantitativ zu erfassen. Die Abschätzung des Energiehaushaltes unterschiedlich ausgestatteter Landschaftsteile und besonders der in ihnen enthaltenen Böden ist eine Voraussetzung, um das gesteckte Ziel zu erreichen (BERTZ 1969). So müssen zum Verständnis der Interdependenzen beider Gebiete Bodenverteilungsmuster und Bodenaufbau ergründet werden, um die gemessenen Wärmehaushaltswerte entsprechend zuordnen und interpretieren zu können.

3. Vorgehensweise

3.1 Kennzeichnung der Böden

Die bodenphysikalischen Charakteristika sind hierbei von Bedeutung, da Humusgehalt, Wasserhaushalt, Dichte, Porung und Körnung einen entscheidenden Einfluß auf den Wärmehaushalt haben. Für eine Kennzeichnung der Bodeneigenschaften wurden

* Institut für Ökologie der TU Berlin, Rothenburgstr. 12,
1000 Berlin 41

Feldmethoden verwendet. Die Kenntnis der Landschaftsgeschichte ermöglicht das Verständnis des gefundenen zum Teil recht heterogenen Bodenaufbaues.

3.2 Geologische Situation

Das Gelände des Parks und seiner Umgebung gehört zum Bäketal, das den Teltow durchschneidet, eine Geschiebemergel- und Lehmplatte südlich des Warschau-Berliner Urstromtals.

Das Bäketal und in der Nähe befindliche Senken reichen bis in den Grundwasserspiegel hinein. Es sind pleistozäne Bildungen mit z.T. aufgewehtem Sand. Die potentiell-natürliche Vegetation bestand aus Eichen-Hain-Buchen-Wäldern und Wiesen. Im Bereich der holozänen Bildungen kam es in den Hohlformen zur Verlandung, ausgehend von Algenmudden bis hin zu Schilfseggentorfen.

Das Verschwinden ursprünglich vorhandener Vegetationsglieder begann mit der Umwandlung der noch naturnahen Landschaft in eine Kulturlandschaft. Historische Karten zeigen teilweise Acker- und Gartennutzung, sowie Tierhaltung.

3.3 Geschichte der Veränderungen

Einschneidende Ereignisse für die endgültige Umwandlung in eine Kulturlandschaft sind die dichte Besiedlung vor 100 Jahren und der Bau des Teltow-Kanals 1905 durch das Bäketal, dessen Sohle eingetieft wurde. Im gleichen Zuge mit einer Grundwasserspiegel-Absenkung um fast einen Meter erfolgte die Aufschüttung der Landschaftsniederungen mit Material vom Kanalaushub zur Gewinnung von Bauland. Das gesamte Gebiet des heutigen Parks ist in der geologischen Karte 1:10 000 als Aufschüttungsgebiet gekennzeichnet.

Tab.1 Grundwasserstände des untersuchten Landschaftsausschnittes nach Angaben des Wasserwirtschaftsamts Berlin (West). GEWÄSSERKUNDL. JAHRBUCH

Jahr	1900	1920	1945	1948	1960	1077
Grundwasser (m ü.NN)	35,0	33,8	33,75	34,28	33,0	32,3

Der regulierte Kanalwasserspiegel liegt im Mittel der Jahre 1971 - 1975 bei 32,25 m. Das Relief weist zwischen 32,5 m und 46 m ü. NN einen Potentialunterschied von 13,5 m auf; damit ergeben sich z.T. große Abstände zum Grundwasserspiegel. 1905 wurde das bislang landwirtschaftlich genutzte Gebiet von der Stadt erworben und 1912 als Park angelegt. Einige Teile blieben erhalten, andere wurden durch Aufschüttungen und Neupflanzungen gänzlich verändert.

3.4 Kartierung

Der etwa 16 ha große Park wurde mit 120 Bohrstockeinschlägen 2 m tief kartiert. Mit Feldmethoden nach ARBEITSGEM.F.BODENKUNDE (1971) und SCHLICHTING u. BLUME (1966) erfolgte die Aufnahme morphologischer Merkmale und bodenphysikalischer Charakteristika. Zur Kennzeichnung bodenchemischer Eigenschaften wurde die Messung des pH-Wertes aus Mischproben des A_h -Horizonts für den Oberboden, sowie aus Mischproben der C-Horizonte für den Unterboden im Labor vorgenommen.

Vier Leitprofile dienten als Vergleichsmaßstäbe für die Bohrstockeinschläge.

4. Ergebnisse

Profil 1 45,5m ü.NN; Parabraunerde aus Geschiebemergel; die scharfe Grenze zwischen A_p und A_1 deutet auf eine Ackernutzung hin, flach-mittelgründig, Gefüge: Subpolyeder. Eiskeil-Andeutung in 1m Profiltiefe, tiefreichende Tiertätigkeit. Eine leichte Rostfleckigkeit im B_t -Horizont deutet auf Pseudovergleyungsmerkmale hin, ebenso Mn-Konkretionen im unteren Profiltail, beides läßt auf zeitweiligen leichten Wasserstau schließen. Der B_t -Horizont ist oben in Auflösung begriffen, so daß eine rezente Tonverlagerung vermutet werden darf.

Profil 2 39,5m ü.NN; Pseudovergleyte Parabraunerde aus Geschiebemergel, wahrscheinlich geköpft. Gefüge plattig, durch Eisdruck wahrscheinlich verdichtet. Calcium in horizontalen Schichten ausgefällt. Deutliche Rostfleckung im C-Horizont. Die Pseudovergleyung ist Folge der dichten Lagerung des Geschiebemergels. Bleichung wahrscheinlich durch Hangzugwasser.

Profil 3 36,8m ü.NN; Rosterde bis vergleyte Rosterde aus Colluvium über Niedermoor, zugeschüttetes Toteisloch. Bodenart: Fein- bis Mittelsand mit Lehmflecken. Das Material stammt aus Kanalaushub; die über 70 Jahre seit 1905 ließen eine Bodenentwicklung sichtbar werden. Konkretionen als Merkmal für zeitweilig höheres Grundwasser sind vorhanden. Die Rostgleydynamik ist nach der Absenkung des Grundwasserspiegels nicht mehr rezent. Der Boden ist tiefgründig durchwurzelbar.

Profil 4 33,5m ü. NN; Niedermoor mit z.T. lehmiger Aufschüttung. Toteis hat einen Tümpel eingetieft, der später verlandete. Die starke jährliche Grundwasserschwankung verhindert Bleichzonen. Der Boden ist physiologisch flachgründig.

Die Humusform ist auf allen Böden Mull; die jährliche Streuentfernung läßt keine bodentypkonformen Humusformen entstehen.

In Abb. 1 ist das Bodenverteilungsmuster dargestellt. Der größte Flächenanteil wird von Parabraunerde eingenommen. Die Vergesellschaftung der Bodentypen, die relief grundwasser- und substratabhängig entstanden sind, entspricht nicht mehr den natürlichen Verhältnissen: Die Kuppen- und Hangprofile P 1 und P 2 zeigen an ihren Oberflächen Störungen, die aus der Gestaltung der Parklandschaft mit Erdbewegungen zu erklären sind.

Der zwischen den Teichen in Ost-West-Richtung verlaufende Streifen enthält Rosterden und vergleyte Rosterden aus Aufschüttungsmaterial, die in ihrer Entwicklung und Dynamik der Grundwasserspiegelschwankung gefolgt sind.

P 3 in ebener Lage war zunächst im Grundwasserbereich und hatte eine Gleydynamik; Fe- und Mn-Konkretionen sind charakteristische Merkmale, die übereinander in dem Gemisch aus Fein- und Mittelsand mit Lehmklumpen gefunden werden. Über einem Niedermoor hat sich aus der 1,5m starken Aufschüttung eine vergleyte Rosterde gebildet.

Das starke Absenken des Grundwasserspiegels besonders nach 1948 (siehe Tab.1) hat eine erneute Änderung der Dynamik be-

wirkt. Die Entwicklung zur podsoligen Variante ist wahrscheinlich.

P 4 in der Mulde ist durch schwache Aufschüttung gekennzeichnet, die zur Gasansaat dienten. In der verbliebenen Hohlform reicht nach niederschlagsreichen Wintern das Grundwasser kurzzeitig bis zur Oberfläche.

Die abgeleitete Karte der pH-Werte der Ober- und Unterböden (Abb.2) läßt teilweise noch die alte Oberfläche erkennen. Aufschüttungen aus Bauschutt im Bereich der Teichränder und z.T. in Senken sorgen für ungewöhnlich hohe pH-Werte im Oberboden. Die Bodentypenkarte und die pH-Werte im Oberboden zeigen an vielen Stellen jeder normalen Bodenentwicklung widersprechende Ergebnisse.

5. Folgerungen

Durch die Veränderung der Landschaftsgestalt und Landschaftsinhalte sind sowohl die physikalischen wie auch die chemischen Eigenschaften der Böden stark verändert worden. Abtragungen (Planierung) und Aufschüttungen mit Fremdmaterial verändern die Standortbedingungen oft sehr nachteiligt.

Erstaunlich ist die relativ schnelle Reaktion des Solums auf Veränderungen: Am Beispiel des P 3 konnte gezeigt werden, daß eine Bodenentwicklung nach 40 Jahren bereits alle typischen Merkmale einer Gleydynamik aufweist. Nach der drastischen Grundwassersenkung ab 1948 (Tab.1) kommt die Gleydynamik zum Erliegen. Eine Weiterentwicklung dieses Bodens in Richtung auf eine beginnende Podsolierung kommt durch die Bezeichnung "Rosterde" zum Ausdruck. Der Streuentzug durch Abtransport wirkt in die gleiche Richtung, da der natürliche Stoffkreislauf unterbrochen wird.

Bei P 4 ist der Fund von ziemlich reinen Sphagnum-Torfen über einer Algenmulde überraschend: Eine Verlandung im Zuge der vermuteten Niedermoorbildung ist mit eutrophen Verhältnissen gekoppelt; für Sphagnum allerdings müssen oligotrophe Standortbedingungen vorausgesetzt werden. An der Klärung dieses Widerspruchs wird gearbeitet.

Die Kanalrinne trägt offensichtlich zur Entwässerung der Landschaft bei, ersichtlich an der asymptotischen Annäherung der Grundwasserlinien an den Kanal. Damit ändert sich auch der Energiehaushalt der grundwassernahen Böden. Die stärkere Erwärmung des Oberbodens führt dazu, daß Wasser zum begrenzenden Wuchsfaktor wegen einer starken Verdunstung wird.

Die Erfassung der morphologischen Bodenmerkmale genügt nicht für eine brauchbare Erklärung der gefundenen Standortbedingungen. Die jüngst durchlaufene wie zukünftige Entwicklung der Böden kann unter Zuhilfnahme von Hemerobiestufen besser beschrieben werden, wie BLUME u. SÜKOPP (1976) sie entwickelten.

Die Mängel in der anthropogen entstandenen Kulturlandschaft können nur durch kostspielige Pflegemaßnahmen ausgeglichen werden. Die Landschaft wird in Richtung auf euhemerobe Verhältnisse entwickelt und somit in einem labilen ökologischen Gleichgewicht gehalten werden.

Quellenangaben

- BERTZ, G.: Untersuchungen zum Wärmehaushalt der Erdoberfläche
Müchener Universitätsschriften, Wiss. Mitt. Nr. 16 (1969)
- BLUME, H. P. und SÜKOPP, H.: Ökologische Bedeutung anthropogener
Bodenveränderungen. Schr. Reihe f. Vegetationskunde
Heft 10, Bonn Bad-Godesberg (1976)
- KEMPENER, S.: Contribution à l'étude de l'écosystème urbain
Bruxelois, Université de Bruxelles (1976)
- RUNGE, M.: Westberliner Böden anthropogener Litho- oder Pedogene-
nese, Diss. TU Berlin (1975)
- DER SENATOR FÜR BAU- UND WOHNUNGSWESEN: Geologische Karte
1:10 00 mit Erläuterungen (1968)
- DER SENATOR FÜR WIRTSCHAFT: Gewässerkundliches Jahrbuch
(1920 bis 1977)

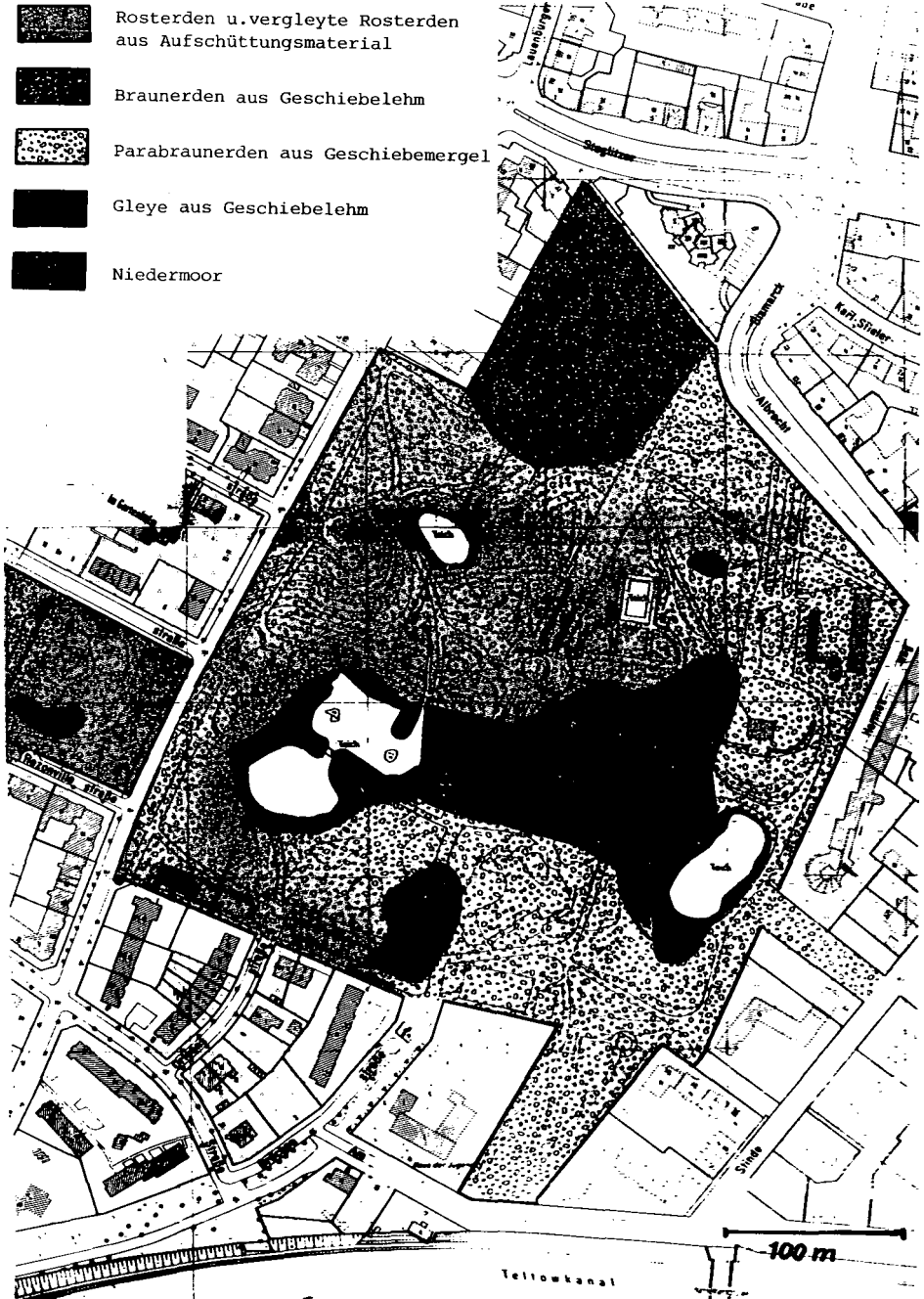
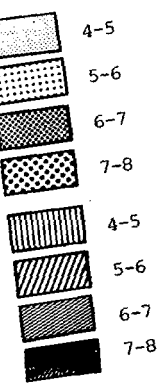


Abb.1 : Karte der Vergesellschaftung von Böden in einer Kulturlandschaft am Beispiel eines Parks.



pH-Werte
des Unterbodens

pH-Werte
des Oberbodens

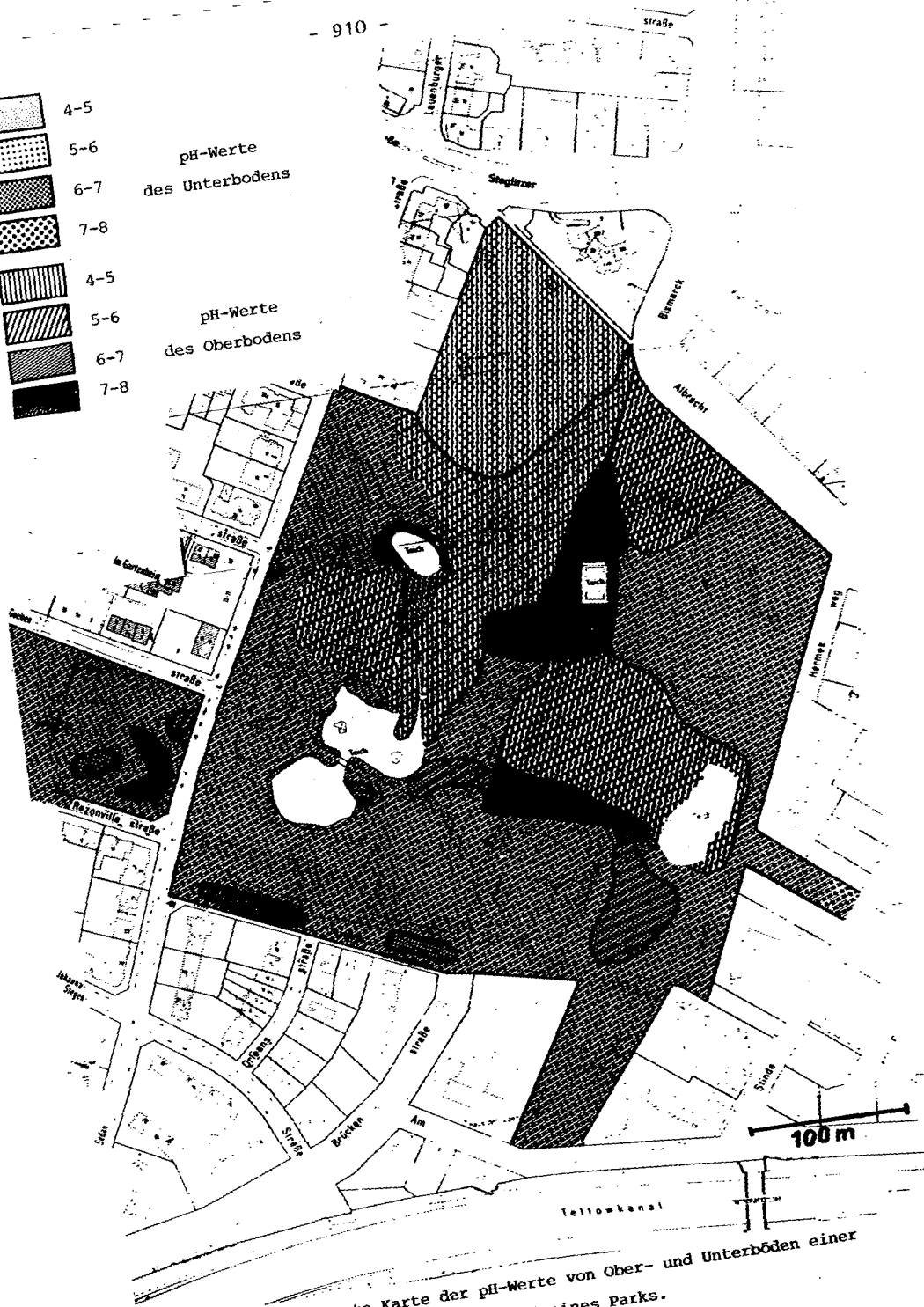


Abb.2 : Abgeleitete Karte der pH-Werte von Ober- und Unterböden einer Kulturlandschaft am Beispiel eines Parks.

Bodenbildungen des Eem-Interglazials in saalezeitlichen Geschiebelehmen Schleswig-Holsteins

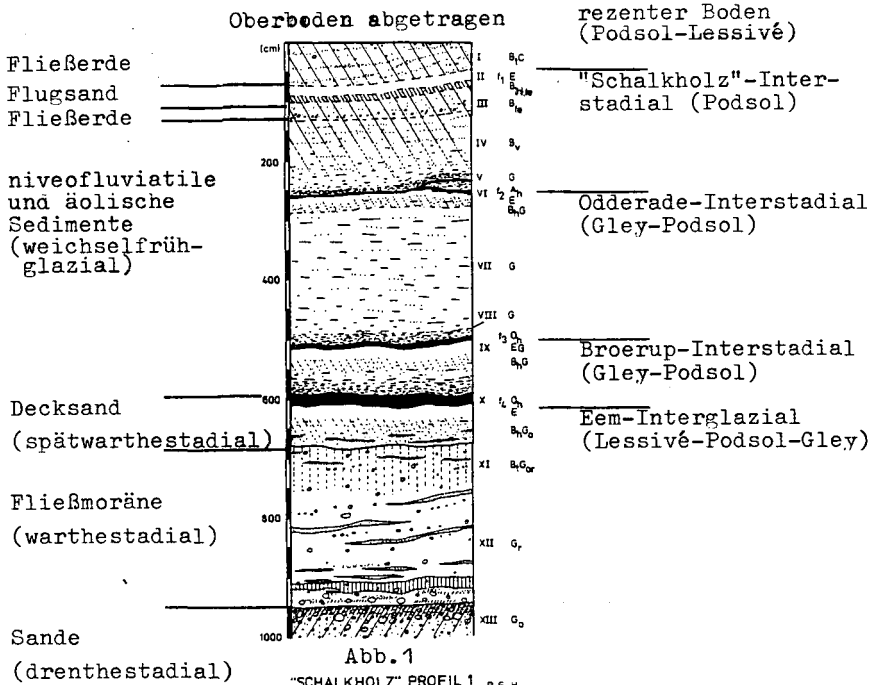
von

Felix-Henningsen, P.[†]

Paläopedologische Untersuchungen in Schleswig-Holstein sollten u.a. die Frage klären, zu welchen Merkmalen die Bodenentwicklung während des Eem-Interglazials in saalezeitlichen Geschiebelehmen führte und in welchem Maße sie als reliktsche Merkmale in der Morphologie der heutigen Böden noch enthalten sind. Die Untersuchungen fanden im Altmoränengebiet Schleswig-Holsteins und Süd-Dänemarks statt, wo saalezeitliche Geschiebelehme verbreitet auftreten.

Ein fossiler Eemboden in Warthe-Geschiebelem, der in einer Sandgrube bei Schalkholz (Dithmarschen) aufgeschlossen ist, eignete sich besonders gut für die Untersuchung der Eem-interglazialen Bodenentwicklung - vor allem, da bereits Ergebnisse pollenanalytischer Untersuchungen des Profils von MENKE (1976) zur Verfügung standen und mit den paläopedologischen Befunden kombiniert gedeutet werden konnten. Der Boden ist an der Basis einer fossilen Hohlform (\emptyset 80 m) in einer steinigen, geschichteten Fließmoräne und einer sie überlagernden spätwarthestadialen, schluffigen Flugsanddecke ausgebildet. Die Hohlform wurde im Weichselfrühglazial mit niveofluviatilen und äolischen Sedimenten aufgefüllt. In diesen treten oberhalb des Eembodens noch drei weitere geringmächtige Podsole auf, die dem Broerup-, Odderade- und "Schalkholz"-Interstadial zugerechnet werden (s. Abb.1; vgl. MENKE, 1976). Der Eemboden schließt nach oben mit einem bis 30 cm mächtigen Wald-Auflagehumus ab, dessen ungestörtes Pollenspektrum n. MENKE (1976) den größten Teil des Eem-Interglazials repräsentiert und ein autochthones Bodenprofil belegt. Makromorphologisch treten im oberen Profilteil die Merkmale eines kräftigen Podsols auf, dessen verwaschene Farben und Horizontgrenzen eine Überprägung durch Vergleyung anzeigen. In dem grauen

[†]Geologisches Landesamt, 2300 Kiel, Mercatorstr. 7



Geschiebelehm nimmt die Rostfleckigkeit zur ehemaligen Oberfläche hin zu und kennzeichnet ebenfalls als G_{or} -Horizont angesprochen einen Grundwasserboden.

Mikromorphologisch treten im oberen Bereich des Geschiebelehms Merkmale einer intensiven Tonanreicherung hervor, daneben mit Oxidsäumen in einer zweiten Poreneneration Merkmale der Vergeleyung.

Aus diesen Merkmalen läßt sich im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Pollenanalyse (n. MENKE, 1976) folgende Entwicklungsgeschichte des Eembodens rekonstruieren:

Nach anfänglicher Entkalkung und Verbraunung der Sedimente kam es vor allem vor und während des eemzeitlichen Klimaoptimums, der Hasel- und der Lindenzeit, zur Tonverlagerung aus der sandlößartigen Deckschicht in den oberen Teil des Geschiebelehms.

Kräftige Feintonbeläge und z.T. vollständige Leitbahnausfüllungen zeigen einen Prozeß hoher Intensität an. MENKE (1976) charakterisiert die Pflanzenstandorte während dieser Zeit als eu- bis mesotroph, bei warmen Sommern und milden Wintern. Bereits frühzeitig ist mit Staunässe zu rechnen; nach MENKE war dieser

Standort bereits von der Lindenzeit an recht feucht, doch nicht so naß, daß sich ein echter Bruchwaldtorf bilden konnte.

Die Staunässe wurde durch die Muldenposition infolge seitlichen Hangwasserzuzugs, durch primäre Tonschichten im Untergrund und durch die pedogene Tonanreicherung begünstigt.

In der auf die Lindenzeit folgenden Hainbuchenzeit setzte die Nährstoffverarmung und Versauerung der Standorte, wie hier, so auch im allgemeinen in Schleswig-Holstein, in starkem Maße ein, so daß mit abnehmender Intensität der Tonverlagerung und dem Einsetzen der Podsolierung gerechnet werden kann. Sie dominierte seit dem Ende der Hainbuchenzeit, als sich bei abnehmenden Sommertemperaturen rohhumusliefernde Nadelhölzer und Heidekraut ausbreiteten. Die gegen Ende des Interglazials zunehmende Humidität des Klimas hat bei abnehmenden Sommertemperaturen und noch relativ milden Wintern dazu geführt, daß die Staunässe in ein lokales, an die Hohlform gebundenes Grundwasser übergang, welches dann die gesamte Bodenbildung überprägte.

So wie nach WENKE (1970, 1976) Pollenanalysen von verschiedenen Orten Schleswig-Holsteins eine übereinstimmende Vegetationsentwicklung im Eem-Interglazial aufzeigen, spiegeln auch zahlreiche Paläoböden die Entwicklungsfolge des Schalkholzer Eembodens wider. Offenbar verlief die allgemeine Richtung der Bodenentwicklung auf Geschiebelehm polygenetisch über die Stufen Lessivé und Lessivé-Pseudogley zum Pseudogley-Podsol.

Eine damit übereinstimmende Entwicklungsrichtung zeichnet sich ebenfalls bei Böden auf weichselzeitlichen Geschiebemergeln ab. Hier ist der charakteristische Bodentyp ein m.o.w. stark pseudo-vergleyter Lessivé mit bereits schwacher Podsolierung des Oberbodens. Die Ursachen für die Übereinstimmung der Entwicklungsrichtungen liegen in dem ähnlichen Ausgangsmaterial (Geschiebemergel) und nach Ergebnissen der Pollenanalysen in einer ähnlichen Faktorenkonstellation von Eem-Interglazial und Holozän hinsichtlich Klimaverlauf und Vegetationsentwicklung.

Am Emmerlev Kliff, das im südlichen Dänemark an der Westküste eine Warthe-Grundmoräne anschneidet, sind die Böden als Zweischichtprofile ausgebildet, da der Geschiebelehm von 60 - 80 cm Geschiebedecksand überlagert wird. Letzterer entstand an dieser Stelle im Weichselperiglazial vorwiegend aus kryoturbar und solifluidal umgelagerten, an Ton verarmten Oberbodenhorizonten der eemzeitlichen Bodenbildung. Wenngleich damit auch kein autoch-

thoner, reliktscher A_1 -Horizont vorliegt, steckt doch der Verwitterungseinfluß des Eem-Interglazials im Substrat. Als Bodentyp ist ein kräftiger Lessivé-Pseudogley mit recht intensiver Podsolierung des sandigen Oberbodens vorherrschend, der stellenweise auch als Podsol-Pseudogley anzusprechen ist. Im Geschiebedecksand überwiegen holozän gebildete Merkmale der Tonverlagerung, Podsolierung und Pseudovergleyung, da hier die Wirkung der exogenen rezenter Faktoren am intensivsten ist und reliktsche Merkmale größtenteils durch die periglaziale Umlagerung zerstört wurden. Der Geschiebedecksand enthält zudem umgelagerte Bodenrelikte des liegenden Geschiebelehms, die reliktsche Merkmale der Tonverlagerung und Pseudovergleyung zeigen. Im Geschiebelehm sind die relativ stabilen Tonverlagerungsmerkmale überwiegend reliktscher Natur und stammen aus dem Eem-Interglazial. Mikromorphologisch zeigen sie sich mechanisch stark gestört, was sehr wahrscheinlich auf die kryogenen Einwirkungen im Periglazial zurückgeht. Dagegen sind die relativ labilen Staunässemerkmale sowohl reliktscher als auch rezenter Natur. Die Merkmale im Geschiebelehm und Geschiebedecksand am Emmerlev Kliff zeigen, daß der eemzeitliche Reliktboden im Holozän in gleiche genetische Richtung weiterentwickelt wurde. Gegenüber Böden auf Weichsel-Geschiebemergel ist die Verwitterungstiefe bei vergleichbaren Karbonatgehalten und ähnlicher Korngrößenzusammensetzung des Geschiebemergels deutlich größer, worin der längere Verwitterungszeitraum und die Summierung der während des Eem-Interglazials, der Weichsel-Interstadiale und des Holozäns einwirkenden Faktoren und Prozesse zum Ausdruck kommt. Die Verwitterungstiefe bewegt sich hier aber noch in einem Bereich zwischen 1,5 und 3 Metern.

Im Gegensatz dazu ist der Drenthe-Geschiebemergel des Roten Kliffs auf Sylt meist über 10 Meter tief verwittert. Als mächtige fossile und reliktsche Bodenbildung ist auf über 2 km Klifflänge ein charakteristischer, 2 - 4 Meter mächtiger, hellgrauer Bleichhorizont oberhalb eines ebensomächtigen, rotbraunen Oxidanreicherungshorizontes im Geschiebelehm ausgebildet (s. FELIX-HENNINGSSEN, 1979, a, b). Diese tiefgründige Verwitterung der Drenthe-Moräne und die Bildung des "Bleichlehms" durch Prozesse der Naßbleichung und Podsolierung, entstand bereits in einer intra-saalezeitlichen Verwitterungsperiode vor dem Eem-

Interglazial, der "Treene-Wärmzeit" n. PICARD (1960) und STREMMER (1960). Der Bleichhorizont des "Treenebodens" wird von einem bis zu 5 Meter mächtigen, braunen Geschiebelehm eines Gletschervorstoßes der Warthe-Vereisung überdeckt. In diesem oberen Geschiebelehm ist der im Periglazial der Weichsel-Eiszeit durch Kryoturbation, Kerkoboloide, Frostspalten und Eiskeile gestörte, kräftige SB_t-Horizont als reliktsche Bodenbildung des Eem-Interglazials zu deuten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß während des Eem-Interglazials in saalezeitlichen Geschiebelehmen sekundäre Lessivé-Pseudogleye mit einer m.o.w. intensiven Podsolierung des Oberbodens entstanden. Nach periglazialer Umgestaltung während der Weichsel-Eiszeit wurden die Reliktböden im Holozän infolge einer mit dem Eem-Interglazial vergleichbaren Faktorenkonstellation in gleiche genetische Richtung weiterentwickelt. Im Holozän setzte sich die Lessivierung zunächst fort, trat dann jedoch hinter den dominierenden Prozessen der Pseudovergleyung und Podsolierung zurück.

Literatur:

- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1979, a): Merkmale, Genese und Stratigraphie fossiler und reliktscher Bodenbildungen in saalezeitlichen Geschiebelehmen Schleswig-Holsteins und Süd-Dänemarks. - Diss., Kiel.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1979, b): Genese und Stratigraphie mächtiger Paläoböden in der Drenthe-Moräne des Roten Kliffs von Sylt. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 33, 223 - 231, Berlin, Stuttgart.
- MENKE, B. (1970): Ergebnisse der Pollenanalyse zur Pleistozän-stratigraphie und zur Pliozän-Pleistozän-Grenze in Schleswig-Holstein. - Eiszeit. u. Gegenw., 21, 5 - 21, Öhringen.
- MENKE, B. (1976): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Landschaftsentwicklung im Jungpleistozän Westholsteins. - Eiszeit. u. Gegenw., 27, 53 - 68, Öhringen.
- PICARD, K. (1960): Zur Untergliederung der Saalevereisung im Westen Schleswig-Holsteins. - Z. Deutsch. Geol. Ges., 112, 316 - 325, Hannover.
- STREMMER, H. E. (1960): Bodenbildungen auf Geschiebelehmen verschiedenen Alters in Schleswig-Holstein. - Z. Dtsch. Geol. Ges., 112, 299 - 308, Hannover.

P-Dynamik in Böden während der Verrieselung von
Siedlungsabwässern

von

F. Alaily⁺

Die Abwässer der Stadt Berlin werden seit über 70 Jahren größtenteils für die Berieselung von Acker und Grünlandfeldern benutzt. Die Böden solcher Felder wurden u.a. nach ihrer Phosphordynamik untersucht. Die Untersuchungen wurden an zwei repräsentativen Standorten durchgeführt: einer aus Geschiebesand-Braunerde (Be) mit pH-Werten zwischen 5-6 und einer aus Geschiebemergel-Parabraunerde (Pb) mit pH-Werten zwischen 5-7, wobei die höheren pH-Werte in tieferen Horizonten zu finden sind.

Im Vergleich zu äquivalenten Wald-Böden zeigen die untersuchten Böden P-Anreicherungen in A_p -, B_t - und C-Horizonten (s. Abb. 1).

In beiden Rieselfeldstandorten wurden während der Berieselung und einige Tage danach die Redox- und Wasserspannungen in den Boden-Horizonten im Feld gemessen. Parallel zu diesen Messungen wurde das Bodensickerwasser mit einem Vakuum von 0.8 Bar aus keramischen Saugkerzen (CZERATZKI, 1971) abgesaugt und auf seinen P-Gehalt untersucht.

Die Ergebnisse zeigten, daß der P-Gehalt in der Bodenlösung (1) während der Berieselung keine Beziehung zu Redox-Werten (niedrigster Wert bei 0 mV) hat, (2) in allen Horizonten (mit Ausnahme des C-Horizonts der Pb) der jeweiligen Böden ähnlich ist (s. Abb. 2), (3) bei der Parabraunerde bzw. in dem A_p -Horizont der Braunerde ein Tag bzw. zwei Tage nach der Berieselung abnimmt, (4) ab Mitte des dritten Tages in der Parabraunerde mit zunehmender Bodenaustrocknung bzw. -wasserspannung wieder zunimmt. Bei der Braunerde könnte keine Bodenlösung bei solchen

⁺ Inst. f. Ökologie -Bodenkunde-, Englerallee 19/21, 1000 Berlin 33

Wasserspannungen gewonnen werden. Die Änderungen der P-Konzentrationen in der Bodenlösung im Laufe der Zeit und ihre Abhängigkeit von der Spannungskraft des Wassers bzw. von der Größe der Poren im Boden wurden im Labor untersucht. Dafür wurden Bodenlösungen aus verschiedenen Porengrößen bei feldfeuchten Proben (a) sowie bei Proben, die 1 Stunde (b), 2 Tage (c) bzw. 3 Tage (d) mit 10 mg/l P-haltiger Lösung gesättigt wurden, gewonnen. Die Gewinnung der Bodenlösungen geschah bei 20°C durch Zentrifugation nach der Formel (s. RUSSELL & RICHARDS, 1938, HORN, 1977):

$$\psi = \frac{W^2}{2} (r_2^2 - r_1^2) \text{ (erg/g)} \quad (1 \text{ erg/g} = 1.02 \cdot 10^{-3} \text{ cm WS})$$

Wobei: W = die Winkelgeschwindigkeit, r_1 und r_2 = der Abstand der freien Wasseroberfläche bzw. der mittlere Abstand des zu untersuchenden Materials von der Rotationsachse.

Beginnend mit den Grobporen wurden die Porenlösungen nacheinander gewonnen. Die Zentrifugationsdauer für jede Porenlösung betrug 5 st.

Abb.3 zeigt, daß (1) der P-Gehalt der Bodenlösung der (a)- und (d)-Proben mit zunehmender Wasserspannung bzw. abnehmendem Porendurchmesser zunimmt, (2) die Abnahme von Phosphor in den Grobporen nach Sättigung der Bodenprobe mit P-haltiger Lösung sich über mehrere Tage erstreckt (vgl. b-, c- und d-Behandlungen). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, daß die P-Ausfällung bei den karbonatfreien Proben langsamer geschieht als die Versickerungsrate vom Wasser in den Grobporen. Somit können die Abwässer mit unveränderten Phosphorkonzentrationen in größeren Bodentiefen während der Berieselung versickern. In den folgenden Tagen entleeren sich die Grobporen, während in den feineren Poren der P weiter ausfällt, wobei die Fähigkeit P auszufällen mit abnehmender Porengröße abnimmt.

Literatur:

- CZERATZKI, W. (1971): Eine Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. *Landbauforschung Völkenrode* 21(1), 13-14.
- HORN, R. (1977): Wasserspannungskurven verschiedener im Landschaftsbau verwendeter Baustoffe. *Rasen-Grünflächen-Begrünungen* 8, 55-56.
- RUSSEL, M.B. and L.A. RICHARDS (1938): The determination of soil moisture energy relations by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3, 65-69.

Abb. 1:

P-Gehalte von
Wald- und Rieselfeld-
Böden

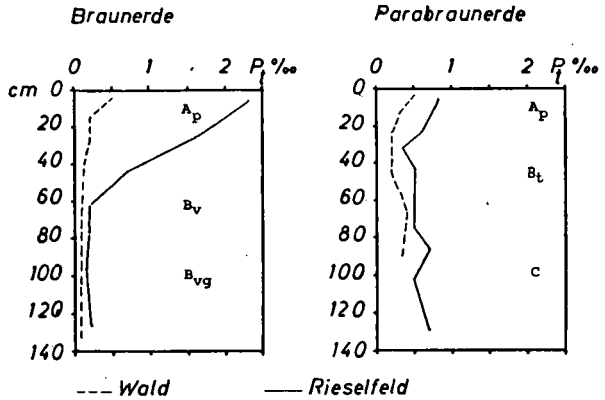
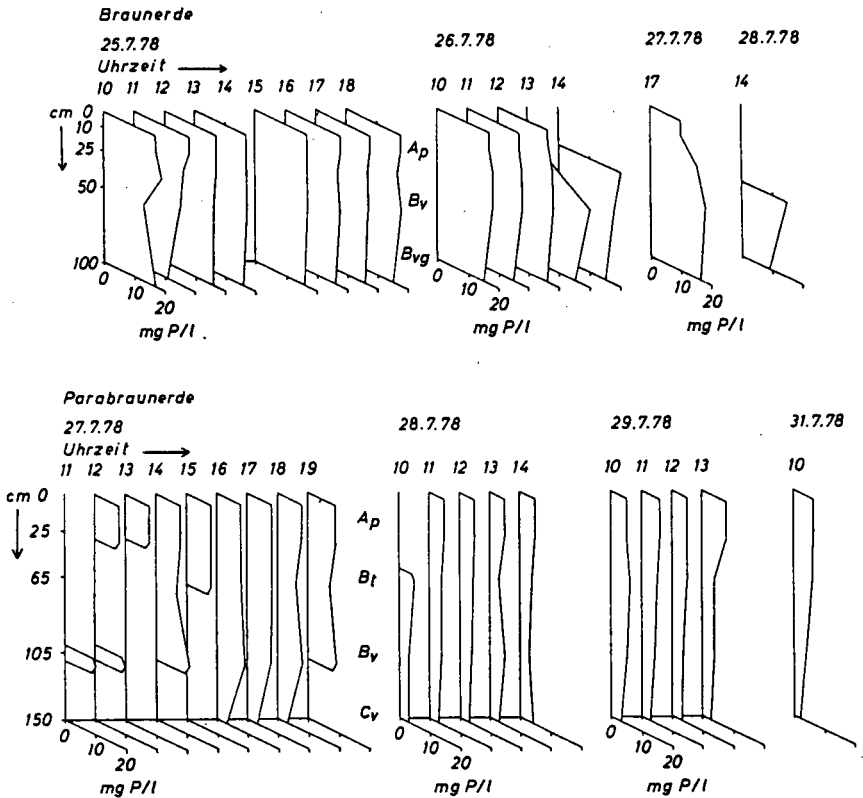


Abb. 2: P-Gehalte der gewonnenen Bodenlösungen aus den untersuchten Böden während ihrer Berieselung und einige Tage danach.



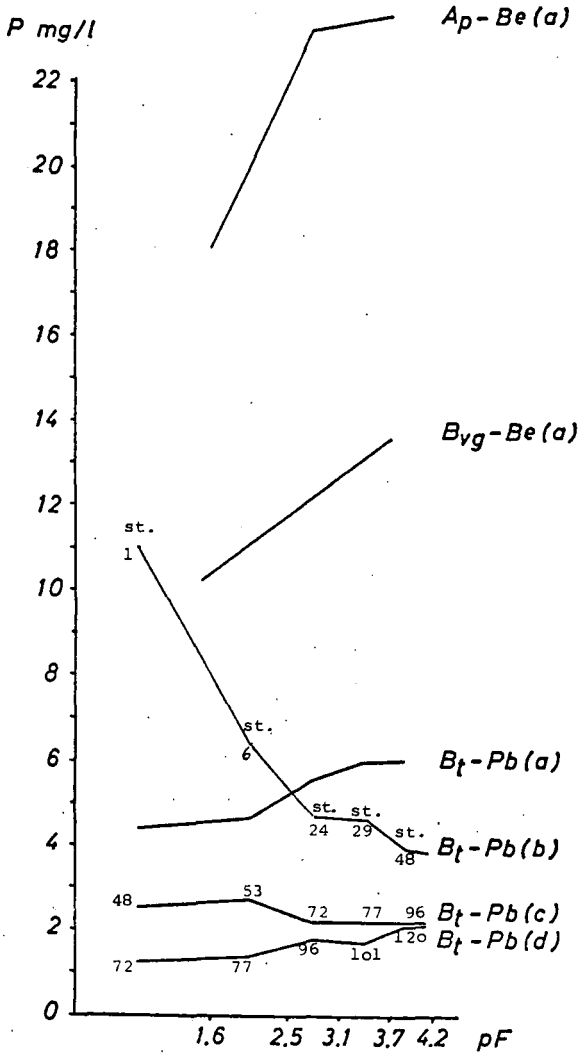


Abb. 3: P-Verteilung in Bodenlösungen aus:
(a) Feldfeuchteproben,
(b), (c) und (d) Proben, die mit
P-haltiger Lösung gesättigt sind und
nach der angegebenen Zeitdauer (i.Stunden =
st.) gewonnen wurden.

ISSN-0343-107X

Untersuchungen zur Abwasserentphosphatung durch
Einsatz von Kalk und zur landbaulichen Verwertung
der durch Kammerfilterpresse entwässerten Fällungsschlämme

von Klages, F. W. +)

1. Einführung

Obwohl die Abwasserentphosphatung in technischer Hinsicht als gelöst gelten kann, stehen ihrer allgemeinen Einführung, vornehmlich wohl aus Kostengründen, noch immer erhebliche Hindernisse im Wege. Demgegenüber scheint sich die mechanische Klärschlammwässerung zur Lösung des Problems der Klärschlammbe-seitigung in immer stärkerem Maße durchzusetzen.

Der abwassertechnische Teil der hier referierenden Untersuchungen befaßt sich mit der Fragestellung, inwieweit die Abwasserentphosphatung durch Einsatz von Kalk im Wege der Vorfällung mit der Klärschlammwässerung in Kammerfilterpressen kombinierbar ist und in welchem Umfang dieses Verfahrenskombination den Aufwand an Kalk für die Konditionierung der anfallenden Schlämme zu reduzieren vermag.

Die Untersuchungen zur landbaulichen Verwertung der Fällungsschlämme umfassen Gefäß- und Feldversuche zur Verwertbarkeit der Nährstoffe Phosphat und Stickstoff und zum physiologischen Verhalten der Schwermetalle. Substrate für diese Untersuchungen sind Löß-Parabraunerde und Sandbraunerde.

Hier soll nur über die in Gefäßversuchen ermittelte Verwertbarkeit der Nährstoffe Stickstoff und Phosphat berichtet werden.

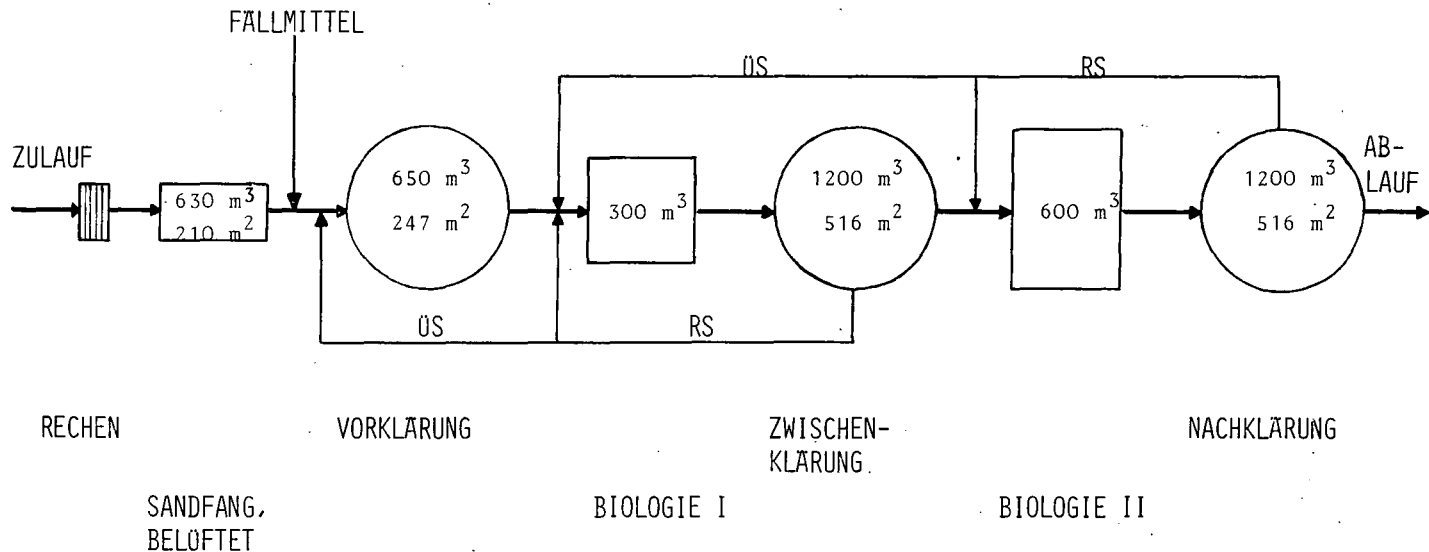
2. Untersuchungen zur Abwasserentphosphatung

2.1 Beschreibung der Anlage

Die Versuche fanden in der Kläranlage Northeim (Han) statt. Diese Anlage besitzt eine zweistufige Belebungsanlage und ist für 30.000 EGW ausgelegt, ihr fließen derzeit täglich etwa 7.000 m³ Abwasser zu. Die anfallenden Klärschlämme etwa 35 - 40 m³/d werden nach Ausfäulung in einer Kammerfilterpresse entwässert und der landbaulichen Verwertung

+) Institut für Bodenkunde,
von-Siebold-Straße 4, D 3400 Göttingen

ABB. 1: FLIESS - SCHEMA DER KLÄRANLAGE NORTHEIM



überlassen. Die applizierte Kalkmilch wurde der auf der Anlage vorhandenen Kalkmilchbereitungsanlage entnommen und mittels Excenterschneckenpumpe zur (60 m entfernten) Dosierstelle gefördert. Die Dosierung erfolgte pH-gesteuert (pH-Meßsonde/PI-Regler/Stellmotor/Perfektionshahn), die Einmischung der Kalkhydrat-Suspension ins Abwasser übernahm eine mit 88 Upm rotierende Stabwalze (\emptyset 50 cm) (Antrieb: Getriebemotor 2.6/4.4. KW bei 88/169 Upm).

2.2 Versuchsreihen und Ergebnisse

Die Versuche zur Abwasserentphosphatung umfaßten 4 Versuchsreihen und einen Nullversuch (Tab. 1.)

Über den erzielten Wirkungsgrad der Abwasserentphosphatung gibt die Tabelle 2 Auskunft.

Gegenüber den organischen Belastungskomponenten des Abwassers BSB_5 und CSB wurde keine Steigerung des Wirkungsgrades erzielt.

3. Untersuchungen zur Klärschlamm entwässerung

Die Abwasserkalkung führt zu einem Mehranfall an Schlamm-TS in Höhe von etwa 66 %. Die Bereinigung um den enthaltenen Anteil an Kalkhydrat ergibt einen "realen" Mehranfall an Schlamm-TS von etwa 33 %.

Der Konditionierungsaufwand für die Schlamm entwässerung geht auf ein Viertel der unter Normalbedingungen benötigten Menge an Kalkhydrat zurück, von etwa 40 kg Hydrat/100 kg Schlamm-TS auf etwa 10 kg Hydrat/100 kg Schlamm-TS.

Für die Filterleistung der Kammerfilterpresse wurden folgende Werte ermittelt:

Normalbetrieb,	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}$	2.43	SX = 0.43
Abwasserkalkung,	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}$	3.88	SX = 1.15

Die Bilanzierung des Kalkeinsatzes ergibt, daß der Kalkverbrauch bei Abwasserkalkung um 20 - 25 % über dem Kalkverbrauch bei Normalbetrieb liegt.

4. Untersuchungen zur landbaulichen Verwertung der erzeugten Fällungsschlämme

Die anfallenden und auf ihre landbauliche Verwertbarkeit zu prüfenden Fällungsschlämme enthalten etwa folgende

Tab. 1: Versuchsreihen und Betriebsparameter

- Versuchsreihe 1: Aufkalkungs-pH 8,8
Konzentration der Hydrat-Suspension 5 - 6 %
- Versuchsreihe 2: Aufkalkungs-pH 9,0
Konzentration der Hydrat-Suspension 5 - 6 %
- Versuchsreihe 3: Aufkalkungs-pH 8,8
Konzentration der Hydrat-Suspension 12 - 15 %
- Versuchsreihe 4: Aufkalkungs-pH 9,0
Konzentration der Hydrat-Suspension 12 - 15 %

Betriebsparameter der Anlage während der Versuche:			
Betriebsparameter		Dimension	
Abwassermenge		m^3/d	7060
Vorklärung	Q_f	m/h	1,19
Vorklärung	Q_r	$m^3/m^3 \cdot h$	0,45
Vorklärung	B_f	$kg/m^2 \cdot h$	0,45
Nachklärung	Q_f	m/h	0,55
Nachklärung	Q_r	$m^3/m^3 \cdot h$	0,24
Nachklärung	B_f	$kg/m^2 \cdot h$	0,88
Belebung	I_{sv}	ml/g	1. Stufe 83 2. Stufe 195
Belebung	TS	g/l	1. Stufe 1,0 2. Stufe 1,6
Belebung	B_{ts} (BSB ₅)	kg/kg · d	0,97
Belebung	B_{ts} (CSB)	kg/kg · d	2,18
Belebung	B_{ots} (BSB ₅)	kg/kg · d	5,29
Belebung	B_{ots} (CSB)	kg/kg · d	11,8

Nährstoffmengen je t entwässertem Schlamm

250 kg org. Substanz

55 kg CaCO_3

28 kg P_2O_5 (85 - 90 % Zitronens.-lösl.)

7,5 kg N

Bei der Anlage der Gefäßversuche wurde versucht, der besonderen Nährstoffkombination in den Klärschlämmen Rechnung zu tragen. Die Bemessung der Klärschlammangaben orientierte sich an Nährstoff Stickstoff, dem eine Verwertbarkeit in Höhe von 33 % unterstellt wurde. Demgemäß stellt die Variante Klärschlamm 2 das Bezugssystem für die Auslegung der Düngung dar. Die in den Versuchen erzielten Erträge für Korn und Stroh sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt, die Verwertbarkeit der verabreichten Nährstoffe geht aus den Abbildungen 4 und 5 hervor.

5. Zusammenfassung

Der abwassertechnische Teil der hier vorgestellten Untersuchungen betrifft die Frage der Kombinierbarkeit von Abwasserentphosphatung durch Einsatz von Kalk im Wege der Vorfällung mit der Klärschlamm entwässerung in Kammerfilterpressen. Die Untersuchungen zeigen, daß die Abwasserkalkung — bei Wirkungsgraden der Entphosphatung von 60 - 75 % gegenüber 33 % bei mechanisch-biologischer Abwasserreinigung — den Konditionierungsaufwand für die anfallenden Schlämme auf ein Viertel der sonst erforderlichen Menge an Kalkhydrat zu reduzieren vermag. Der Gesamtverbrauch an Kalk steigt aufgrund des Mehranfalls an Klärschlamm jedoch um 20 - 25 %.

Gefäßversuche zur Prüfung der Verwertbarkeit der Nährstoffe Stickstoff und Phosphat führen zu dem Ergebnis, daß der in den entwässerten Fällungsschlämmen enthaltene Stickstoff im 1. Jahr zu etwa 20 % pflanzenverfügbar und das Phosphat in seiner Wirksamkeit dem Superphosphat gleichzusetzen ist.

Tab. 2.: Wirkungsgrad der Entphosphatung

Parameter	Dimension	Nullversuch	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
Abwassermenge	m ³ /d	7209	7048	7103	7044	6904
Fällmittel Einsatz	Ca(OH) ₂ Mol/Mol P	-	2,03	3,03	2,23	2,13
Phosphat im Zulauf	mg/l	16,2	10,7	12,7	13,5	16,2
Phosphat im Ablauf Vorklärung Elimination	mg/l %	13,2 18,5	4,4 58,4	5,5 54,8	6,3 53,3	5,2 67,7
Phosphat im Ablauf Elimination	mg/l %	10,8 33	4,2 60	3,8 68	4,5 67	4,0 75

Tab. 3: Daten der Versuchsböden

	Sandbraunerde	Löß-Braunerde
pH (0,02 n CaCl ₂)	4,3	5,0
Gesamt C %	0,92	0,91
Gesamt N %	0,083	0,107
Gesamt-P ₂ O ₅ mg/100 g B,	111	100
P ₂ O ₅ (DL) mg/100 g B,	2,9	4,0
K ₂ O (DL) mg/100 g B,	5,0	11,5

Gefäßfüllung: Sandboden 6 kg

Gefäßfüllung: Löß 4 kg Löß + 2 kg Quarzsand

Tab. 4: Versuchsfrucht Hafer, Sorte Pirol

Versuchsvarianten ¹⁾	Symbol	Düngung, kg/ha ²⁾		
		CaCO ₃	P ₂ O ₅	N ³⁾
Klärschlamm 1	KL 1	5536	557	200
Klärschlamm 2	KL 2	16609	1672	600
Klärschlamm 3	KL 3	49827	5016	1800
CaCO ₃ /Superphosphat/Stickst. Ca, P _S , N		16609	1672	200
CaCO ₃ /Hyperphosphat/Stickst. Ca, P _H , N		16609	1672	200
CaCO ₃ /Superphosphat	Ca, P _S	16609	1672	-
CaCO ₃ /Hyperphosphat	Ca, P _H	16609	1672	-
CaCO ₃ /N	Ca, N	16609	-	200
Superphosphat/Stickstoff	P _S , N	-	1672	200
Hyperphosphat/Stickstoff	P _H , N	-	1672	200
CaCO ₃	Ca	16609	-	-
Superphosphat	P _S	-	1672	-
Hyperphosphat	P _H	-	1672	-
Stickstoff	N	-	-	200
-/-/-	0	-	-	-

1) In 4-facher Wiederholung

3) als (NH₄)₂SO₄ K₂O-Gabe:

2) Berechnet über Bodeneinwaage

alle Gefäße 200 kg/ha

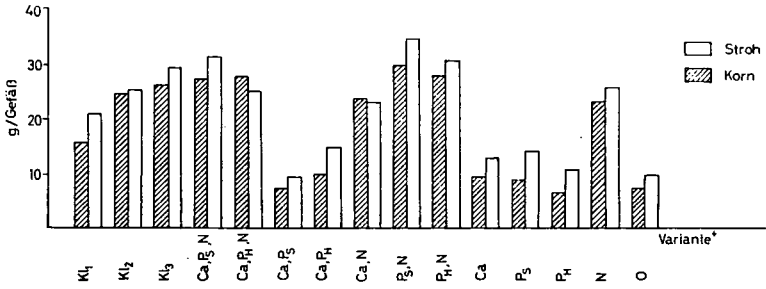


Abb. 2: Korn- und Stroherträge auf Sandböden (g/Gefäß)

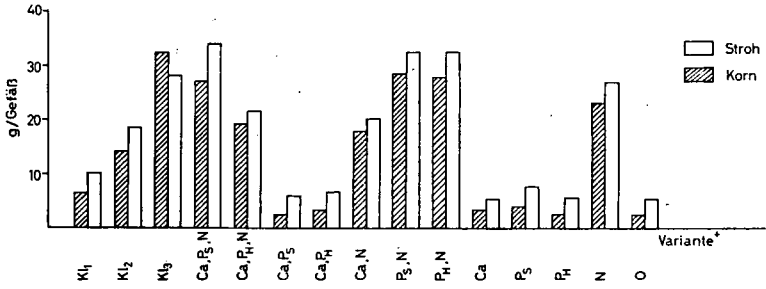


Abb. 3: Korn- und Stroherträge auf Lößböden (g/Gefäß)

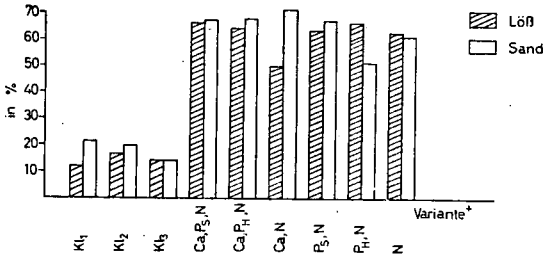


Abb. 4: N - Ausnutzung auf Löß- und Sandböden

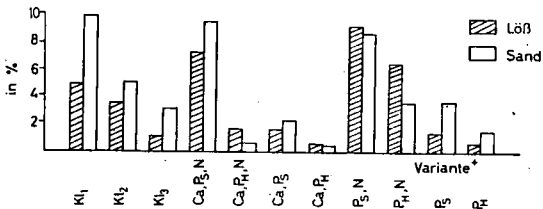


Abb. 5: P - Ausnutzung auf Löß- und Sandböden

Zur ackerbaulichen Verwertung kalkreicher
Klärschlamm-Filterkuchen auf Sandböden

von

Borchers, J.⁺, W. Kruse⁺⁺ u. B. Meyer⁺

Fragestellung:

Der Anfall von Klärschlamm in den kommunalen Kläranlagen nimmt von Jahr zu Jahr beträchtlich zu – einerseits durch den Ausbau von Kanalnetzen mit Anschlüssen neuer Gemeinden, andererseits durch die Förderung von Neu- und Erweiterungsbauten der Klärwerke, Zur Zeit fallen in der BR Deutschland etwa 36 Mio. cbm Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit durchschnittlich 5% Trockenmasse an. Davon werden ca. 30% direkt über die Ausbringung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen beseitigt.

Da Klärschlamm mit weniger als ca. 30% Trockenmasse nicht in eine geordnete Mülldeponie einzubauen ist, gehen immer mehr Betreiber von Klärwerken dazu über, die anfallenden Schlämme mechanisch zu entwässern – selbst wenn der Absatz an die Landwirtschaft vorerst noch gesichert erscheint.

Das Verfahren der Kammerfilter-Pressung bietet eine rationelle Möglichkeit der Entwässerung. Bei diesem Verfahren werden Kalk und Fe (III)-Salze zur Konditionierung eingesetzt. Als Endprodukt fällt ein Filterkuchen mit hohem Kalkgehalt an.

Da auf leichten Böden sowohl im Hinblick auf die Erhaltung des Detritus/Arthropodenkot-Humus wie auch im Hinblick auf die Spurennährstoffversorgung hohe pH-Werte vermieden werden sollen, ist die Ausbringung solcher Kammerfilterkuchen in größeren Mengen bedenklich. Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit der Frage der Wirkung unterschiedlicher Gaben auf den Zustand der Ionenbelegung,

+ Institut für Bodenkunde, v.-Siebold-Str. 4, D-3400 GÖTTINGEN

++ Landwirtschaftskammer Hannover, Johannsenstr. 10,
D-3000 HANNOVER

des Humusgehaltes und der Erträge eines Sandbodens (Bänder-Parabraunerde) mit der Bodenzahl 22 aus weichselzeitlichem Dünen-Decksand am Südrand des Allertals bei Otze (Celle).

Die Versuche wurden unter dem Aspekt angelegt, daß — in Abhängigkeit von Korngröße und Menge des dem Boden zugeführten Filterkuchens — die intensive lösungsschemische Kalkabfuhr möglicherweise der diffusiven und mechanischen Kalkdispersion im Ap-Horizont so weit entgegenwirkt, daß bestimmte, näher festzulegende Mengen solchen Filterkuchens ohne Gefahr für Boden und Pflanze ausgebracht werden können.

TAB. 1: MIT DER KLÄRSCHLAMM-DÜNGUNG VERABFOLGTE SUBSTANZ-MENGEN

t/ha Fr. KLÄRSCHLAMM		50	100	200	400
pH		11,7			
dt/ha Fr. SUBSTANZ					
	TS	136	272	587	1 174
	ORG. SUBST.	64	128	219	438
	MIN. SUBST.	72	144	368	736
	C	35	70	120	240
	Ca	21	42	110	220
	Fe	3	7	16	31
kg/ha	N	300	600	1 320	2 640
	P ₂ O ₅	400	800	1 680	3 360
	K ₂ O	16	33	66	132
	Mg	39	77	154	308
	Na	6	12	26	52
	Cu	2.0	4.0	7.9	15.8
	Zn	9.8	19.6	32.2	64.4
	Mn	7.4	14.8	32.4	64.8
	Pb	1.2	2.4	3.4	6.8
	Cd	0.04	0.07	0.14	0.28
	B	0.07	0.14	0.35	0.70

Versuch:

Der Feldversuch wurde als Langzeitversuch für 8 Jahre angelegt. Hier wird über den Stand nach dem 3. Versuchsjahr berichtet. Nach der Schlammkuchendüngung im Frühjahr 1976 folgten in der jährlichen Rotation Zuckerrüben (1976), Sommergerste, Kartoffeln und Roggen (1979).

An Klärschlamm mit 28% TrM wurden pro ha angewendet: 0t, 50t, 100t, 200t, 400t Frischmasse. Die mit diesen Gaben verabfolgten Mengen einzelner Elemente und Substanzen sind in Tab. 1 aufgeführt.

Alle Varianten wurden zu den Rüben zusätzlich mit 312 kg K₂O/ha gedüngt, die O-Variante erhielt 160 kg N min./ha. Die Sommergerste im 2. Jahr erhielt 30 kg N/ha und 160 kg K₂O/ha, die Kartoffeln im 3. Jahr bekamen 72 kg N/ha zu allen Versuchsvarianten.

Erträge und Qualität (Tab. 2 u. 3):

Mit steigender Klärschlammgabe stieg zwar der Rübenertrag, doch der bereinigte Zuckertrag sank um bis zu 9%. Dies ist vermutlich auf das steigende Überangebot an N zurückzuführen.

Die im 2. Versuchsjahr folgende Sommergerste brachte — mit Ausnahme der 400t - Variante (Lager!) — auf allen Klärschlamm-Parzellen höhere Erträge als auf der O-Parzelle. Es fand eine starke N-Mineralisation statt, die aber schon auf der 50t-Parzelle den Höchstertrag erreichen ließ.

Demgegenüber zeigten die Kartoffeln im 3. Versuchsjahr in allen Klärschlamm-Varianten erniedrigte Erträge — wenn auch ohne Tendenz in Bezug auf die Schlammkuchen-Menge. Die Ursache kann einerseits darin liegen, daß die Kartoffeln auf den Schlammparzellen trotz mehrerer Spritzungen besonders stark mit Phytophthora infestans befallen waren, andererseits aber auch darin, daß mit erhöhtem Kalkgehalt die pH-Werte angehoben wurden.

Basenzustand:

KALK: Die mit dem Preßschlamm ausgebrachten Mengen an CaCO₃ lagen infolge der unexakten Dosierung mittels Düngerstreuer um 18% über den theoretischen Ansätzen. Bei gleichmäßiger Verteilung auf den 30 cm mächtigen Ap-Horizont wären folgende CaCO₃ - Gehalte zu erwarten gewesen: 0.14% (50t), 0.28% (100t), 0.72% (200t) 1.44% (200t). Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Klärschlammqualität

JAHR	VERS.-FRUCHT	GD	PARZELLE				
			0	50	100	200	400
1976	ZU.-RÜBEN	6,7	803	99	102	104	110
1977	SO.-GERSTE	9,9	49,5	106	105	105	89
1978	KARTOFFELN	-	492	89	90	88	95

TAB. 3:

TAB. 2: ZUCKERRÜBENERTRÄGE - ZUCKERAUSBEUTEN

	PARZELLE		SCHLAMM		FRS./ha		GD 5% REL.
	0	50	100	200	400		
RÜBENERTRAG 803 dt/ha = 100	100	99	102	104	110	6.7	
POLARISATION 16.8 % = 100	100	98	96	93	89	3.6	
BER. ZU.-GEHALT 13.7 % = 100	100	97	94	88	82	6.4	
ZU.-ERTRAG 135,3 dt/ha=100	100	97	98	97	99	6.5	
BER. ZU.-ERTRAG 110 dt/ha = 100	100	96	96	92	91	7.0	
BESTAND RÜBEN/ha 67000 = 100	100	99	101	101	106		

in den Varianten 50 und 100t eine andere war als in den Varianten 200 und 400t.

Der ausgebrachte Schlammkuchen lag in Aggregatgrößen von 2-100 mm vor, und es bedurfte einer mehrjährigen Homogenisierung durch Bearbeitung, Frost und Biomixion bis die fortlaufend entnommenen Bodenproben statistisch einigermaßen verlässliche Kalkgehaltswerte lieferten.

Für die Bestimmung der Kalkgehalte wurde das entnommene Bodenmaterial insgesamt zerdrückt und durch ein 0.2 mm-Sieb passiert. Für die pH-Messung dagegen wurde das Bodenmaterial lediglich durch ein 2 mm-Sieb abgesiebt, um so die Hauptmenge der Schlammkalkbröckchen zu eliminieren und lediglich das pH der Bodenmatrix zu ermitteln.

Nach 3 Jahren ergab sich folgende Verteilung der CaCO_3 -Mengen in kg/ha

Variante Schlamm	50t	100t	200t	400t
0-30 cm Tiefe	5700	11500	28300	57600
30-50 cm Tiefe		500	2200	2700
50-70 cm Tiefe			800	2100
70-90 cm Tiefe				900
ausgewaschen	400	500	1100	1700

Bei dem in 30 bis 90 cm Tiefe angereicherten CaCO_3 kann angenommen werden, daß es zu erheblichen Anteilen mechanisch in Form von Festkörperchen infiltrierte.

pH: Tab. 4 läßt erkennen, daß trotz der großen Kalkmengen im Ap-Horizont, aber wohl wegen der Grobkörnigkeit des Preßschlamm-Carbonats eine Neutralisation des Ap-Horizontes bei der 400t-Variante erst nach 1 Jahr, bei der 200t-Variante nach ca. 1.5 Jahren und bei der 100t-Variante nach 2.5 Jahren (hier jedoch noch nicht ganz) erreicht wird. Der Unterboden wird in keinem Fall neutralisiert. Bei Variante "400t" erreicht die Schicht 30-50 cm nur pH 6.9.

Offenbar verhält sich der mechanisch in den Unterboden verlagerte Kalk ähnlich wie die groben Kalkpartikel im Oberboden: Die vertikale Lösungsabfuhr überwiegt die horizontale diffusive Ausbreitung von Ca-Ionen.

TAB. 4: ÄNDERUNG DES BODEN-pH (0,02n CaCl₂) NACH DÜNGUNG (3.3.76)

KLÄRSCHLAMM- GABE (t FRS./h)	TIEFEN (cm)	30.4.76 25.9.76 15.10.77 20.9.78			
		0	0-30	5.75	
	30-50	6.10			
	50-70	5.50			
	70-90	5.60			
50	0-30	5.73	6.15	6.50	6.70
	30-50		6.30	6.30	6.30
	50-70	KEINE ÄNDERUNG			
	70-90	KEINE ÄNDERUNG			
100	0-30	5.90	6.30	6.80	6.95
	30-50		6.30	6.40	6.55
	50-70	KEINE ÄNDERUNG			
	70-90	KEINE ÄNDERUNG			
200	0-30	6.40	6.60	7.00	7.15
	30-50		6.40	6.60	6.70
	50-70	KEINE ÄNDERUNG			
	70-90	KEINE ÄNDERUNG			
400	0-30	6.80	6.90	7.40	7.85
	30-50		6.50	6.70	6.90
	50-70	KEINE ÄNDERUNG			
	70-90	KEINE ÄNDERUNG			

Trotzdem ist auch bereits in der "50t"-Variante die pH-Erhöhung auf 6.7 bedenklich.

Festzuhalten bleibt, daß sich der Preßschlammkalk hinsichtlich seiner lösungsschemischen Mobilität doch etwas träger als reiner Düngekalk zu verhalten scheint, was u.a. auf seiner innigen Durchdringung mit organischer Substanz beruhen mag.

KATIONEN-BELEGUNG:

Die unvollständige Neutralisation der Ap-Horizonte außer der "400t"-Variante spiegelt sich auch in Tab. 5 wider (Spalte " Erdalkali - + Alkalionen in % KAK"). Gleichzeitig weist diese Tabelle auf die Veränderung des Ca/Mg-Verhältnisses hin, das in den Varianten "200t" von ursprünglich 7.4 auf 10.1 bzw. 11.0 steigt.

Tab. 5: Kationen-Belegung im Ap-Horizont (MEHLICH)
2.5 Jahre nach Düngung

Variante (t Preß- schlamm)	mval/100g B.						Σ % KAK
	KAK	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na	Σ	
0	7.6	3.5	0.47	0.99	0.44	5.40	71
50	7.6	3.7	0.47	1.15	0.55	5.87	77
100	7.6	3.9	0.58	1.15	0.50	6.13	81
200	9.9	6.9	0.68	1.15	0.51	9.24	93
400	10.8	8.4	0.76	1.12	0.53	10.81	100

Organische Substanz:

In Tab. 5 ist eine Zunahme der KAK zu beobachten, die auf der organischen Substanz beruht, die mit dem Preßschlamm dem Boden zugeführt wurde. Bezieht man die Zunahme der KAK in Tab.5

auf die tatsächlich zugeführte Menge an organischer Substanz, so errechnet sich für diese eine spezifische KAK von 302 mval/100g. Analytisch bestimmt wurden nach MEHLICH 307 mval/100g

Eine analytische Erfassung von Änderungen des Humusgehaltes in den Düngungsvarianten mit geringen Aufwandmengen war wegen der Streuungen nicht möglich.

Tab. 6: Änderung der C-Gehalte in der Ackerkrume (0-30 cm) nach Klär-Preßschlamm-Düngung.

Angaben in % Bodenmaterial

Ausgangs-C-Gehalt 0.96 % (3.3.76)

Parzelle (t Schlamm)	Corg.- Zufuhr durch Schlamm % Boden	C-Gewinn im Ap		
		0.5 Jahre 25.9.76	1.5 Jahre 15.10.77	2.5 Jahre 20.9.78
0	0	0		
50 100	0.08 0.16	Mögliche Änderungen lagen inner- halb der analytischen Streubreite		
200	0.34	+0.38	+0.34	+0.31
400	0.59	+0.51	+0.50	+0.48

In den Düngungsvarianten mit hohen Preßschlamm-Mengen zeigt dagegen Tab. 6 sofort nach der Düngung eine Erhöhung des Humusgehaltes, die etwa der Menge an zugeführter organischer Substanz entspricht. Der Humusgehalt des Bodens sank zwar in der Folgezeit, aber nach 2.5 Jahren waren rechnerisch noch immer 80-90% der zugeführten organischen Substanz erhalten geblieben, was für deren mikrobielle Resistenz spricht und mit der relativ mäßigen N-Mobilisierung in Einklang steht.

Sonstige Beobachtungen:

Bei den Zuckerrüben im ersten Jahr nach der Düngung traten nur auf der 200t- und 400t-Preßschlammparzelle Symptome des Bormangels auf. Die Folgefrüchte Sommergerste und Kartoffeln ließen demgegenüber außer den genannten keine weiteren Nährstoff- oder Schwermetall-Überschuß- oder Mangelsymptome erkennen.

QUANTITATIVE BESTIMMUNG DES AQUATISCHEN BODENABTRAGS AUF ACKERFLÄCHEN
VOM FRÜHJAHR 1978 BIS FRÜHJAHR 1979 IM TAFELJURA (OBERLAUF DER ERGOLZ,
SÜDÖSTLICH BASEL)

von

Wolfgang Seiler

1. Arbeitsgebiet und Ziel der Untersuchungen

Die laufenden Bodenerosionsforschungen sind ein Bestandteil des physio-geographischen Forschungsprogrammes TERRA (Terrestrial Ecosystem Resources Research and Analysis) am Geographischen Institut Basel (s. H. LESER 1975 u. 1978). Alle Untersuchungen werden in ausgewählten Geoökosystemen durchgeführt, die exemplarisch naturräumliche Typgebiete der Nordwestschweiz und ihrer angrenzenden Gebiete darstellen.

So wird in zwei kleinen Einzugsgebieten im Oberlauf der Ergolz (vgl. Abb. 1 u. 2) die Bodenerosionsdynamik und ihre Auswirkungen untersucht. Ziel der Untersuchungen ist die flächendeckende quantitative Aussage über die Bodenerosion sowie der sie beeinflussende und auslösende Faktoren bzw. Faktorenkombination in den zwei Testgebieten (vgl. W. SEILER 1979)¹⁾.

Der Untersuchungsraum liegt im Oberlauf der Ergolz im Tafeljura (ca. 470 - 600 m ü. NN), der durch Hochflächen und dazwischen eingeschnittene Täler (Brüche und abgesunkene Schollen) gekennzeichnet ist. Dementsprechend wurden die Testgebiete ausgewählt. Das Einzugsgebiet des Länenbächli ($\approx 2 \text{ km}^2$ /Kennzahlen $\gt 30$, s. Abb. 2 u. Tab. 4 u. 5) liegt auf der Hochfläche. Sie wird durch die harten Kalke des Hauptrogensteins gebildet. Dieser ist oft - im Länenbächli ausnahmslos - von weicheren Schichten des oberen Doggers (Variansschichten, Callovientonen) überdeckt, was sich in einer mächtigeren Bodenbildung bemerkbar macht. Entsprechend werden die Flächen als Wald oder Kulturland genutzt. Das Einzugsgebiet des Dübachtals ($\approx 3.5 \text{ km}^2$ /Kennzahlen $\gt 20$, s. Abb. 2 u. Tab. 1, 2 u. 3) repräsentiert das eingeschnittene Tal im Tafeljura. Hier wird die Oberfläche besonders

Geographisches Institut Basel

1) Dort sind die Meßmethodik und -einrichtungen beschrieben.

durch die Schichten des unteren Doggers (Murchisonae- und Sowerby-schichten sowie Opolinuston) gebildet und als Kulturland genutzt. Wald findet sich nur auf dem harten Hauptrogenstein und Muschelkalk. Die Ackerflächen weisen sowohl auf der Hochfläche als auch im Dübachtal Hangneigungen zwischen $2 - 17^{\circ}$ \varnothing $8 - 12^{\circ}$ auf. Dadurch ergibt sich im Zusammenhang mit den hohen Jahresniederschlagssummen von ca. 1 100 mm/Jahr mit deutlichem Sommermaximum und einer erosionssträchtigen Schneeschmelze bzw. Dauerniederschlägen im Winter, eine intensive Bodenerosionsdynamik.

2. Meßprogramm

Die Untersuchungen werden einerseits auf Testflächen (T 20, T 30) wo sämtliche Randbedingungen bekannt oder zumindest meßbar sind und andererseits in regulär bearbeiteten Ackerflächen durchgeführt.

Die Messungen auf den Testflächen (jeweils 4 Testparzellen nebeneinander) dienen besonders auch zur Prozeßforschung, d.h. es soll die Wirkung und das Wirkungsgefüge einzelner Einflußgrößen erforscht werden, wie

- Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte, Niederschlag und Abtragsauslösung
- Korngrößentransport
- Nutzung
- Bearbeitungsrichtung
- Hangneigung
- Hanglänge und -breite
- Prall- und Planschwirkung

Die Messungen auf den Ackerflächen dienen um den Vergleich von künstlicher (Testfläche) und natürlicher Meßbasis zu erhalten und zur Bilanzierung der Erosionsschäden im gesamten Untersuchungsgebiet. Meßeinrichtungen wie Feldstation (FS), Feldkasten (FK) und Feldblech (FB) wurden eigens hierfür entwickelt (vgl. R.-G. SCHMIDT 1979 u. W. SEILER 1979).

3. Meßergebnisse

3.1. Bemerkungen zu den Meßdaten und ihrer Darstellung

Im Verlauf des ersten Meßjahres hat sich gezeigt, daß die Entscheidung ob es sich bei den Abtragsmengen vorwiegend um Splashmaterial oder um tatsächlich größtenteils oberflächlich abgeflossenes Bodenmaterial handelt, nicht immer ganz einfach ist. Im folgenden werde ich mich auf Ereignisse bzw. Daten beschränken bei denen der oberflächliche Abfluß eindeutig vorhanden war. An der Festlegung der Grenzwerte, wo der oberflächliche Abfluß verglichen mit dem Splash überwiegt, wird momentan mit acht Splashkästen in unterschiedlicher Neigung und Fläche gearbeitet.

Allgemein muß bei der Betrachtung von Erosionsereignissen zwischen der Untersuchung und ihrer Auswirkungen sowie dem Ausmaß des Erosionsereignisses, d.h. der Bestimmung des Verlusts von Bodenmaterial im untersuchten Raum mit seinen topologischen Gegebenheiten unterschieden werden. An dieser Stelle werden sich Resultate unter dem Aspekt der Prozeßbetrachtung vorgestellt.

Von der gängigen Darstellungsform in kg/ha wird aus folgenden Gründen bewußt Abstand genommen, selbst wenn sie nur als Vergleichsmaß - wie dies von vielen Autoren betont wird - dienen soll:

1. Es ist unsicher von wo das erodierte Material stammt oder anderst ausgedrückt: Die Abgrenzung des tatsächlichen Liefer- bzw. Einzugsgebietes ist äusserst schwierig.
2. Die punktuellen Messungen an den Tesseræ (Beobachtungspunkte zur Aufnahme der topologischen Einheiten) sind so zu verstehen, daß sie die Verhältniszahl zur Hochrechnung des Gesamtbodenverlustes einer Ackerfläche bzw. einer Mulde liefern.
3. Für die Prozeßbetrachtung interessiert besonders der Vergleich der Abtragsraten am einzelnen Meßpunkt unter den gegebenen Randbedingungen. Deshalb werden hier die tatsächlich gemessene Menge erodierten Bodenmaterials und die Fläche des potentiell möglichen Liefergebietes sowie die zusätzlich beeinflussenden Randbedingungen dargestellt.

3.2. Abtragsverhalten im "Dübachtal"

Sommerhalbjahr: Niederschläge mit Mengen von < 5 mm haben nie zu eindeutigem Oberflächenabfluß geführt. Sie ergeben jedoch ab einer gewissen Intensität Splashverluste (s. auch 3.1.). Bei Intensitäten von ≥ 0.28 mm/min, die innerhalb Niederschlagsmengen von 5 mm und mehr liegen ist es zumindest auf der Bracheparzelle der Testfläche (T 20/1) immer zu oberflächlichem Abfluß gekommen. Die Menge des Erosionsgutes (Wasser und Boden) und das Verhältnis zwischen abgetragenem Boden und abgeflossener Wassermenge hängen stark mit der Bodenfeuchte bei Beginn des Ereignisses und der bereits erwähnten Intensität zusammen. Der Vergleich der Ereignisse vom 26.06. u. 31.07.76 zeigt, daß die größere Intensität bei fast gleicher Niederschlagsmenge und Bodenfeuchte die abgetragene Bodenmenge um das Drei- bzw. Fünffache erhöhen kann. Die dreimal größere Niederschlagsmenge vom 06.08. mit ähnlichen aber länger andauernden Intensitäten ergab einen knapp drei bis knapp viermal höheren Bodenverlust. Zusätzlich ergab sich auch bei T 20/3 und T 20/4 Abtrag. Die 46.6 mm vom folgenden Ereignis müssen mit geringen Intensitäten gefallen sein (Regenschreiber funktionierte nicht, RS bei T 30 registrierte aber in dieser Zeit 0.06 mm/min), weil sie wiederum nur auf T20/1 und T 20/2 Abtrag bringen konnten und zwar maximal 3 629 g Wasser (0.80 % v. Niederschlag) mit 49.6 g Boden. Die Bearbeitungsspuren, die anfangs Mai angelegt wurden, hatten Ende Juni bereits keinen Einfluß mehr auf die Abtragsmenge. Ihr Einfluß wird schnell vom Verhältnis des Skelettanteils auf den Testparzellen (vgl. Abträge T 20/1 u. 2 mit T 20/3 u. 4) überdeckt. Er wirkt in zweierlei Richtung erosionsmindernd: Erstens wird die Bodenoberfläche gegen primäre und sekundäre Splashschäden geschützt (primäre Splashschaden = Verkleinerung und Abtransport der Bodenpartikel, sekundärer Splashschaden = Verstopfen der Poren mit Feinmaterial). Zweitens erhöht das Skelett die Durchlässigkeit des Bodens. Vergleicht man die Ergebnisse der Testflächen mit den Messungen auf den Ackerflächen, wird der Einfluß der stark erosionsmindernden Vegetation deutlich. Nur höhere Intensitäten von einer gewissen Mindestdauer lösten Bodenerosion aus.

Winterhalbjahr: Während des Winters fand auf den Testflächen nur zweimal Erosion statt, weil wie sich zeigte, im Winter die Größe des Einzugsgebietes - wegen der mit geringen Intensitäten fallenden Niederschläge - eine wesentliche Rolle spielt. So ergaben Niederschläge bis zu einer Menge von rund 40 mm auf den 10 m² großen Testparzellen keinen Abtrag. Beim Ereignis vom 10. - 12.03.79 mit 72.4 mm in 41,5 h kam es aber zu ausserordentlich starkem Abtrag, weil offensichtlich die Grenze erreicht worden ist, wo an anderer Stelle versickertes Wasser als Interflow die Testparzellen erreichte und so zu einer starken Schädigung führte. Solche Erosionsdispositionen - mit tonreichen Wasserstauern im Untergrund - finden sich im Tafeljura häufig. Besonders, wenn es sich um größere Geländemulden handelt, wie zum Beispiel auch bei FK 24 und FK 25, oder auf der anschliessend zu besprechenden Hochfläche. An derartigen Stellen sind die Erosionsschäden immer besonders groß, weil nach dem Niederschlag das Quellwasser noch längere Zeit wirksam bleibt. Die vergleichsweise große Schädigung kommt beim Vergleich bei FK 24 u. 25 bzw. FK 24* am 02.02.79 (vgl. Tab. 2) gut zum Ausdruck. Die Kästen liegen im selben Acker. Vor FK 24 und 25 ist das Einzugsgebiet ein gestreckter gleichmässig geneigter Hang mit 9° bzw. 6° Neigung. FK 24* befindet sich in einer kaum sichtbaren Muldenlage mit maximal 6° Neigung. Hier ist noch eine Bemerkung zur Niederschlagsmenge nötig. Am 26. - 28.01.79 sind 56.9 mm Niederschlag gefallen. Ein Großteil davon fiel als Schnee, deshalb sind bei diesem Ereignis auch keine Intensitäten berechnet worden. Die 44.2 mm bedeuten die potentiell mögliche Wassermenge, die bei diesem Ereignis wirksam werden konnte. Sie berechnet sich aus dem Wassergehalten der Schneedecke von vor und nach dem Niederschlag. Für das Ereignis vom 02./03.02.79 kann nur die Niederschlagsmenge (14.4 mm) angegeben werden, die am betreffenden Tag im Zusammenhang mit der stärksten Schneeschmelze gefallen ist, weil seit dem 28. Januar ein Teil der Schneedecke getaut ist und für den 02.02.79 keine spezielle Wassergehaltsmessung vorliegt. Daß aber die potentiell mögliche Wassermenge zwischen der vom 26. - 28.01.79 und jener vom 10. - 12.03.79 lag, zeigten die Pegelmessungen. Sie registrierten am 26. - 28.01.79 einen Anstieg von 3.3 auf 18.7 cm, am 02.02.79 ein solchen von 12.0 auf 35.4 cm und am

10. - 12.03.79 von 4,7 auf 40,2 cm.

Der Bodenverlust am 26. - 28.01.79 war trotz der großen Niederschlagsmenge gering, weil erstens wie bereits erwähnt ein Großteil als Schnee fiel und zweitens die schon vorhandene Schneedecke den Boden schützte. Dieser Abtrag ist auf Frosthebung und Interflow zwischen Bodenoberfläche und Schneedecke zurückzuführen. Erst als die Schneedecke am 2. Februar schnell taute und zusätzlich 14,4 mm Niederschlag fielen, kam es teilweise zu beträchtlichem Abtrag. Dieser starke Abtrag in der relativ flachen Muldenlage von FK 24* (s.o.) kann nur mit ober- und unterirdischer Wasserkonzentration infolge der Muldenlage und einem Wasserstauer im Untergrund erklärt werden. Gleiches gilt für das Ereignis vom 10. - 12.03.79.

Bei den Feldmeßpunkten FK 21, 22 u. 23 deren Feld nach der Ernte bis zum erneuten Sommeranbau im Mai unbearbeitet, brach blieb, kommt nun die stärkere Hangneigung mit vier Abtragereignissen zum Ausdruck. Allerdings ist die abgeflossene Bodenmenge zumeist sehr gering, weil die Hangschutt-Braunerde-Rendzina mit einem hohen Skelettanteil an der Bodenoberfläche sehr gut drainiert. Zusätzlich befindet sich dieser Acker im Oberteil des Gesamteinzugsgebietes des Dübachtals. Darüber befinden sich nur noch bewaldete Hänge, so daß weder eine oberflächliche Wasserkonzentration in einer Tiefenlinie noch ein Interflowausfluß innerhalb des Ackers möglich ist. Einzig das Ereignis von 08.12.78 ist im Verhältnis zu den anderen Abträgen an diesem Hang relativ groß. Der vier bzw. zehnmal so große Abtrag bei praktisch gleicher Durchschnittsintensität und I 5, wie am 10.03.79 - dort aber mit zweieinhalbmals soviel Regenmenge - kann nur mit einer lokal gefrorenen Schicht im Untergrund erklärt werden. Dadurch wird die potentiell hohe Durchlässigkeit der Schuttdecken-Braunerde-Rendzina unterbunden und der lockere Boden dann sehr erosionsanfällig. Temperaturmessungen bei T 20 scheinen die gefrorene Bodenschicht zu bestätigen: Die Bodentemperatur in 10 cm Tiefe zeigt $1,0^{\circ}$. Die Minimaltemperaturen an der Bodenoberfläche liegen seit dem 19.11.78 immer $\leq 0^{\circ}$, am 04.12.78 bei $- 7^{\circ}$. Weil die Hangfläche von FK 21, 22 und 23 exponierter liegt als die Test-

fläche ist anzunehmen, daß der Boden bis nahe 10 cm Tiefe gefroren war. Der schnelle Temperaturanstieg von 0 auf 7° (14⁰⁰ - 23⁰⁰) hat noch während des Niederschlages (dieser endet um 02.15 Uhr) die Oberfläche aufgetaut, während der Untergrund noch gefroren blieb. Daß gleichzeitig auf der Testfläche und FK 24 und 25 kein Abtrag auftrat, ist mit der geschützteren Lage, der geringeren Hangneigung und der Bepflanzung gut zu erklären.

3.3. Abtragsverhalten auf der Hochfläche (Länenbächli)

Sommerhalbjahr: Die tonreichen Böden der Hochfläche bieten für Erosionsanfälligkeit völlig andere Verhältnisse. Im Sommer 1978, der wohl sehr feucht war, aber wenig Niederschläge von hoher Intensität und anhaltender Dauer aufwies, ergaben sich auf der Testfläche mit 9,5° Neigung keine Abtragsereignisse, obwohl die Parzellen vegetationslos und hangsenkrecht bearbeitet waren. Die Resultate der Feldmeßpunkte zeigen, daß bei Niederschlägen von hoher Intensität aber kurzer Dauer oder Dauerniederschlägen mit geringer Intensität der Abtrag - neben dem Stand der Vegetation - hauptsächlich von der Geländeform, deren Neigung und der Bodenfeuchte abhängt. So ergaben sich am 23.06.78 in einem 13 - 14° geneigten Rahmenfeld (Rote Bete) in leichter Muldenlage mit 10 cm hohen Pflanzen und noch geringer Bodenbedeckung 193 g (Trockenmaterial) Abtrag. In den Geländemulden "Großacker" und "Thommen" (FK 33 bzw. FK 37), die potentiell sehr erosionsanfällig sind, fand kein Abtrag statt, weil die Geländemuhle "Großacker" nur Hangneigungen von 2 - 11° aufweist und in der Mulde "Thommen" mit Hangneigungen zwischen 8 - 13° der Winterhafer 60 - 70 cm hoch stand und dazwischen zusätzlich Gras angesät war. Die Bearbeitung verlief auf allen drei Äckern parallel zum Hang. Der Niederschlag vom 08.07.78 mit 21.4 mm ergab in diesen Mulden 195.6 bzw. 159.7 g hingegen passierte im Rahmenfeld nichts. Die Gründe hierfür sind:

1. Die hohe Bodenfeuchte mit 45.6 %, wirkt sich in den größeren Mulden stärker aus (vermehrte Wasserkonzentration gegen die Tiefenlinie zu)
2. Der Mais ist erst 40 - 60 cm hoch
3. Das Haferfeld wurde 4 Tage zuvor geschnitten, die Stoppeeln sind 8 - 20 cm hoch

4. Die Rahmen bedecken den Boden schon besser und besonders ihr Wurzelwerk hält mit zunehmendem Alter die Bodenpartikel besser zusammen.

Je später innerhalb der Vegetationsperiode die Niederschläge auftreten, umso intensiver bzw. ergiebiger müssen sie sein, um erosiv wirksam zu werden. So führte der einzige Starkregen innerhalb der letzten Vegetationsperiode mit 15.2 mm am 31.07.78 mit einer $I_{\max} = I_{10} = 1.12$ mm/min nur bei Hangneigungen von $>13^{\circ}$ zu geringem Abtrag und dies trotz einer Bodenfeuchte von 44.8 %. Ähnliches gilt für den Niederschlag vom 06.08.78 mit 35.7 mm und $I_{\max} = I_{16} = 0.66$ mm/min: In der Geländemulde "Thommen" mit hoher Reliefenergie begann der oberflächliche Abfluß, in jener mit mittlerer Reliefenergie ("Großacker") passierte noch nichts. Erst die zusätzlichen Niederschläge vom 07./08.08.78, vgl. Tab. 4, welche lückenlos folgten, ergaben auf verschiedenen Feldern Oberflächenabfluß, wobei sich auch hier die Muldenanlagen als bevorzugte Abtragsorte bestätigten. Weil jetzt der Boden schon stark durchfeuchtet war, reichten 55.0 mm, wovon 45.4 mm mit einer durchschnittlichen Intensität von 0.06 mm/min fielen, um das größte Erosionsereignis vom Sommer 1978 auszulösen. Daran anschließend reichten 16.9 mm bei einer Bodenfeuchte von 52.0 % ($I_{\max} = I_8 = 0.38$ mm/min), um nochmals 1 076 g Boden zu erodieren. Vier Stunden später - die Bodenfeuchte betrug jetzt 58.5 % - ergab ein nachfolgender Niederschlag von nur 2 mm mit einer Intensität von 0.09 mm/min, in der flacheren Geländemulde nochmals 900 g Abtrag - obgleich die Maispflanzen schon meist 120 - 160 cm hoch waren.

Zwei weitere Niederschläge Mitte und Ende August mit Intensitäten von 1.3 und 1.85 mm/min, die aber nur zwei bis drei Minuten andauerten und gesamthaft nur 5.4 bzw. 8.5 mm Niederschlag ergaben, konnten nur noch Splashabtrag hervorrufen.

Winterhalbjahr:²⁾ Die Abtragsdaten stimmen im Gegensatz zu jenen vom Sommer datenmässig mit den Ereignissen vom Dübachtal überein, weil im Winter die lokal eng begrenzten Niederschläge selten sind. Die Niederschlagssummen und die erosiven Wassermengen können hingegen differieren, besonders auch, wegen des höheren Schneeanteils auf der Hochfläche (vgl.

2) Meßpunkte FB 35 und FK 37 (Geländemulde "Thommen") bestehen nicht mehr, weil der Acker mit Gras angesät worden ist.

4.). Prozeßmäßig jedoch verhalten sich zumindest die Muldenlagen ähnlich wie die tonreichen Geländemulden im Dübachtal. So ergaben sich z.B. bei großer Regenmenge (vgl. Tab. 5) starke Erosionsschäden in den Mulden von FS 33 und FK 59, obwohl der Acker von FS 33 mit querverlaufenden bis 30 cm tiefen Pflugfurchen versehen war und das Feld von FK 59 10 cm hohe Wintergerste - ebenfalls in Reihen parallel zum Hang - trug. Betreffend der N-Menge gilt dasselbe wie im Dübachtal am 02.02.79. Die 10.6 mm entsprechen der Niederschlagsmenge, die am 02.02.79 während der allerdings verzögerten Schneeschmelze (vgl. 4) gefallen ist. Die Pegelmessungen zeigen, daß die potentielle Wassermenge zwischen jener vom 26. - 28.01.79 und jener vom 10.02.79 lag. (Pegelanstiege am 26. - 28.01.79: 12.4 cm, am 02.02.79: 23.9 cm, am 10. - 12.03.79: 35.1 cm).

Die Messungen von FS 33 sind nicht genau mit jenen vom Sommer zu vergleichen, weil die neugesetzte Feldstation nicht ganz gleich lag. Der vergleichbare Gesamtverlust der Mulde, mit den Ergebnissen im Sommer, wurde mit 3 150 kg anhand der Akkumulationsform berechnet. Die Geländemulde "Großacker" (FS 33) ist sehr erosionsfällig. Jeder Niederschlag ab 8.5 mm ergab im Winter Abtrag. Hierbei ist zu erwähnen, daß der Hauptteil des Erdmaterials von einer Fläche von 3.1 m^2 stammen muß, weil eine Pflugfurche eine lokale Wasserscheide bildete, die erst am 10.03.79 durchbrochen wurde. Aus diesem Grunde muß die relativ große Abtragsmenge vom 02/03.02.79 - besonders weil auch keine linienhaften Erosionsformen entstanden waren - mit solifluidalem Abfluß erklärt werden. Die Temperaturmessungen auf T 30 bestätigen dies. Gleiches ist auch bei FK 55, FB 56 und FK 57 zu vermuten, wiesen doch alle drei Orte wesentlich mehr Abtrag auf als am 10.03.79, als die abfließende Wassermenge wesentlich größer war. Die ausserordentlich hohen Bodenfeuchten von 69.3 bzw. 75.7 % weisen ebenfalls auf einen gefrorenen Unterboden mit Wasserstauung darüber hin. Bei FK 59 muß diese Schicht infolge der Wasserkonzentration und der damit einhergehenden Tiefenerosion durchbrochen worden sein. Hier bildeten sich nämlich mehrere Erosionsrillen von 8 - 10 cm Tiefe und 15 - 25 cm Breite.

Ein Vergleich der Meßpunkte FB 32, FB 36, FK 52, FK 53 und FK 54 unterhalb von gestreckten Hängen, die alle entsprechend der Brachefläche von

T 30 hergerichtet waren, ergibt, daß bei mittleren Niederschlagsmengen der Einfluß der Hangneigung leicht von anderen Faktoren überdeckt werden kann. So ist z.B. die Fläche vor FK 52 ganz allgemein weniger erosionsanfällig als jene vor FB 36. Sie liegen beide unmittelbar nebeneinander und weisen äusserlich dieselben Randbedingungen auf. Hingegen scheint sich die Hangneigung bei hohen andauernden Niederschlägen auszuwirken, wie dies das Ereignis von 10. - 12.03.79 deutlich zeigt, wobei natürlich die Einflußmöglichkeiten des unterschiedlichen Bodentyps bzw. der unterschiedlichen Bodenart sowie lokaler Quellhorizonte (vgl. hierzu den Abtrag auf T 30/2, Tab. 5) nicht vergessen werden dürfen.

4. Vergleichende Schlußfolgerungen

Die Messungen von einem Jahr zeigen bereits deutlich, daß die Erosion im Sommerhalbjahr anderst verläuft als im Winterhalbjahr. Ebenso ist das Erosionsverhalten zwischen dem Länenbächli auf der Hochfläche und dem eingeschnittenen Dübachtal, besonders im Sommer deutlich verschieden. Im Dübachtal mit mehrheitlich tonarmen Böden reichten im Sommerhalbjahr Niederschläge von >5 mm um zu erstem oberflächlichem Abfluß zu führen. Auf der Hochfläche müssen selbst starke Intensitäten innerhalb größerer Niederschlagsmengen liegen, damit es zum Abfluß kommt. Die untere Grenze der Regenmenge, die einen Abfluß auslösen kann, ist stark von der aktuellen Bodenfeuchte abhängig. Das Verhältnis von mitgeführtem Bodenmaterial zum abgeflossenen Wasser steht auf den tonarmen Böden eher im Zusammenhang mit den Intensitäten und auf den tonreicheren Böden eher im Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge.

Im Winter verhalten sich die zwei Testräume ähnlicher, weil die hohen Niederschlagsintensitäten selten sind und daher für Erosionsereignisse anhaltende Niederschläge bzw. große Wassermengen infolge von Schneeschmelzen nötig sind. Die Temperaturdifferenzen können zwischen der Hochfläche und dem tiefer gelegenen Dübachtal Unterschiede bei der Schneeschmelze und im Schneeanteil innerhalb des Niederschlags ergeben. Dies wird in der Zeit vom 25.01. - 05.02.79 sehr deutlich, wo die Erosion

im Dübachtal am 02./03.02.79 stärker ausfiel, weil die Schneedecke wesentlich schneller taute und der gleichzeitig fallende Niederschlag zusätzlich wirksam werden konnte. Die Sedimentkonzentrationen bei den (Pegelmeßstellen verdeutlichen dies sehr anschaulich (s. Abb. 3 u. 4). Erstens steigt die Sedimentkonzentration im Dübach relativ stärker und zweitens schneller an. Im Länenbächli ist der relative Anstieg geringer und um ca. 45 Stunden verzögert.

Bis anhin ergaben die großen Niederschlagsmengen im Winter ausgeprägtere Erosionserscheinungen als jene im Sommer. Für die höhere Erosionsleistung sind die folgenden Gründe ausschlaggebend:

1. Eine kontinuierlich hohe Bodenfeuchte infolge der praktisch fehlenden Evapotranspiration.
2. Die Konzentration von oberflächlichem Abfluß und dem Interflow in Tiefenlinien, wo beide zusammen verstärkt und lang anhaltend erosiv wirksam bleiben.
3. Die verringerte oder fehlende Ausscheidung von Wurzelsäften, die die Bodenpartikel verkleben können, sowie die allgemein fehlende Schutzwirkung der Vegetation.
4. Aus allen obigen Gründen kommt die Größe des Einzugsgebietes stärker zum tragen. Besonders ist hier die Möglichkeit des Quellaustritts von gesammeltem Interflow zu erwähnen, der im Sommer nie beobachtet worden ist.
5. Die hangparallelen Pflugfurchen sind anfänglich ein sehr guter Erosionsschutz. Sie sind aber durch Frostwirkung und Niederschläge im Frühjahr einerseits stark eingeebnet und andererseits sehr locker, so daß sie bei größeren Niederschlägen durchbrochen werden. Wegen der fehlenden Vegetation und der lockeren Lagerung bieten sich dann auch hier gute Erosionsbedingungen. Nicht zu vergessen ist die konzentrierende Wirkung der Pflugfurchen.

Das Relief und seine Formen besitzen allgemein steuernde Funktionen innerhalb der morpdynamischen Prozesse. Die Hangneigung alleine kann aber an bestimmten Standorten von anderen Faktoren wie z.B. dem Bodentyp und der Bodenart überdeckt oder zumindest verringert werden. Indirekt ist die steuernde Funktion des Reliefs natürlich trotzdem vorhanden, indem schnell versickerndes Wasser als Interflow den Teifenlinien zuströmen kann oder die stark geneigten Hänge mit Kalkschutt-Braunerde-Rendzinen in flacheren Gebieten noch weniger anfällig wären (s. 3.2.).

Abschließend bleibt zu erwähnen, daß während des ersten Meßjahres relativ häufig kleine Erosionsereignisse stattgefunden haben. Diese erreichen aber selbst bei ihrer Aufsummierung nur einen Bruchteil der Abtragsmengen, die sich bei den Großereignissen im Zusammenhang mit der Schneeschmelze oder hohen Niederschlagsmengen ergeben haben. Deshalb muß angenommen werden, daß die Formen und Formungsvorgänge im Tafeljura größtenteils von den Kleinkatastrophen geprägt werden. Ob und wie stark derartige Kleinkatastrophen zum tragen kommen hängt ganz eindeutig von der aktuellen Nutzung ab. Daher erscheint mir - nach einer genauen quantitativen Untersuchung der exemplarisch ausgewählten Testräume - das Fernziel: Eine quasiquantitative Einschätzung des Erosionsverhaltens bzw. der Erosionsschädigung im Tafeljura möglich.

5. Bemerkung zu den Tabellen und Abbildungen

Sämtliche Tabellen und die Abbildungen 3 und 4 wurden mit dem interaktiven CALL-AS-System erstellt. Es handelt sich hierbei um ein äußerst benutzerfreundliches "Personal-Computing(=on line)-System", welches in allen IBM-Rechenzentren installiert ist und sich besonders gut zur Verarbeitung von Datenfiles in Tabellenform und für graphische Darstellungen eignet. Die Abb. 3 und 4 sind mit einem IBM-Schreibmaschinenterminal (CMCT-2767) mit einem speziellen Feinplotkugelkopf hergestellt worden.

In den Tabellen 1 bis 5 sind die Resultate dargestellt auf die während des Vortrages eingegangen wurde. Eine vollständige Darstellung aller Abtragsresultate, einschliesslich des Sommers 1979, soll Ende des Jahres vorgestellt werden.

Zu den Tabellen bleibt noch zu sagen: Bei der Bodenfeuchte handelt es sich um Werte, die vor dem Ereignis gemessen worden sind. Die Messungen werden an drei Standorten pro Untersuchungsraum (T 20, FK 24, FS 26, T 30, FS 33, FK 59) vorgenommen. Bei den Standorten, wo die Bodenfeuchte nicht direkt gemessen wird, wurden die Werte jenes Bodenfeuchtemeßpunktes eingesetzt, der dem Standort am besten entspricht.

Die Niederschlagsmenge entspricht der Gesamtmenge, die fürs Erosionsereignis verantwortlich war. I 5 ist die maximale Intensität in mm/min, die während des Ereignisses geherrscht hat. I 30 ist die Intensität während 30 Minuten. Sie ist aufgeführt, wenn sie länger als 15 Minuten wirksam war. Bei der Flächenangabe handelt es sich um die maximal mögliche Fläche, von der der Abtrag stammen kann.

6. Danksagung

Der Dank gilt besonders dem Schweizerischen Nationalfonds für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes. Ebenso aber auch Herrn Prof. Dr. H. Leser, der sich immer wieder mit ganzer Kraft für dieses Projekt einsetzt und verständnisvoll mir jede mögliche wissenschaftliche und arbeitstechnische Hilfe zukommen läßt. Der Dank gebührt auch allen anderen Projektmitarbeitern und den betroffenen Landwirten, ohne deren Mitarbeit bzw. Verständnis, eine derart umfangreiche Untersuchung gar nicht möglich wäre. Schlußendlich möchte ich die Großzügigkeit der Firma IBM-Schweiz nicht unerwähnt lassen, wo ich während eines 17-wöchigen Praktikums meine EDV Kenntnisse vertiefen und gleichzeitig die verschiedensten Systeme zur Datenspeicherung ausprobieren kann.

7. Literaturverzeichnis

IBM CALL AS
DATA-UNTERSYSTEM
FORM-NR. H12-1245, 1976, 18 S.

IBM CALL AS
GRAPH UNTERSYSTEM
FORM-NR. H12-1243, 1976, 33 S.

IBM CALL AS
REPORT-SPRACHE
BENUTZER-HANDBUCH
FORM-NR. H12-1266, 1977, 33 S.

IBM
CALL AS
DATA-UNTERSYSTEM

IBM
CALL AS
GRAPH UNTERSYSTEM

- IBM AS EINFUEHRUNG
HANDBUCH
FORM-NR. E12-1363, 1977, 78 S.
- IBM CALL AS
ALLGEMEINE DEFINITIONEN
HANDBUCH
FORM-NR. E12-1411, 1977, 46 S.
- IBM CALL AS
ALLGEMEINE BEFEHLE
HANDBUCH
FORM-NR. E12-1367, 1977, 86 S.
- IBM CALL AS
STATISTIK
HANDBUCH
FORM-NR. E12-1364, 1978, 102 S.
- LESER, H.: Das physisch-geographische Forschungsprogramm
des Geographischen Instituts der Universität Basel
in der Regio Basiliensis.
In: Regio Bas., XVI(1975), S.55-78
- LESER, H.: Probleme der quantitativen Aufnahme der Landschaft
im Forschungsprogramm der Physischen Geographie an
der Universität Basel.
In: Regio Bas., XIX(1978), S.45-55
- LESER, H., R.-G.SCHMIDT & W.SEILER: Bodenerosionsmessungen
im Hochrheintal und Jura (Schweiz).
1979 (im Druck)
- SCHMIDT, R.-G.: Probleme der Erfassung und Quantifizierung von
Ausmaß und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Ab-
spülung) auf Ackerflächen. Methoden und ihre Anwen-
dung in der Rheinschlinge zwischen Rheinfeldern und
Wallbach (Schweiz).
= Physiogeographica, 1, Basel 1979, 236 S.
- SEILER, W.: Meßeinrichtungen zur quantitativen Bestimmung des
Geoökofaktors Bodenerosion in der topologischen
Dimension auf Ackerflächen im Jura (südöstlich Basel).
1979 (im Druck)

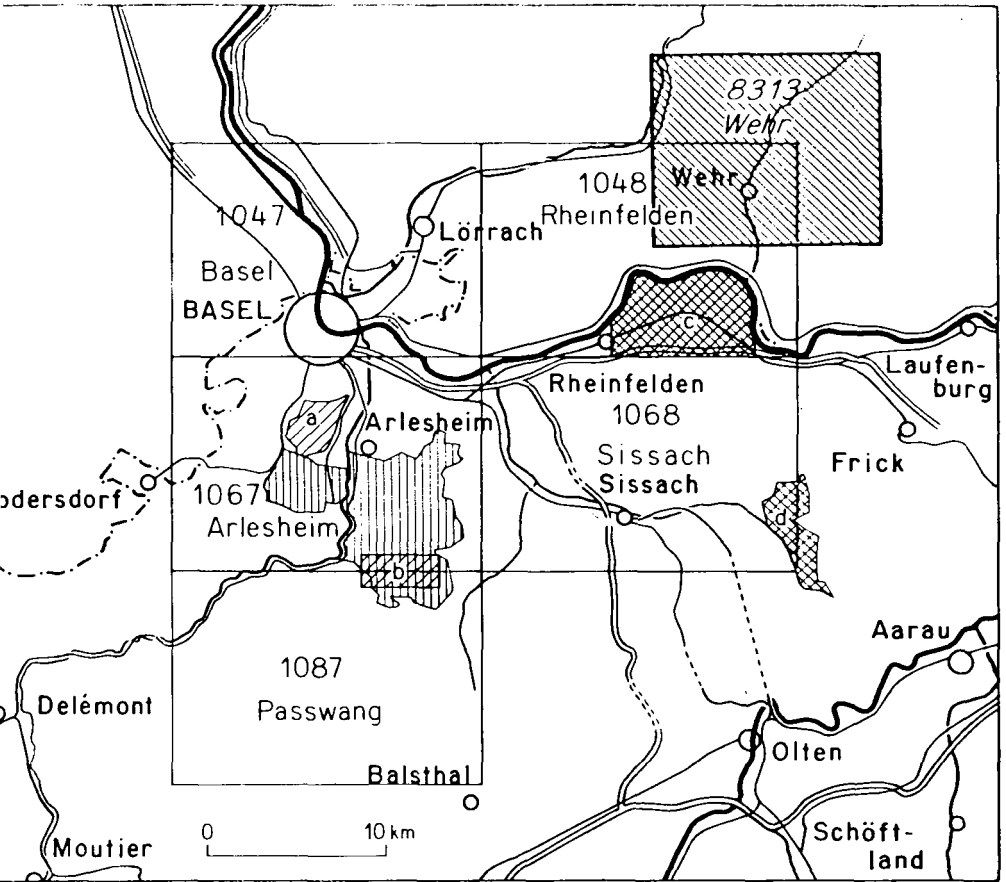


Abb. 1: Arbeitsräume der Forschungsgruppe Physiogeographie
am Geographischen Institut in Basel.

(vgl. H. LESER 1975 u. 1978)

Die vorgestellten Resultate stammen aus dem
Raum d) Rothenfluh-Anwil im Tafeljura.

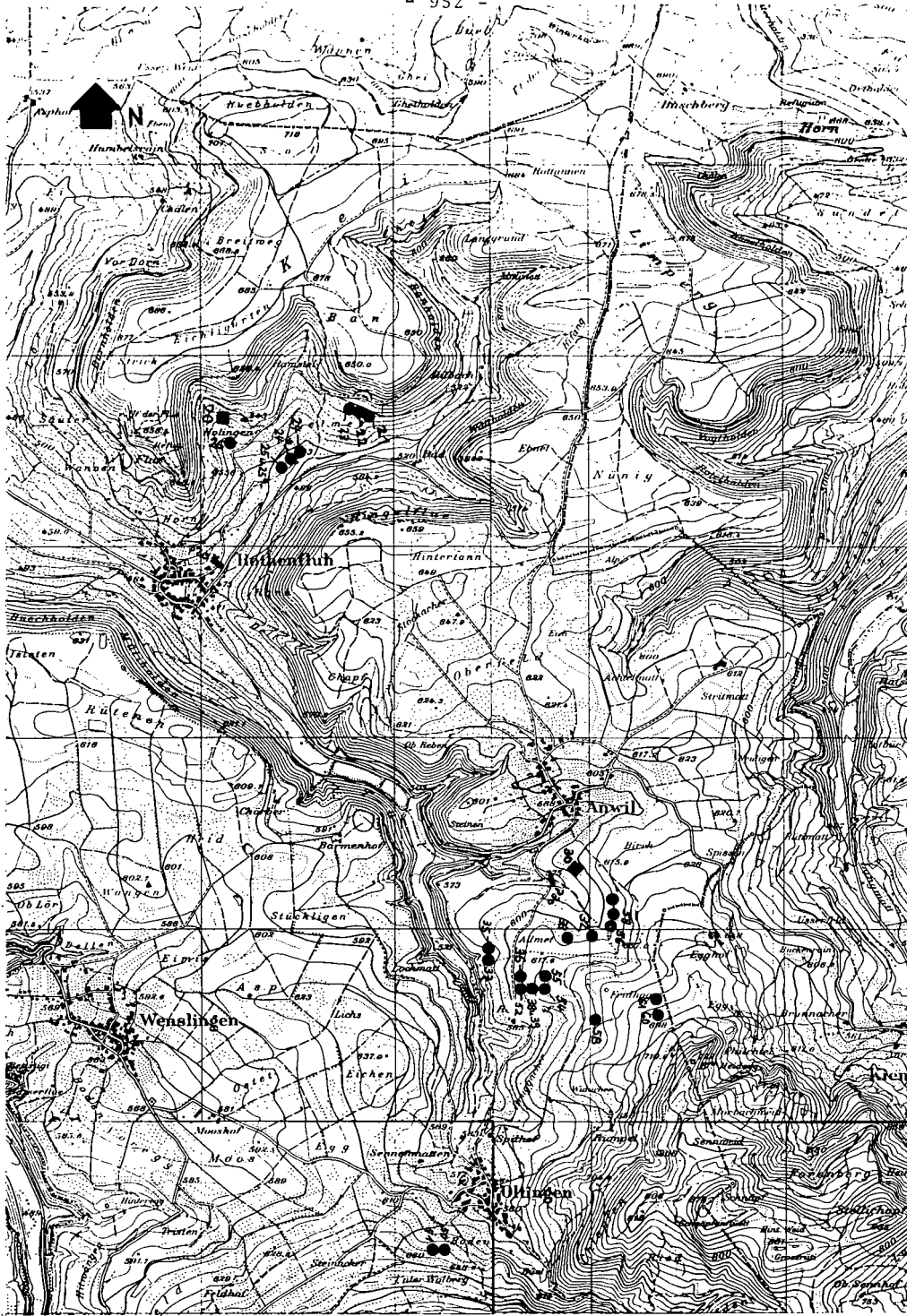


Abb. 2: Meßpunkte im Dübachtal bei Rothenthal und auf der Hochfläche von Anwil.
 M = 1 : 25.000 ■ Testflächen ● Feldmeßpunkte — Pegelmeßstellen

VERLAUF DER SEDIMENTKONZENTRATION

 P 30 / 25.01.-06.02.79

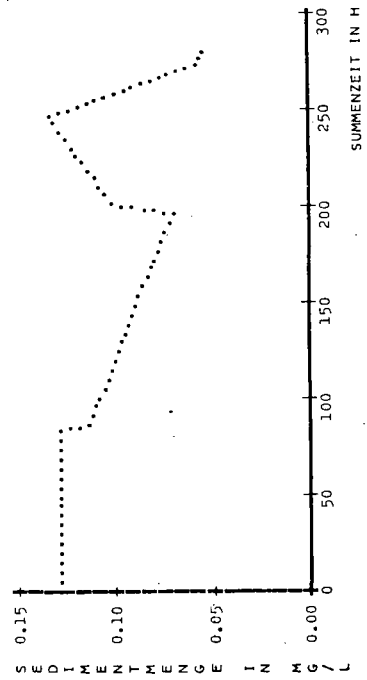


Abb. 4: (Erklärungen siehe Abb. 3)

VERLAUF DER SEDIMENTKONZENTRATION

 P 20 / 25.01.-06.02.79

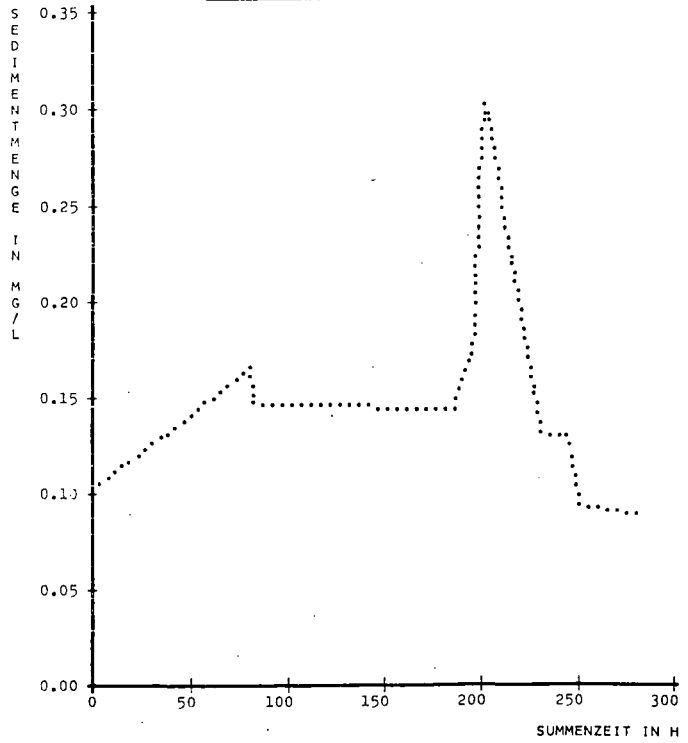


Abb. 3: Sedimentkonzentrationen vom 25.01.-06.02.79 im Dübach (P 20) und im Länenbächli (P 30). Der Anstieg der Konzentration ist im Länenbächli, wegen der langsameren Schneeschmelze geringer und um ca. 45 h verzögert.

DATUM	IN-HECHT		I 5 I		I 30 BOFEN		ORT	ARTBAG	POL-ELASTIC/VEGETATION/BEARBEITUNG	BECKENRUND	I % N	Masse	
	IN	WEI/WEI	MM/MI	MM/MI	MM/MI	MM/MI							IN GR
20.01.79	48	210	0,000	0,000	0,000	0,000	75,11750/21	15,1000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	1,29 t	197	
20.06.78	5	210	1,000	0,281	1,000	0,281	75,11750/21	33,1000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	4,51 t	235	
20.09.78	15	110	0,100	0,121	1,928	2,031	75,11750/21	84,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	0,8 t	144	
20.08.78	6	210	0,200	0,200	0,200	0,200	75,11750/21	50,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	13,06 t	185	
20.08.78	5	510	0,500	0,000	0,500	0,500	35,71750/21	155,2000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	5,1 t	207	
20.08.78	28	810	0,200	0,551	0,551	0,551	37,81750/21	120,5000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	6,44 t	1835	
20.03.79	172	810	0,020	0,331	0,161	0,161	37,81750/21	26880,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/BRACH	INTERFLUADAUFFLUS	11,000 g	

DER GESAMTABTRAG BELAUFT SICH AUF 27191,100
=====

DATUM	IN-HECHT		I 5 I		I 30 BOFEN		ORT	ARTBAG	POL-ELASTIC/VEGETATION/BEARBEITUNG	BECKENRUND	I % N	Masse	
	IN	WEI/WEI	MM/MI	MM/MI	MM/MI	MM/MI							IN GR
20.01.79	48	210	0,000	0,000	0,000	0,000	75,11750/21	15,1000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	0,45 t	419	
20.06.78	5	210	1,000	0,281	1,000	0,281	75,11750/21	33,1000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	1,36 t	200	
20.09.78	15	110	0,100	0,121	1,928	2,031	75,11750/21	35,9000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	4,18 t	368	
20.08.78	6	210	0,200	0,200	0,200	0,200	75,11750/21	41,2000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	5,14 t	1089	
20.08.78	16	110	0,100	0,191	1,931	2,031	37,81750/21	42,6000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	1,86 t	1089	
20.08.78	11	9210	0,100	0,451	0,121	0,121	35,01750/21	63,2000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	1,82 t	1100	
20.03.79	172	810	0,020	0,331	0,161	0,161	37,81750/21	9082,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/QUER	INTERFLUADAUFFLUS	11,000 g	

DER GESAMTABTRAG BELAUFT SICH AUF 9593,700
=====

DATUM	IN-HECHT		I 5 I		I 30 BOFEN		ORT	ARTBAG	POL-ELASTIC/VEGETATION/BEARBEITUNG	BECKENRUND	I % N	Masse	
	IN	WEI/WEI	MM/MI	MM/MI	MM/MI	MM/MI							IN GR
20.01.78	0	110	0,100	0,451	0,121	0,121	37,81750/21	0,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	0,00 t		
20.01.79	48	210	0,000	0,000	0,000	0,000	75,11750/21	46,7000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	1,64 t	471	
20.08.78	22	810	0,200	0,551	0,551	0,551	30,61750/21	190,6000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	1,64 t	471	
20.03.79	172	810	0,020	0,331	0,161	0,161	37,81750/21	5182,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	INTERFLUADAUFFLUS	11,000 g	

DER GESAMTABTRAG BELAUFT SICH AUF 8813,300
=====

DATUM	IN-HECHT		I 5 I		I 30 BOFEN		ORT	ARTBAG	POL-ELASTIC/VEGETATION/BEARBEITUNG	BECKENRUND	I % N	Masse	
	IN	WEI/WEI	MM/MI	MM/MI	MM/MI	MM/MI							IN GR
20.01.78	0	110	0,100	0,451	0,121	0,121	37,81750/21	0,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	0,00 t		
20.01.78	9	110	1,861	0,651	0,131	0,131	37,81750/21	0,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	0,00 t		
20.08.78	48	610	0,000	0,000	0,000	0,000	75,11750/21	46,7000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	0,00 t		
20.08.78	28	810	0,200	0,551	0,551	0,551	30,61750/21	50,1000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	0,76 t	2182	
20.03.79	172	810	0,020	0,331	0,161	0,161	37,81750/21	13912,0000	1011a	OLIVEGEMATION/LOS/LAENG	INTERFLUADAUFFLUS	11,000 g	

DER GESAMTABTRAG BELAUFT SICH AUF 88013,200
=====

Tab. 1: Abtragsergebnisse auf den Testflächen Ia Dübenthal (T 20) aufgestellt nach dem einfachen Teilverfahren.

DATUM	N-MEN IN MM	IMIT MM/MI	I 5 MM/MI	I 30 MM/MI	BOFEU GEWPR	ORT	ABTRAG IN GR	POT-FLA SQU+MET	NEIG GRAD	VEGETATION/BEARBEITUNG	BEMERKUNGEN
02.02.79	14.4	0.020	0.23	0.23	38.7	FK24	814.100	60	9.0	W-WEIZEN/QUER/10 CM	S-SCHMELZE-REGEN
02.02.79	14.4	0.020	0.23	0.23	38.7	FK24H	18024.000	945	6.0	W-WEIZEN/QUER/ 10 CM	S-SCHMELZE-REGEN
02.02.79	14.4	0.020	0.23	0.23	38.7	FK25	730.800	48	6.0	W-WEIZEN/LAENGS/10 CM	S-SCHMELZE-REGEN

DER GESAMTABTRAG BELAEUFT SICH AUF 19568.900
=====

DATUM	N-MEN IN MM	IMIT MM/MI	I 5 MM/MI	I 30 MM/MI	BOFEU GEWPR	ORT	ABTRAG IN GR	POT-FLA SQU+MET	NEIG GRAD	VEGETATION/BEARBEITUNG	BEMERKUNGEN
36.08.78	28.8	0.200	0.55	0.55	30.6	FK21	149.100	43	17.0	MAIS/LAENGS/100 CM	17 M = 10 GRAD
38.12.78	29.9	0.200	0.38	0.10	44.8	FK21	1015.300	43	17.0	BRACH/UNBEARBEITET	17 M = 10 GRAD
0.03.79	76.8	0.200	0.33	0.10	37.8	FK21	104.200	43	17.0	BRACH/UNBEARBEITET	17 M = 10 GRAD
36.08.78	29.8	0.200	0.55	0.55	30.6	FK22	96.500	43	17.0	MAIS/LAENGS/100 CM	17 M = 10 GRAD
38.12.78	29.9	0.200	0.38	0.10	44.8	FK22	414.800	43	17.0	BRACH/UNBEARBEITET	17 M = 10 GRAD
0.03.79	72.4	0.200	0.33	0.10	37.8	FK22	101.200	43	17.0	BRACH/UNBEARBEITET	17 M = 10 GRAD
16.08.78	28.8	0.200	0.55	0.55	30.6	FK23	41.200	43	16.0	MAIS/LAENGS/180 CM	18M=10-12 GRAD
40.03.79	72.4	0.200	0.33	0.10	37.8	FK23	96.100	43	16.0	BRACH/UNBEARBEITET	18M=10-12 GRAD

Tab. 3: Vergleich des Abtragsverhaltens einer Hangschutt-Braunerde-Rendzina bei durchlässigem ungefrorenem und undurchlässigem gefrorenem Untergrund.

DATUM	N-MEN IN MM	IMIT MM/MI	I 5 MM/MI	I 30 MM/MI	BOFEU GEWPR	ORT	ABTRAG IN GR	POT-FLA SQU+MET	NEIG GRAD	VEGETATION/BEARBEITUNG	BEMERKUNGEN
07/08.08.78	45.4	0.060	0.07	0.00	57.8	FS35	76.800	5529	13.0	RAHLEN/QUER/40 CM	1 SQM VEGE-LOS,VIEL
4.16.78	27.3	0.030	0.06	0.03	46.0	FK33	31.900	3250	11.0	MAIS/QUER/>200 CM	NEIG=2-11GRAD
7/08.08.78	45.4	0.060	0.07	0.06	57.8	FK33	270500.000	3250	11.0	MAIS/QUER/140 CM	NEIG 2-11GRAD
3.07.78	21.4	0.000	0.00	0.00	45.6	FK33	195.600	3250	11.0	MAIS/QUER/40-60 CM	NEIG=2-11GRAD
9.08.78	16.9	0.170	0.38	0.17	52.0	FK33	1076.100	3250	11.0	MAIS/QUER/120 CM	NEIG=2-11GRAD
3.08.78/2	2.0	0.000	0.09	0.00	58.5	FK33	900.000	3250	11.0	MAIS/QUER/120 CM	NEIG=2-11GRAD
1/08.08.78	45.4	0.060	0.07	0.07	57.8	FK33	50.300	40	14.0	MAIS/QUER/120 CM	1 SQM VEGLOS,SPLASH
7/08.08.78	45.4	0.060	0.07	0.00	57.8	FK33	35.200	720	14.0	RAHLEN/QUER/40 CM	1 SQM VEGLOS,SPLASH
2/03.02.79	10.6	0.020	0.12	0.02	75.5	FS33	3727.000	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	TEILWEISE SOLIFLUKTI
9.-11.02.79	55.2	0.050	0.08	0.08	46.8	FS33	154.500	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	IN IN 2 ETAPPEN
9.-12.78	26.6	0.020	0.12	0.08	40.7	FS33	53.200	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	LOKALE WASSERSCHIED
4.-12.03.79	67.7	0.030	0.20	0.16	41.8	FS33	8753.000	3250	11.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	NEIG=2-11GRAD
25.03.79	8.5	0.010	0.05	0.05	40.6	FS33	148.500	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	LOKALE WASSERSCHIED
48.12.78	-10.2	0.000	0.00	0.00	46.7	FS33	137.200	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	LOKALE WASSERSCHIED
25.12.78	15.3	0.000	0.00	0.00	47.4	FS33	92.000	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	LOKALE WASSERSCHIED
26.-28.01.79	26.5	0.010	0.00	0.00	65.9	FS33	142.500	3	2.0	BRACH/QUERGEPPFLUEGT	IFROSTHEBUNG

Tab. 4: Abtragsereignis am 07/08.08.78 auf der Hochfläche von Anwil, sowie sämtliche Erosionsereignisse bei FK bzw. FS 33 bis zum 15.03.79.

DATUM	N-MEN IN MM	MIT MM/MI	I 5 MM/MI	I 30 MM/MI	BOFEU GEWPR	ORT	ABTRAG IN GR	POT-FLA SQU+MET	NEIG GRAD	VEGETATION/BEARBEITUNG	BEMERKUNGEN	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	69.3	FB32	80.000	8	11.0	UNBEARBEITET/BRACH	10M->8GRA, WIE 30/1	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	69.3	FB56	195.000	42	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM	TEILWEISE SOLIFLUKT	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	69.3	FK55	1363.000	42	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM	TEILWEISE SOLIFLUKT	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	69.3	FK57	53.200	42	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM	TEILWEISE SOLIFLUKT	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	69.3	FK59	9217.000	252	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM	INTERFLOWAUSFLUSS	
02/03.02.79	10.6	10.020	0.12	0.02	75.5	FS33	3727.000	3	2.0	BRACH/QUERGEFLUEGT	TEILWEISE SOLIFLUKT	
DER GESAMTABTRAG BELAEUFT SICH AUF							14635.200	=====				
DATUM	N-MEN IN MM	MIT MM/MI	I 5 MM/MI	I 30 MM/MI	BOFEU GEWPR	ORT	ABTRAG IN GR	POT-FLA SQU+MET	NEIG GRAD	VEGETATION/BEARBEITUNG	BEMERKUNGEN	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FB32	408.000	8	11.0	UNBEARBEITET/BRACH	10M->8GRA, WIE 30/1	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FB36	55.600	10	10.0	UNBEARBEITET BRACH	WIE T30/1	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FB56	81.400	42	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM		
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FK52	40.800	20	10.0	UNBEARBEITET/BRACH	WIE T30/1	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FK53	52.100	10	5.5	UNBEARBEITET/BRACH	WIE T30/1	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FK54	59.900	20	5.5	UNBEARBEITET/BRACH	WIE T30/1	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FK58	910.600	55	11.0	W-WEIZEN/QUER/10 CM	20M=9GRAD/15M=10GRAD	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	FK59	17928.000	252	10.0	W-GERSTE/QUER/10 CM	QUELLHORIZONT	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	41.8	FS33	8753.000	3250	11.0	BRACH/QUERGEFLUEGT	NEIG=2-11GRAD	
10.-12.03.79	67.7	10.030	0.20	0.16	36.9	T30/2	7359.000	10	9.5	VEGETATIONSLOS/LAENG	QUELLHORIZONT	
DER GESAMTABTRAG BELAEUFT SICH AUF							35648.400	=====				

Tab. 5: Erosionsereignisse im Länenbächli am 02/03.02.79 während einer Schneeschmelze und zusätzlichem Niederschlag sowie am 10.-12.03.79 bei 67.7 mm in 45 h.

Erosivitätswerte (R-Werte n. Wischmeier)
verschiedener Gebiete Bayerns

von
Bader, S.

Die Bodenabtragungsgleichung nach Wischmeier und die Grundlagen und Methoden zur Berechnung der R-Werte aus den Regenschreiber-aufzeichnungen wurden erläutert. 280 ausgewählte Niederschläge der Station Hüll der Jahre 1961 - 1977 zeigten eine geringe Korrelation der Niederschlagshöhe N mit de R-Wert, gute Beziehungen zwischen R und den Variablen N und I_{30} , der maximalen 30-Minuten-Intensität. Eine Näherungsgleichung $R = f(I_{30} \text{ und } N)$ bietet sich für eine beschleunigte Auswertung an. Die Monate Juni, Juli und August brachten 70 % der erosiven Regen. Mehr als 50 % des R-Wertes stammen aus Regen mit $R < 70 \text{ J m}^{-2} \text{ mm h}^{-1}$.

Für 5 weitere Stationen in Bayern wurden Jahres-R-Werte zwischen 585 (Würzburg) und 1.009 (Passau) $\text{J m}^{-2} \text{ mm h}^{-1}$ errechnet. Die Jahresverteilung zeigt signifikante Unterschiede. Eine vorläufige Iso-Erosivitäts-Karte von Bayern wurde vorgestellt. Die Werte sind noch nicht gesichert, da noch mehr Jahre und Zwischenstationen bearbeitet werden müssen.

ISSN-0343-107X

Phosphataustrag durch Bodenerosion und
Oberflächenabfluß.

von

Preuße, H.-U.⁺ und W. Voss

Die Messung des Phosphoraustrages erfolgte auf 2 mal 8 m großen Erosionsparzellen in Mittelgebirgslandschaften Hessens auf Böden aus Löß, Buntsandstein und Granodiorit in den Jahren 1972 bis 1975 (Übersicht 1).

Während des Untersuchungszeitraumes lagen die Niederschläge in dem Lößgebiet unter dem langjährigen Mittel, im Buntsandsteingebiet im Bereich und im Granodioritgebiet über dem landjährigen Mittel. Von den Niederschlägen liefen in dem Lößgebiet zwischen 0,81 (LL 2) und 1,08 (LL 1), in dem Buntsandsteingebiet 1,50 (SM 2) und 1,62 (SM 1) und in dem Granodioritgebiet 3,58 (HH 2) und 6,09 (HH 1) Prozent oberflächlich ab.

Die Feststoffausträge sind großen Schwankungen unterworfen und erwartungsgemäß von den Ackerstationen höher als von den Acker-Grünstreifen- bzw. Grünlandstationen, ausgenommen die Acker-Uferböschungstation LL 3 im Jahr 1974/75 (Tab. 1).

Die Nutzung der Parzellen wirkt sich entscheidend auf die Konzentration der P-Fraktionen (P-gelöst und P-suspendiert) aus (Tab. 2). Die Konzentration erstgenannter Fraktion war in den Abläufen der Grünlandstationen bzw. denen der Acker-Uferstreifenstationen am höchsten, während bei Ackernutzung die Konzentration suspendierter Phosphate höher war als die der gelösten. Die mit durchschnittlich 2,63 ppm P höchste Konzentration gelöster Phosphate der Station LL 3 dürfte auf die Freisetzung dieser P-Form aus den Verwesungsprodukten der Gräser und Kräuter der nicht genutzten Uferböschung zurückzuführen sein.

⁺ Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Ludwigstraße 23, 6300 Gießen

⁺⁺ Außeninstitut f. Moorforschung u. angew. Bodenkunde, Friedrich-Mißler-Str. 46-48, 2800 Bremen

Die P-Austräge, gegliedert nach P-Fraktionen und Halbjahren, sind in Tab. 3 zusammengefaßt. Aus den Stationen des Lößgebietes werden während der Sommermonate mehr gelöste und suspendierte Phosphate ausgetragen als während der Wintermonate, ausgenommen die Stationen 2 bis 4 im Untersuchungs-jahr 1973/74. In dem Untersuchungsgebiet Salmünster (SM) sind dagegen die Winterausträge höher als die Sommerausträge, ausgenommen der P-gel-Austrag von der Ackerstation im Jahr 1973/74. In dem Granodioritgebiet (HH) ist der Austrag von der Grünlandstation im Winter, der von der Ackerstation im Sommer am höchsten.

Die durchschnittlichen jährlichen Austräge, ausgedrückt in g/ha, sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Sie betragen in dem Lößgebiet, abgesehen von der Station LL, 1, weniger als 200 g, in dem Buntsandsteingebiet knapp 400 g und in dem Granodioritgebiet mehr als 1 kg.

Bezüglich des Eutrophierungsrisikos sind die gelösten Phosphate an erster Stelle zu nennen, da sie sofort aktiv werden können. Aber auch die suspendierten Phosphate sollten berücksichtigt werden, da es sich hierbei um relativ labile Verbindungen handeln dürfte. Schwieriger dagegen ist die Wertung des fest an dem Erosionsmaterial gebundenen Phosphors, dessen Austrag in den beiden ersten Untersuchungs-jahren mit wenigen Ausnahmen unter 0,1 kg/ha lag. 1974/75 dagegen wurden von der Ackerparzelle des Hofgutes Hohenstein mehr als 10 kg P mit dem Erosionsmaterial ausgetragen, gefolgt von der Ackerparzelle 1 des Untersuchungsgebietes Lützelinden mit knapp 4 kg/ha. Die übrigen Werte dieses Untersuchungs-jahres bewegen sich zwischen 2,4 und 0,2 kg/ha.

Literatur:

- VOSS, W. und H.-U. PREUSSE: Die Gewässerbelastung durch den Oberflächenaustrag gelöster und fester Substanzen.-
Forschung und Beratung, Reihe C, Heft 30, 229 - 238
- VOSS, W. (1978): Ermittlung der Nährstoffumlagerung durch Erosion und Charakterisierung der Erosionsfracht einiger Vorfluter in hessischen Mittelgebirgs-Kleinlandschaften.-
Diss. Gießen

Übersicht 1: Untersuchungsgebiete und -stationen

Untersuchungs- gebiet	Station	Nutzung	Gefälle %
Lützellinden (LL)	1	Acker	13
(Löß)	2	Acker/Uferstreifen (7/1)	11
	3	Acker/Uferböschung (4/4)	8/35
	4	Acker	8
Salmünster (SM)	1	Wiese	8
(Sandstein) (SM1)	2	Acker	6
Hofgut Hohenstein (HH)	1	Weide	16
(Granodiorit)	2	Acker	16

Station	Bodentyp	Bodenart (A-Hor.)	Infiltr.-Rate (mm/h)
LL 1	Vega (Lößlehm)	1U	19,4
LL 2	Vega (Lößlehm)	1U	19,4
LL 3	Kolluvisol (Lößlehm)	1U	11,9
LL 4	Kolluvisol (Lößlehm)	1U	11,9
SM 1	Rankerbraunerde (Deck- sediment aus Buntsand- steinverw.-Material)	1S	1,5
SM 2	Kolluvisol	1u'S	2,4
HH 1	Braunerde (Solifluk- tionsmat.aus Diorit- verw.-Lehm)	1sU	2,6
HH 2	wie HH 1	uS	5,0

Fruchtfolge

Station	1972	1973	1974
LL 1/LL 2	Hafer	Weizen	Hafer
LL 3/LL 4	W-Gerste	Weizen	Hafer
SM 2		Weizen	Roggen
HH 2			Mais

Tabelle 1: Feststoff-Austrag (g/16 m²)

		72/73	73/74	74/75			73/74	74/75
So	LL 1	1506	126	8233	SM 1		2	6
Wi		0	25	19			67	273
So	LL 2	82	1	1223	SM 2		18	2
Wi		14	6	2			260	1314
So	LL 3	88	3	3168	HH 1			79
Wi		4	8	11				775
So	LL 4	257	2	2934	HH 2			6065
Wi		122	26	21				570

Tabelle 2: P-Konzentrationen (mg/L) in den Oberflächenabflüssen
(Mittelwerte)

Station	P-gel	P-susp	Station	P-gel	P-susp
LL 1	1,86	4,21	SM 1	1,99	1,09
LL 2	1,43	0,76	SM 2	0,86	1,69
LL 3	1,63	0,83	HH 1	1,13	0,84
LL 4	1,05	1,18	HH 2	1,23	1,77

Tabelle 3: Phosphor-Austrag (mg P/16 m²)

Sta- tion	Halb- jahr	1972/73		1973/74		1974/75	
		gel.	susp.	gel.	susp.	gel.	susp.
LL 1	So	231	1445	10	312	78	113
	Wi	0	0	3	7	55	28
LL 2	So	187	87	1	1	22	27
	Wi	6	6	8	6	5	2
LL 3	So	236	68	34	9	314	60
	Wi	7	13	68	22	43	16
LL 4	So	86	150	4	4	178	58
	Wi	8	62	6	9	6	12
SM 1	So			17	35	17	12
	Wi			242	76	601	178
SM 2	So			56	89	3	2
	Wi			33	112	316	513
HH 1	So					370	297
	Wi					566	490
HH 2	So					513	1007
	Wi					392	625

Tabelle 4: Phosphor-Austräge in g/ha und Jahr

Station	P-gelöst	P-suspendiert	Summe
LL 1	78	397	475
LL 2	47	27	49
LL 3	146	39	185
LL 4	60	62	122
SM 1	274	94	368
SM 2	127	223	350
HH 1	585	492	1077
HH 2	565	1022	1587

Unterbodenmeliorationen in der Marsch

von

Kuntze, H.⁺

Während die Notwendigkeit einer Dränung von Marschböden unbestritten ist, wird die Nachhaltigkeit der Dränwirkung sehr stark von ihrer Stratigraphie beeinflusst.

Brackmarschböden mit Dwoghorizonten zeigen nach Dränung deutlicher als zuvor ihre bisher verdeckten Staunäseeigenschaften.

Hier könnte eine Unterbodenmelioration einsetzen, wenn die für eine Tiefenbearbeitung dieser bindigen Böden notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1.) anhaltend negative klimatische Wasserbilanz und
- 2.) Austrocknung bis Ausrollgrenze im Bereich der Tiefenbearbeitung.

Über die Ergebnisse eines unter solchen günstigen Voraussetzungen im Herbst 1971 angelegten mehrjährigen Feldversuches in der Kehdinger Elbmarsch wird berichtet.

Verglichen werden: tiefes Pflügen, tiefes Lockern und Stufenpflügen auf jeweils 55 cm. Der Standort ist seit 1960 systematisch gedränt. Im 6jähr. Durchschnitt betrug der Mehrertrag durch die 3 Maßnahmen jeweils rund 6%. Bis zum 4. Versuchsjahr waren die Mehrerträge bei Getreide signifikant. Raps zeigte keine Reaktion auf die Unterbodenmelioration. Tiefgepflügt und tiefgelockert ließ die bodenverbessernde Wirkung allmählich nach. Nach dem Stufenpflügen zeigte der Versuch mit der Dauer zunehmende Erträge.

Als wirksame bodenphysikalische Parameter wurden im 7. Versuchsjahr Porenraumgliederung, Rohdichte, Eindring- und Abscher-

⁺

Nieders. Landesamt für Bodenforschung,
Bodentechnologisches Institut Bremen, Friedrich-Mißler-Str.
46/50, 2800 Bremen

widerstand bis 70 cm Tiefe ermittelt.

Die Gewinne an dränenden Porenraum ($> 10 \mu\text{m}$) liegen bei 4-6 Vol.% (Tiefpflügen $>$ Tieflockern $>$ Stufenpflügen). Sie werden weniger auf Zunahmen an Gesamtporenvolumen als durch Porenraumumverteilung erklärt.

Die nutzbare Feldkapazität nahm um 40-55 mm/70 cm Tiefe zu. Hierin zeigte die tiefgelockerte Variante den höchsten Zuwachs vor Stufenpflügen und Tiefpflügen.

Aus Feldmessungen des Eindring- und Abscherwiderstandes werden Tendenzen zur Wiederverdichtung deutlich.

Insgesamt ist durch Aufpflügen kalkhaltigen, feinsand- und grobschluffreichen Unterbodens ein kleiner Vorteil gegenüber Tieflockerung zu erkennen.

Literatur

Kuntze, H. u. R. Bartels: Unterbodenmelioration in der Marsch.
Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung im Druck

Gefügedynamik einer Knick-Brackmarsch nach Umbruch

von

Burghardt, W.*

Einleitung

Merkmale und Eigenschaften von Böden werden durch Kennzahlen charakterisiert. Diese Kennzahlen geben allgemein den Durchschnitt von Momentaufnahmen an einem oder an mehreren Profilen wieder. Böden unterliegen jedoch äußeren Einflüssen, z.B. der Witterung oder durch den Menschen. Entsprechend ihrer Dynamik reagieren Böden darauf.

Kulturtechnische Maßnahmen zielen auf eine Veränderung der Böden hin. Kenntnisse über die Dynamik von Böden geben einen besseren Einblick in die zur Erreichung bestimmter Veränderungen möglichen Maßnahmen, deren Wirkung und Erfolgsaussichten. So sollen im Folgenden erste Ergebnisse langjähriger bodenphysikalischer Untersuchungen zur Gefügedynamik der Krume einer Knick-Brackmarsch nach Grünlandumbruch mitgeteilt werden.

Standort

Die untersuchte Knick-Brackmarsch liegt östlich der Weser bei Meyenburg nahe Schwanewede. Die Krume, der die Untersuchungen galten, bestand aus humosem, schwach bis mittel schluffigem Ton. Weitere Kenndaten der Krume enthält Tab. 1. Der Knick reichte unmittelbar bis in den Ah bzw. in den späteren Ap. Es trat in der Krume Stauwasser auf. Das Grundwasser schwankte zwischen 0 und 12 dm unter Flur.

Der Standort wurde sowohl mit einer Maulwurf- als auch später mit einer Rohrdränung versehen. Anschließend wurde Grünlandumbruch

*Niedersächsisches Landesamt für Bödenforschung,
Bodentechnologisches Institut Bremen,
Friedrich-Mißler-Str. 46-50,
2800 Bremen 1.

vorgenommen. Der zeitliche Ablauf ist in Tab. 2 wiedergegeben.

Die Witterungsdaten der Untersuchungsjahre 1972 bis 1978 sind in Tab. 3 dargestellt. Der langjährige Durchschnitt der Niederschläge ist mit 727 mm relativ hoch. In der Tab. 3 treten deutlich die Trockenjahre 1975/76 und die nachfolgenden nassen Jahre 1977/78 hervor.

Methoden

Die Gefügecharakterisierung erfolgte durch die Bestimmung der Porenraumverteilung sowie der Aggregierung in Form der Rohdichte von Aggregaten. Die Probenahme erfolgte jährlich zu drei Terminen. Der erste Termin Ende April bis Mitte Mai bei einsetzender Vegetationsperiode, der zweite Termin Ende Mai bis Mitte Juli bei Beginn des Schossens, der dritte Termin zur Ernte im August bzw. September (Tab. 4).

Es wurde an Stechringproben pF-Wassergehalt-Beziehung (nach Richards, 1949) sowie aus Beutelproben die Rohdichte luftgetrockneter Aggregate von 1 - 2 mm und 5 - 8 mm \emptyset (nach Sunkel, 1960) bestimmt.

Ergebnisse

In den Tabellen 5, 6 und 7 sind die Mittelwerte sowie die Maxima und Minima des Gesamtporenvolumens (GPV), der Luftkapazität (LK, pF 1,8) und der nutzbaren Feldkapazität (nFK, pF 1,8 - 4,2) wiedergegeben. Dabei zeigte sich, daß sich der Umbruch spätestens nach zwei Jahren konsolidiert hatte. Der Acker weist danach noch zwischen den Probenahmezeitpunkten Schwankungen der GPV, der LK und der nFK von 5 - 10 Vol.-% auf. Diese Schwankungen können unmittelbar nach dem Umbruch bei jedem der obigen Merkmale etwas erhöht sein. Im Mittel ergibt sich gegenüber dem ursprünglichen Grünland eine leichte Zunahme des GPV und der nFK um 1 - 2 %, der LK jedoch um 8 %. Der Umbruch hatte somit im wesentlichen eine Krumenlockerung zur Folge, die sich zugunsten der Luftkapazität bei pF 1,8 auswirkte.

Nach einer Meliorationsmaßnahme, so auch hier nach Grünlandumbruch, treten zeitabhängige Veränderungen ein (Abb. 1). Diese sind bei dem GPV und bei der nFK noch einfach absicherbar. Für die LK ist diese Veränderung jedoch nicht mehr der Fall. Das GPV nimmt

nach dem Umbruch zunächst bis 1977 ab, um dann geringfügig wieder anzusteigen. Die nFK durchläuft ein ausgeprägtes Minimum in den Jahren 1975/76. In den folgenden Jahren ist ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Die LK zeigt eine leicht fallende Tendenz. Neben den auf die Meliorationsmaßnahme folgenden zeitabhängigen Veränderungen treten solche, die von äußeren Einflüssen abhängig sind. Als Beispiel wurde der Einfluß der Niederschlagssumme in dem der Probenahme vorangegangenen Monat herangezogen (Abb. 2). GPV, nFK und LK reagieren auf die Niederschläge. Nach schwachem Abfall bei 0 - 50 mm/Monat Niederschlag steigt bei 50 - 150 mm Niederschlag das GPV deutlich um 10 Vol.-% an. Die nFK zeigt ebenfalls einen starken Anstieg mit steigenden Niederschlägen und durchläuft bei 110 mm ein Maximum. Die LK hingegen weist bei 60 - 70 mm Niederschlag ein Minimum auf. Dabei ist zu berücksichtigen, daß hohe LK trotz hoher Niederschläge im Spätsommer auftraten.

Die Gefügedynamik kann vom Gehalt an Ton, Schluff und organischer Substanz, wie auch von der Aggregation abhängig sein. Die Aggregation wurde über die Rohdichte ermittelt. Umbruch verringerte zunächst die Rohdichte der Stechringproben wie auch der Aggregate (Tab. 8). Danach jedoch nahm die Rohdichte wieder zu.

Es stellt sich nun die Frage, welche Rolle spielt die Aggregation für obige Kennwerte. Dazu wurde zunächst der Gehalt an organischer Substanz als Glühverlust untersucht (Abb. 3). Der Glühverlust nimmt mit der Zeit allmählich ab. Ähnlich, aber reziprok, verändert sich die Rohdichte der Stechringproben wie auch der untersuchten Aggregatfraktionen von 1-2 und 5-8 mm Ø. Mit fortschreitender Zeit wird nach Grünlandumbruch die Rohdichte größer. Eine Abhängigkeit des Glühverlustes und der Rohdichte vom Niederschlag oder der klimatischen Wasserbilanz war nicht feststellbar.

Diskussion

Diese Ergebnisse lassen deutlich zeitliche Veränderungen nach Grünlandumbruch bei der untersuchten Knick-Brackmarsch erkennen. Diese Veränderungen betreffen besonders den Abbau organischer Substanz. Eine zunächst kurzfristige Anreicherung der organischen Substanz nach Umbruch hatte zu einem Abfall der Rohdichte der Aggregate, aber auch des Gesamtbodens geführt. Diese Wirkung trat jedoch nur kurzfristig auf. Vielmehr kam es mit der Zeit zu einem dichteren Aggregatgefüge. Beziehungen zur Witterung bestehen bei

diesem nicht. Der gefürchtete Gefügezerfall durch Übernässung zeichnete sich nicht ab.

Eine zeitabhängige Entwicklung trat auch bei den Porositätsmerkmalen wie Gesamtporenvolumen, nutzbare Feldkapazität auf. Diese Merkmale schwanken aber zwischen den einzelnen Untersuchungsterminen erheblich. Zudem weist die zeitliche Entwicklung ein Minimum auf. Dies, wie auch die Unterschiede zwischen den Probenahmetermen, dürfte auf der Abhängigkeit von der Witterung beruhen. Von 1972 bis 1975/76 war die Witterung trocken und in den folgenden Jahren wieder feuchter. Ebenso schwanken die Witterungsverhältnisse zwischen den Terminen. Die Dynamik der Krume dieser schwach schluffig-tonigen Knick-Brackmarsch ist demnach bei Acker-
nutzung von den Niederschlagsverhältnissen abhängig. Überraschend ist jedoch, daß auch die Luftkapazität ein Minimum durchläuft und damit in sehr feuchten Monaten des Spätsommers sich nicht nur durch eine hohe nutzbare Feldkapazität, sondern auch durch eine höhere Luftkapazität auszeichnet. Infolge der Staunässe dieser Böden wird die Luftkapazität jedoch nur begrenzt zur Wirkung kommen. Diese Böden beweisen damit aber auch ein hohes Vermögen, Niederschläge aufzunehmen und damit den Gebietswasserhaushalt von Spitzenabflüssen zu entlasten.

Aus der geringen Reaktion der Rohdichte der Aggregate auf die Witterungsverhältnisse stellt sich die Frage, ob die allgemein beschworene Gefügezerstörung durch die Bearbeitung solcher Böden im feuchten Zustand tatsächlich eintritt. Vielmehr scheint, zumindestens in der gelockerten Bodenzone der Krume, die Aggregatbildung keinesfalls erheblich gestört zu werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein feuchter Boden, der eine Verklebung von Bodenpartikeln durch Ton ermöglicht. Unter diesem Gesichtspunkt dürfte der Tonmineralart eine besondere Rolle zukommen.

Die ansteigende Luftkapazität des feuchten Bodens im Spätsommer ist wahrscheinlich durch eine Zunahme des Porenvolumens zwischen den Aggregaten bei Quellungsbeginn nach der sommerlichen Austrocknung bedingt. Maßnahmen zur Gefügestabilisierung solcher Böden wären infolge der höheren nutzbaren Feldkapazität und Luftkapazität gerade bei feuchterem Bodenzustand im Spätsommer empfehlenswert.

Zusammenfassung

Es wird über die Gefügedynamik der Krume einer schwach schluffig-tonigen Knick-Brackmarsch in den Jahren 1972-79 nach Grünlandumbruch anhand des Glühverlustes, der Rohdichte von Stechring- und Aggregatproben, des Gesamtporenvolumens, der nutzbaren Feldkapazität und der Luftkapazität berichtet. Es konnte eine zeitliche Gefügeänderung, eine Abhängigkeit des Gesamtporenvolumens, der Luftkapazität und der nutzbaren Feldkapazität von der Witterung, jedoch keine Gefügezerstörung durch die Witterungseinflüsse aufgezeigt werden.

Literaturhinweise

- Richards, L.A., 1949: Methods of measuring soil moisture tension. Soil Sci. 68, 95.
- Sunkel, R., 1960: Über die Porosität von Bodenaggregaten. Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 89, 17 - 27.

Tabelle 1: Einige Kennwerte des Krümmensbodens 1971

Organische Substanz	7,5 %
Ton	46 %
Fein- u. Mittelschluff	34 %
Grobschluff	19 %
Sand	1 %
pH	5
C/N-Verhältnis	10,6
Ca/Mg-Verhältnis	1,6

Tabelle 2: Standortsgeschichte von 1971 - 1979

1. Bis Herbst 1971 Dauergrünland
2. Herbst 1971 auf Teilfläche Maulwurfdränung und Umbruch
3. Herbst 1973 auf gesamter Fläche Rohrdränung; Umbruch auf restlicher Grünlandfläche

Tabelle 3: Niederschläge* (Meyenburg) und klimatische Wasserbilanz* (Meyenburg-Bremen)

	Niederschläge mm	klim. Wasserbilanz mm
1972	614	70
1973	760	129
1974	725	54
1975	603	- 84
1976	581	- 63
1977	758	228
1978	804	355

langj. Durchschnitt 729

*Quelle: Deutscher Wetterdienst

Tabelle 4: Jährliche Probenahmezeitpunkte

1. Termin: zu Beginn der Vegetationsperiode, 24.4. - 15.5.
2. Termin: während des Schossens, 31.5. - 20.6.
3. Termin: zur Ernte, 2.8. - 26.9.

Tabelle 5: Entwicklung des Gesamtporenvolumens (GPV) nach

Umbruch

Periode	Variante	mittl.GPV Vol.%	Min.-Max. GPV Vol.%
1972/73	Umbruch 1971	64	53 - 70
	Grünland	57	50 - 61
1974/75	Umbruch 1971	60	58 - 63
	Umbruch 1973	58	55 - 60
1977/78	Umbruch 1971	58	52 - 62
	Umbruch 1973	59	55 - 62

Tabelle 6: Entwicklung der nutzbaren Feldkapazität (nFK,

pF 1,8 - 4,2) nach Umbruch

Periode	Variante	mittl.nFK Vol.%	Min.-Max.nFK Vol.%
1972/73	Umbruch 1971	21	16 - 28
	Grünland	18	12 - 23
1974/75	Umbruch 1971	19	14 - 23
	Umbruch 1973	18	16 - 21
1977/78	Umbruch 1971	19	14 - 24
	Umbruch 1973	19	17 - 22

Tabelle 7: Entwicklung der Luftkapazität (LK, pF 1,8) nach

Umbruch

Periode	Variante	mittl.LK Vol.%	Min.-Max.LK Vol.%
1972/73	Umbruch 1971	12	4 - 14
	Grünland	4	1 - 6
1974/75	Umbruch 1971	9	4 - 14
	Umbruch 1973	8	5 - 13
1977/78	Umbruch 1971	8	4 - 12
	Umbruch 1973	10	7 - 13

Tabelle 8: Entwicklung der Rohdichte von Volumen- und Aggregat-
proben (1-3 und 5-8 mm Ø)

Periode	Variante	mittl.Rohdichte, g/cm ³		
		Volumen- probe	Aggregatprobe 1-3 mm Ø 5-8 mm Ø	
1972/73	Umbruch 1971	0,90	1,47	1,57
	Grünland	1,13	1,55	1,60
1974/75	Umbruch 1971	0,97	1,50	1,62
	Umbruch 1973	1,01	1,55	1,65
1977/78	Umbruch 1971	1,13	1,64	1,74
	Umbruch 1973	1,12	1,63	1,69

Abbildung 1
 Beziehung zwischen Gesamtporenvolumen (GPV) nutzbarer Feldkapazität (nFK, pF 1,8-4,2) Luftkapazität (LK, pF 1,8) der Krume einer Knick-Brackmarsch (Meyenburg) und der Zeit nach Grünlandumbruch

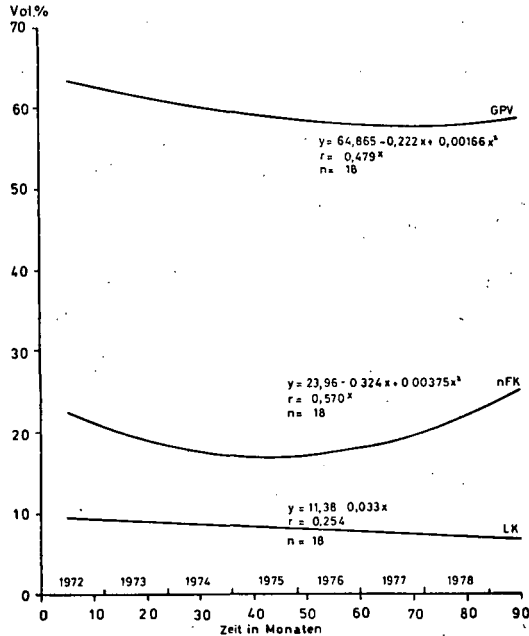


Abbildung 2
 Beziehung zwischen Niederschlag und Gesamtporenvolumen (GPV), nutzbarer Feldkapazität (nFK, pF 1,8-4,2) und Luftkapazität (LK, pF 1,8) der Krume einer Knick-Brackmarsch (Meyenburg)

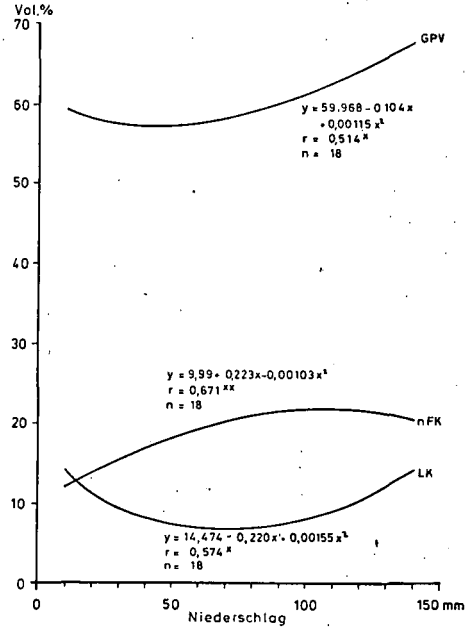
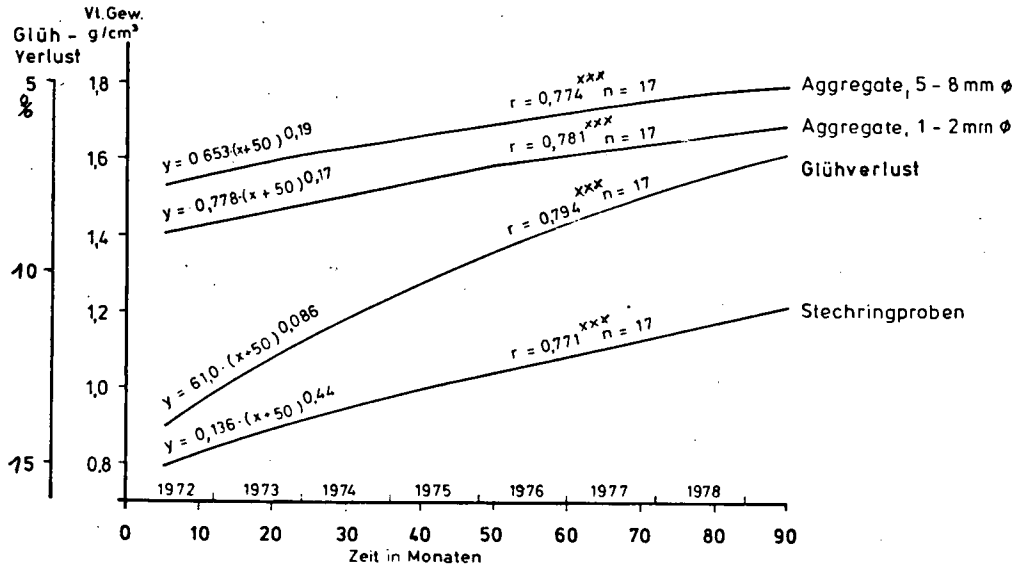


Abbildung 3

Beziehung zwischen Volumengewicht der Stechringproben, der lufttrockenen Aggregate, Glühverlust der Krume einer Knick-Brackmarsch (Meyenburg)



Modelle für die planmäßige Reintegration von
Abgrabungen in die umgebende Kulturlandschaft

von

M. Ehlers *

1. Einleitung:

Die Materialgewinnung von erdbürtigen Grundstoffen rechnet bekanntlich zu den nachhaltigsten Eingriffen in den Naturhaushalt, sofern nicht Maßnahmen der Rekultivierung mit Begründung einer planmäßigen Folgenutzung diese Flächen wieder sinnvoll in das Landschaftsbild reintegrieren (WOHLRAB, 1973).

Über das Ausmaß vorgenommener und zukünftiger Eingriffe berichtete DAHM-ARENS (1977) auf der letzten DBG-Tagung in Bremen.

Während für Abbaugenehmigungen nach Einführung der Landschaftspflege- oder spezieller Abtragungsgesetze die Vorlage und die Durchführung der Rekultivierungsplanung zwingend ist, stellen häufig die vielfältigen, schon vor mehr oder weniger langer Zeit stillgelegten Abgrabungen ein besonderes Problem dar.

Die Reintegration all jener zuletzt angesprochenen Abgrabungen in die umgebende Kulturlandschaft ist, wenn überhaupt vorgenommen, in der Regel nicht zielgerichtet. Tatsächliche Folgenutzungen sind kaum gesteuert, sondern von mehr dem Zufall unterworfenen Vorstellungen abhängig, weil aufgrund der komplexen, vielfach auch in Wechselwirkung stehenden ökologischen und objektbezogenen Standorteigenschaften die Eignung für eine entsprechende optimale Folgenutzung nur schwer ableitbar ist.

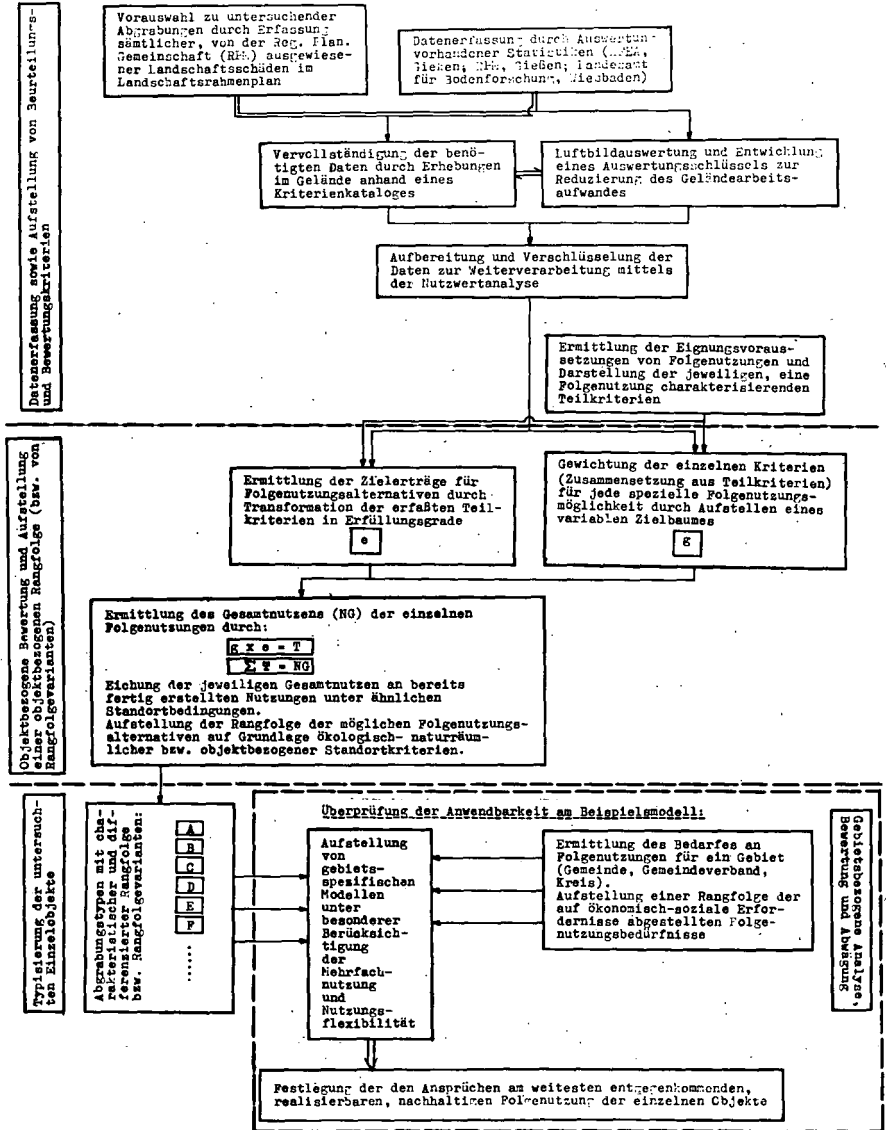
Zum Teil werden diese Probleme auch in Zukunft noch bestehen.

Im Rahmen der regionalen und örtlichen Planung (Landschaftsrahmenplanung, Baulandplanung) muß dagegen für die Bereitstellung von Flächen für bestimmte Nutzungen, z.B.: Ersatzland für land- und forstwirtschaftliche Nutzung, Siedlungs- und Gewerbeflächen, Flächen für Freizeit- und Erholungsaktivitäten usw., gesorgt werden.

Ob und in welchem Umfang dieser Flächenbedarf über aufgelassene oder in absehbarer Zeit stillzuliegenden Abgrabungen gedeckt werden kann, hängt von den Folge-

* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur, -Landeskultur-, der Justus-Liebig-Universität, Senckenbergstraße 3, D-6300 Gießen

Tafel 1 : Flußdiagramm für die Auswahl von Folgenutzungen



nutzungsmöglichkeiten ab, die sich durch die ökologischen und objektbezogenen Standortgegebenheiten dieser Fläche bieten oder unter Berücksichtigung zusätzlicher Rekultivierungsmaßnahmen erstellen lassen.

Vor diesem Hintergrund ist die folgende, dankenswerterweise von der DFG unterstützte Forschungsarbeit zu sehen.

Eine Übersicht über den Arbeitsablauf ist in Taf. 1 gegeben. Hierin wird dargestellt, daß auf Grundlage einer Datenerfassung und über die Bewertung dieser Daten mittels der Nutzwertanalyse Aussagen über die Rangfolge geeigneter Folgenutzungen oder Folgenutzungsvarianten von noch nicht in die umgebende Kulturlandschaft reintegrierten Abgrabungen gemacht werden. Basierend auf den Ergebnissen der Nutzwertanalyse wird anschließend eine Typisierung dieser Abgrabungen in Bezug auf ihre Folgenutzung vorgenommen. Unter Berücksichtigung der Mehrfachnutzung und der Nutzungsflexibilität (Nutzungswandel) werden diese Abgrabungen innerhalb eines Gebietes (z.B.: Gemeinde, bzw. Gemeindeverband) einer Rangfolge der auf ökonomisch-soziale Erfordernisse abgestellten Folgenutzungsbedürfnisse gegenübergestellt. Hieraus werden die, den Ansprüchen am weitesten entgegenkommenden realisierbaren, nachhaltigen Folgenutzungen der einzelnen Objekte festgelegt.

2. Untersuchungs- und Bewertungsmethodik:

2.1 Die Datenerfassung:

Als erster Arbeitsschritt (s. Taf. 1) stützt sich die Datenerfassung auf Ergebnisse der Landschaftsschadenskartierung der Hessischen Forsteinrichtungsanstalt (Gießen) in den Jahren 1971 und 1973, sowie auf Studien zur Sanierung von Erdaufschlüssen in Mittelhessen (CARL, 1972). Da diese vorliegenden, mehr oder weniger detaillierten Erhebungen, die auch in anderen Bundesländern oder Regionen (vgl. SÖHNGEN, 1976; BAGNER, 1978) in ähnlicher Form durchgeführt wurden, aufgrund anderer Zielsetzungen nur eine geringe, z.T. auch schon veraltete Datenfülle bieten, die für die, der Zielsetzung dieser Arbeit erforderlichen Beurteilung und Bewertung nicht ausreichen, mußte eine erneute Geländeaufnahme von Abgrabungsflächen vorgenommen werden.

Eine Vorauswahl von zu untersuchenden Abgrabungen wurde dahingehend unternommen, daß aus den rund 1.350 Landschaftsschäden in Mittelhessen (es handelt sich hierbei um Sand-, Kies-, Lehm- und Tongruben, Basalt-, Diabas-, Quarzit- und Kalksteinbrüche, Erzabbauf Flächen und Braunkohlentagebaue, weiterhin aber auch um Anschüttungen und Mülldeponien) rund 200, ausschließlich Abgrabungen, untersucht werden, und zwar jene, die als unbedingt zu rekultivierender Landschaftsschaden im Regionalen Raumordnungsplan (gleichzeitig Landschaftsrahmenplan) von der Regionalen Planungsgemeinschaft Mittelhessen (RPM, 1975) ausgewiesen worden sind.

Nach einleitenden Geländeerkundungen wurde in Anlehnung an die HFEA (1971, 1973) und an SÜHNGEN (1976) ein erweiterter Kriterienkatalog aufgestellt, der möglichst umfassend alle für die Beurteilung und Bewertung der Folgenutzungsmöglichkeiten als wesentlich anzusehenden Kriterien enthält.

Zusammenfassend werden die im Gelände aufgenommenen Kriterien, die zur besseren Erfassung jeweils in mehrere Teilkriterien untergliedert sind, in Taf. 2 dargestellt. Es werden hier Daten aufgenommen, die Hinweise auf allgemeine Orientierungsdaten (Gruppe A) geben und allgemeine ökologische Kriterien (Gruppe B), die morphometrischen Merkmale einer Abgrabung einschließlich der Gewässer (Gruppe C) und besondere, örtlich spezifische Angaben (Gruppe D) umfassen.

Tafel 2: Kriterien der Bestandsaufnahme
(ohne Darstellung der einzelnen Teilkriterien)

A. Kennzeichnung des Objektes

- Objekt-Nr., Forstamts-Nr., Nr. der TK 50, Koordinaten
- Betriebsdaten (in Abbau, gestundet, voraussichtlicher Zeitpunkt bzw. Jahr der Stilllegung)
- Eigentümer der Fläche (Staat, Kommune, Körperschaft, Privat)
- Art der Abgrabung (Sandgruben, trocken; Kiesgruben im Grundwasser; Lehm- und Tongruben; Steinbrüche usw.)

B. Lage, Klima, Lagerstätte

- Natur- und wirtschaftsräumliche Zuordnung
- Geographische Lage (Gemeinde, Siedlungsorte der Umgebung, Zugänglichkeit)
- Nachbarschaft zu anderen Abgrabungen
- Relief (Höhenlage, Exposition, Inklination, Lage zum Hang)
- Klima (\bar{p} Jahresniederschlagssumme, \bar{p} Jahrestemperatur, Sonnentage)
- Lagerstätte (Gesteinsart, Schichtung, Formation)
- Böden (Art, Typ), evtl am Abgrabungsrand
- Nutzungsweise des Umlandes

C. Topographische und morphologische Merkmale der Abgrabung

- Umrißform (Skizze des Grundrisses)
- Terrassen, Bermen, Böschungsneigung
- Flächengröße mit Differenzierung in Sohl-, Wasser-, Böschungs- und Abgrabungsrandflächen
- Öffnungsgrad
- Abbautiefe
- Wasserspiegel unter GOK (ungestört)
- Zu- und Abfluß

D. Gegenwärtiger Zustand der Abgrabung

- Art und Zustand von Betriebsanlagen
- Abraumwirtschaft (Kulturbodenbilanz, Kulturbodendepot oder -mieten)
- Eigenschaften des Ausgangssubstrats (Gestein, Boden) im Hinblick auf die Rekultivierung
- Vernässungen (Stauansätze, oberflächennahes Grundwasser)
- Verunreinigung mit Abfallstoffen
- Einfluß der Abgrabung auf die Umgebung und umgekehrt
- Wissenschaftliche, kulturhistorische und erholungslandschaftliche Besonderheiten
- Gegenwärtiger Bewuchs
- Derzeitige landschaftliche Eingliederung
- Etwaige Nutzung
- Vorgesehene Nutzung (nach Hinweisen von: HFEA, RPM (1975), Eigentümer).

Zusätzlich wurde inzwischen mit einer stereoskopischen Luftbilddauswertung begonnen. Sie hat das Ziel, auch die nicht im Gelände aufgenommenen Objekte zu erfassen und in Anlehnung an den vorstehenden Kriterienkatalog in die Gesamtauswertung einzubeziehen. Hierbei soll versucht werden, einen Auswertungsschlüssel aufzustellen, der es ermöglicht, bei derartigen Erhebungen überregionalen Ausmaßes, die zeitaufwendige Geländearbeit stark zu reduzieren.

2.2. Die Datenbewertung:

Sie soll fundierte Aussagen über die Eignung der untersuchten Abgrabungen für verschiedene Folgenutzungen ermöglichen. In Tafel 3 werden deshalb zunächst die verschiedenen Folgenutzungsmöglichkeiten, ausgehend von der Rekultivierung bis zu dem Ziel der optimalen, bestmöglichen Raumnutzung aufgezeigt. Die im wesentlichen zu berücksichtigenden Varianten wurden differenziert nach Folgenutzungen vorherrschend wasserflächengebundener und vorherrschend landflächengebundener Art. Diese wiederum untergliedert in die Folgenutzungsbereiche der Landschaftspflege und des Naturschutzes, der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft, der Nutzung für den Siedlungs-, Freizeit- und Erholungsbereich sowie der militärischen Nutzung (vgl. v. ACKEN & SCHLÖTER, 1973).

Da die vorgenommene Bestandsaufnahme nur z.T. quantitative bzw. halbquantitative Angaben liefert, wurde als Bewertungsinstrument die hierfür geeignete Nutzwertanalyse gewählt (ZANGEMEISTER, 1976). Sie bietet sich besonders für Entscheidungsfindungen mit einer Vielzahl in ihrer Bedeutung divergierender Ziele an, bei denen aus verschiedenen großen Zielerfüllungen und unterschiedlichen Zielgewichtungen ein Gesamturteil abzuleiten ist.

Der Ablauf der Nutzwertanalyse soll nun, mit Beispielen versehen, kurz dargestellt werden:

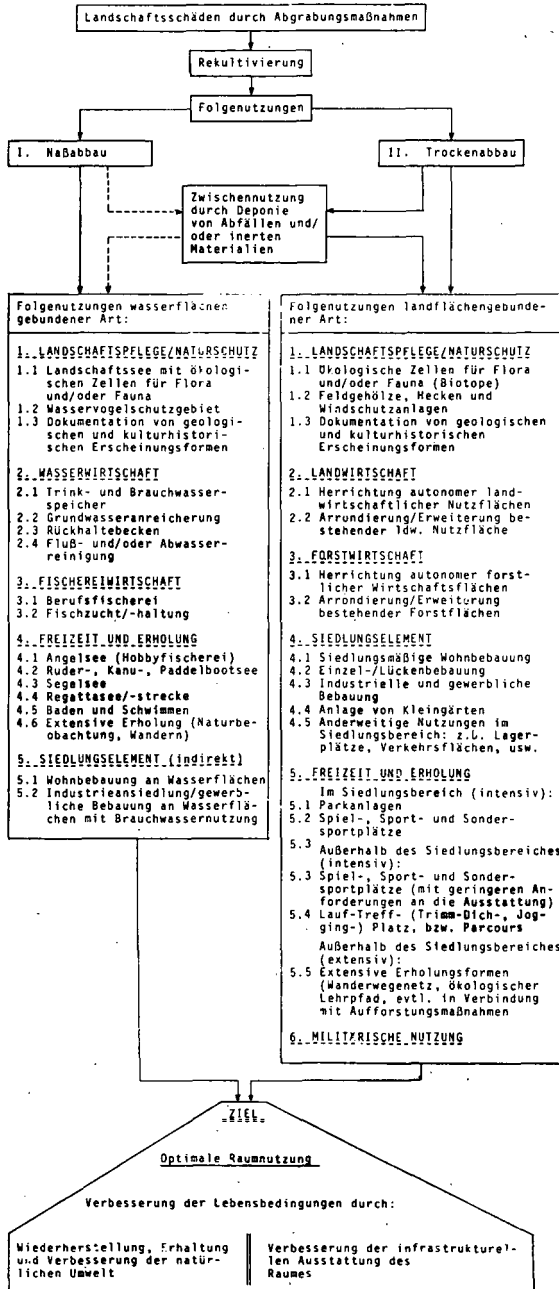
2.2.1. Das Zielprogramm:

Zunächst wird stufenweise ein hierarchisch geordnetes Zielprogramm aufgebaut, welches sich zweckmäßigerweise am besten in Form eines Zielbaumes darstellen läßt (s. Taf. 4). Obergeordnete Kriterien werden hierin auf der nächstniedrigeren Stufe weiter aufgegliedert und auf der untersten Stufe schließlich einer Beurteilung unterzogen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit, Vergleichbarkeit und zur Erleichterung der später einzusetzenden Datenverarbeitung wurde in diesem Fall ein im System einheitlicher Zielbaum für alle Folgenutzungen entwickelt.

2.2.2. Die Gewichtung:

Sie muß vorgenommen werden, da die aus dem Bestandsaufnahmekatalog zusammengestellten Kriterien von unterschiedlicher Bedeutung für die einzelnen Folgenut-

Tafel 3 : Systematische Gliederung der Folgenutzungsalternativen im Hinblick auf eine optimale Raumnutzung



zungsmöglichkeiten sind. Tafel 4 zeigt weiterhin die Gewichtung der Kriterien für das Beispiel einer landflächengebundenen Folgenutzung, der "Herrichtung autonomer landwirtschaftlicher Nutzflächen".

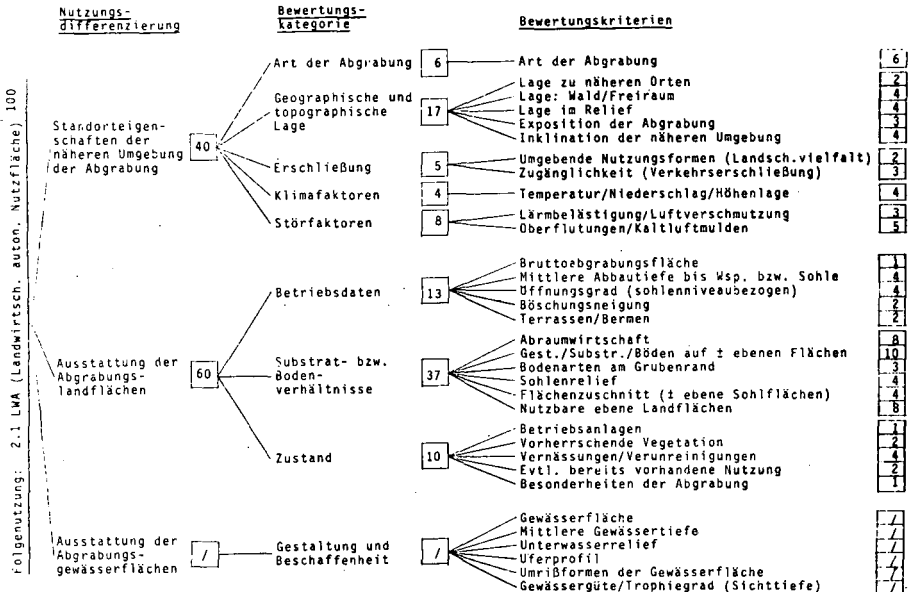
Die Ausweisung der landwirtschaftlichen Folgenutzung ist nur dann sinnvoll, wenn folgende Bedingungen (Eignungsvoraussetzungen) erfüllt sind: Größe = 10 ha, annähernd rechteckiger Grundriß, ebenes Gelände mit geringem Böschungsflächenanteil, nach einer Seite geöffnet, so daß lokalklimatische Extreme auszuschließen sind, ausreichender Grundwasserflurabstand und eine kulturfähige Bodenauflage von ausreichender Mächtigkeit (WOHLRAB, 1970).

Der Schwerpunkt der Gewichtung liegt deshalb auch selbverständlich auf den entsprechenden Kriterien der "Ausstattung der Abgrabungslandflächen", wobei die Bewertungskriterien "Abraumwirtschaft", "Gesteine, Substrate, Böden auf ± ebenen Flächen" sowie die "Nutzbare Landfläche (ha)" und der "Flächenzuschnitt" ein besonderes Gewicht besitzen.

Bei anderen Nutzungsvarianten, wie z.B.: "Baden und Schwimmen" für wasserflächengebundene Folgenutzungen würde der Schwerpunkt der Gewichtung auf die Bewertungskriterien der "Ausstattung der Abgrabungsgewässerflächen" fallen.

Die Gewichtung ist auf den einzelnen Stufen so gewählt, daß sich jeweils eine Summe von 100 ergibt.

Tafel 4: Zielbaum (Zielhierarchie) mit Gewichtung der Bewertungskriterien für die Folgenutzung "Herrichtung autonomer landwirtschaftl. Nutzflächen"



2.2.3. Der Zielerfüllungsgrad:

Die im Gelände aufgenommenen Daten der Bewertungskriterien werden des weiteren in ihrer Ausprägung im Hinblick auf ihre Eignung für die verschiedenen Folgenutzungsmöglichkeiten bewertet. Diese Zielerträge können mit Hilfe einer verbalen Werteskala durch Transformation der Kriterien in dimensionslose Zielerfüllungsgrade bestimmt werden.

Die verbale Werteskala (s. Taf. 5) umfaßt in diesem Fall 6 Stufen, die von der Ziffer 0 (= absolut kein Nutzen, Folgenutzung ist unmöglich und wird weiterhin in der Bewertung nicht mehr beachtet = Grobfilter) bis 5 (= sehr guter bis maximaler Nutzen reichen. Kriterien, die keine Bedeutung oder Auswirkung auf die entsprechende Folgenutzung haben, also indifferent wirken, wurden mit der Ziffer 3 bewertet.

Tafel 5: Zielertragsmatrix für das Bewertungskriterium:
"Gesteine, Substrate, Böden auf ± ebenen Flächen"

Werteskala der Erfüllungsgrade:

Ziffer	Verbalbeschreibung
0	Absolut kein Nutzen, Folgenutzung nicht möglich
1	Geringer bis fast vernachlässigbarer Nutzen
2	Ausreichender Nutzen
3	Indifferenter Nutzen
4	Mittelmäßiger bis guter Nutzen
5	Sehr guter bis maximaler Nutzen

Ermittlung der Zielerträge durch Transformation der aufgenommenen Kriterien (Teilkriterien) in Erfüllungsgrade:

Folgenutzungsalternativen	Kriterium: Gest./ Substr./ Böden auf ± ebenen Flächen									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Landflächen	Hartgest. Schutt, unverb. Ton	Rohsubstrate: Sande, Kiese	z. Teil dünne von Feinmat	oberfl. ganz m. Auflage bedeckt	öbfl. m. F.mat. unter-sch. u. m. Nicht bedeckt	vollst. m. Müll abged.	Abräum-ent-wickelte Böden gemisch	ent-wickelte Böden		
1.1 ÜKZ	4	5	4	3	3	3	3	3		
1.2 FHW	4	4	4	5	5	4	5	5		
1.3 DOK	4	4	4	3	3	1	3	3		
2.1 LWA	0	2	1	2	2	2	4	5		
2.2 LWE	1	2	1	2	4	4	4	5		
3.1 FWA	1	4	2	4	5	4	5	5		
3.2 FWE	1	4	4	5	5	4	5	5		
4.1 SWO	4	4	4	4	4	1	4	4		
4.2 EWO	4	4	4	4	4	1	4	4		
4.3 IGB	4	3	3	3	3	1	3	3		
4.4 KLG	1	2	2	4	4	4	4	5		
4.5 LVK	3	3	3	3	3	4	3	3		
5.1 PAR	2	2	2	4	4	4	5	5		
5.2 SSI	2	4	2	4	4	4	4	4		
5.3 SSA	3	5	3	4	4	4	4	4		
5.4 LTR	3	3	3	3	3	3	3	3		
5.5 ERE	4	4	4	4	4	4	4	4		
6.0 MTN	4	5	4	4	4	4	4	4		

Hinweise aus der Literatur: Wohlrab (1970, 1973), Wohlrab & Söhngen (1975), HLU (1975)

Die Zielertragsmatrix (Taf. 5) zeigt die dimensionslosen Zielerfüllungsgrade für das Bewertungskriterium "Gesteine, Substrate, Böden auf \pm ebenen Flächen".

Bezogen auf die "Herrichtung autonomer landwirtschaftlicher Nutzflächen" ist die Bewertung der Teilkriterien folgendermaßen vorgenommen worden:

Bestehen bei einer Abgrabung die \pm ebenen Flächen aus Hartgestein, Schutt oder ähnlichem, ist die landwirtschaftliche Nutzung nicht möglich, dagegen bietet eine mit Müll verfüllte und ausreichend mit kulturfähigem Boden abgedeckte Abgrabung einen ausreichenden Nutzen. Kulturbodengemische bzw. entwickelte Böden sind für die landwirtschaftliche Nutzung als gut bis sehr gut bewertet (Taf. 5, Zeile 2.1).

Sowohl die Aufstellung der Gewichtung als auch die Bewertung im Hinblick auf den Zielerfüllungsgrad sollen, sofern sie sich nicht auf Regelwerke, Normen, Richtlinien oder Merkblätter stützen, durch eine Expertenbefragung überprüft und somit gewissermaßen "objektiviert" werden.

2.2.4. Die Wertsynthese:

Durch Addition der Teilnutzwerte, die sich durch Multiplikation der Gewichtungsfaktoren mit dem Zielerfüllungsgrad ergeben, wird der jeweilige Gesamtnutzwert für sämtliche Folgenutzungsvarianten ermittelt.

Aus methodischen Gründen ist es jedoch nicht vertretbar, die Gesamtnutzwerte der Folgenutzungsvarianten unmittelbar zur Aufstellung einer Eignungsrangfolge heranzuziehen, da sie sich aus nutzungsspezifisch verschieden gewichteten Teilnutzen zusammensetzen. Sie bedürfen daher noch einer "Eichung", die anhand gleichartiger Bewertung von Abgrabungen mit schon existenter Folgenutzung vorgenommen werden. Auf diese Weise ist das in der Praxis realisierbare Maximum des Gesamtnutzwertes der jeweiligen Folgenutzung zu ermitteln und danach eine Klassifizierung in Eignungsstufen (sehr gut, gut,, kaum geeignet) durchzuführen.

Anhand der Eignungsklassifikation für jede Folgenutzung kann jetzt die Rangfolge der möglichen Varianten aufgestellt werden, auch bei unterschiedlicher Gewichtung der Kriterien, wie es bei dieser Problemstellung der Fall ist.

2.3. Typisierung der untersuchten Einzelobjekte:

Eine Typisierung der noch nicht in die umgebende Kulturlandschaft reintegrierten Abgrabungen kann erst nach Vorliegen der Rangfolgeergebnisse aus der Nutzwertanalyse erarbeitet werden, da sie im wesentlichen hierauf basiert. Weiterhin werden bei der Typisierung aber auch Varianten von Folgenutzungen mit noch angemessener Leistungsfähigkeit unter den örtlichen Bedingungen vor allem im Hinblick auf die Flexibilität (Möglichkeit eines Nutzungswandels bei veränderten Prioritäten im Laufe der Zeit) und die Möglichkeit der Mehrfachnutzung berücksichtigt (s. Taf. 1).

Die beiden letzten Merkmale sind vor allem von Bedeutung für die Realisierung von Folgenutzungsbedürfnissen des umgebenden Raumes.

2.4. Beispielsmodell für eine gebietsbezogene Rekultivierung:

Den Prinzipien anwendungsorientierter Forschung entspricht es, die gewonnenen Erkenntnisse wenigstens an einem Beispielsmodell zu evaluieren. Es wird sich von der Abgrenzung her um einen Gemeindeverband handeln, der verschiedene naturräumliche Bereiche umfaßt und in dessen Grenzen möglichst differierende Abgrabungstypen (Abbauregionen) vorkommen. Die Ansprüche an bestimmte Folgenutzungen auf Abtragungsgelände sollten - aufgrund heterogener funktionaler Ausrichtung in den verschiedenen Zonen des Gemeindeverbandsgebietes (landw. Vorrang, Wasservorrang, Vorrang für Freizeit und Erholung, u.a.) möglichst vielfältig sein.

Den nach überwiegend ökologischen Kriterien hinsichtlich ihrer Folgenutzungsmöglichkeiten bewerteten Typen werden die Folgenutzungsbedürfnisse gegenübergestellt. Letztere sind von den Planungsträgern zu erfragen und nach Möglichkeit - gemeinsam mit ihnen - in eine zonale Rangfolge zu bringen.

Aus der Gegenüberstellung - evtl. in mehreren Varianten - ist der Grad der Bedarfsdeckung und vor allem, dem Forschungsziel gemäß, der Grad der möglichen Reintegration der Abgrabungsflächen abzuleiten.

4. Zusammenfassung und Ausblick:

Zusammenfassend ist zu bemerken, daß durch die Ermittlung der Folgenutzungseignungen der Abgrabungsflächen der Orts- und Regionalplanung ein Instrument an die Hand gegeben werden soll, welches es ermöglicht, eine gesteuerte Rekultivierung durch Begründung einer planmäßigen, den Standortverhältnissen angepaßten, der bestmöglichen Raumnutzung genügenden Folgenutzung vorzunehmen.

Literatur:

- ACKEN, v. D. & U. SCHLÖTER (1973):
Probleme, Kriterien und Verfahren zur Bestimmung von Folgenutzungen auf Entnahmestellen;
Natur und Landschaft, (1973), H. 7/8, 220-223.
- BAGNER, J. (1978):
Der Abbau von Steinen und Erden in Nordrhein-Westfalen;
Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen, Band 2, 1978.
- CARL, A. (1972):
Studie zur Sanierung von Erdaufschlüssen, Teilregion Mittelhessen (7 Hefte);
Dr. Ing. A. Carl, Ingenieurbüro für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Freiburg i. Breisgau, Zweigbüro Homberg, Bezirk Kassel, im Auftr. des Hess. Min. für Landw. und Umwelt, Wiesbaden 1972.
- DAHM-ARENS, H. (1977):
Boden und Landschaftssicherung im Zuge der Rohstoffgewinnung;
Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 25, 669-672, (1977).
- HESSISCHE FORSTEINRICHTUNGSANSTALT (1971, 1973):
Landschaftsschäden 1971/1973;
HFEA, Gießen, Manuskripte zum Kartenwerk "Landschaftsschäden", hrsg. vom Hess. Min. für Landw. und Umwelt, Wiesbaden 1974.
- REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT MITTELHESSEN (1975):
Raumordnungsplan für die Region Mittelhessen (gem. Hess. Landesplanungsgesetz) einschließlich Landschaftsrahmenplan (gem. Hess. Landschaftspflegegesetz);
RPM, Gießen, 1975.
- SÖHNGEN, H.H. (1976):
Die Rekultivierung der Abgrabungen von Steinen und Erden im Sinne einer optimalen Umweltgestaltung;
Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2560/Fachgruppe Bau/Steine/Erden, Westdeutscher Verlag, 1976.
- WOHLRAB, B. (1970):
Die Rekultivierung von Tagebauen aus bodenkundlich-kulturtechnischer Sicht;
Z. f. Kulturtechnik u. Flurbereinigung, 11, (1970), H. 3, 129-139.
- WOHLRAB, B. (1973):
Rekultivierung, Begriff und Abgrenzung ihres Aufgabenrahmens (S. 7-19), Zusammenfassung des Kolloquiums über die Rekultivierung von Steinen und Erden im Hinblick auf fachliche Richtlinien (S. 223-229);
Forschung und Beratung, Min. f. ELF, Nordrhein-Westfalen, Reihe C, H. 22, 1973.
- ZANGEMEISTER, CH. (1976):
Nutzwertanalyse in der Systemtechnik;
Wittmannsche Verlagskommission, München 1976, 4. Auflage.

Hydromorphe Versuchsböden
am Rande des Bayer.Wald- und Alpenvorlandes

von

H.Hebestreit.

Die Londoner Weltausstellung hat das Hydromeliorationsverfahren des englischen Ingenieurs Josiah PARKES global bekannt gemacht. Seine Tonrohrsystemdränung - bei uns staatlich organisiert zu einem hochdotierten Instrument der Agrarpolitik - wurde zwar nach 100 Jahren mechanisiert, blieb aber im Kern gleich. Inzwischen zeigt die Dränbedarfsindustrie ihren Fortschritt periodisch in gut besuchten Ausstattungsrevuen. Kümmerlich im Vergleich zum Bauvolumen wirkt daneben das Interesse für den therapeutischen Effekt der Operationen und ihren Schlüssel, nämlich die bodenphysikalisch-kulturtechnische Diagnostik. Hierauf hat HARTGE jetzt in den Mitteilgn. der DLG hingewiesen.

Genau dies machte bereits dem kgl.wttbg. Baurat FAUSER Sorge ; er sah seine Kulturtechniker zwar rationell hantieren, jedoch ohne rationalen Ansatz, zumal für objektive exakte Kontrollen außer der Zeit stets das Rüstzeug fehlte. Um die Hydromelioration auf eine rationale Bahn zu führen und die ohnehin mit Bodenuntersuchungen befaßten pedologischen Landesanstalten zu beteiligen, legte er das erste Dränversuchsfeld an. Sein Beispiel machte Epoche.

Seither sind 70 Jahre vergangen. Der Fortschritt zeitigte inzwischen kartierte Meliorationsprognosen pedologischer Landesanstalten nach einer langen Kette von Dränversuchen. Nur eben konnte kaum einer davon die Versuchsfrage korrekt beantworten.

Auf dieses permanente Mißgeschick haben nach ROTHE viele Autoren hingewiesen - als bester Kenner der Materie expressis verbis auch BELLIN. Doch seit 10 Jahren kündigt sich die Peripetie des Dramas an durch einen 1975 während der DBG-Tagung in Regensburg mit dem Lächeln der Auguren ausgestellten, wenig beachteten Dränversuch, der nur 30 m lange Dräne hat für..40..60..80 m "Nennabstände".

Die Koinzidenz zweier Jubiläen mit der Jahrestagung in Freiburg - nur 1 1/2 Wegstunden entfernt vom ersten Dränversuchsfeld - gibt Anlaß zur Frage, ob wohl bodenkundliche Methoden für eine lehrreiche Fehlersuche geeignet wären. Die Antwort ergibt sich, wenn wir während des jetzt transparenten Herbstwetters den Spuren der Dränversuche in situ und Literatur mit aufmerksamer Kritik nachgehen.

Auf dem Wege von Freiburg über die Alb und weiter in Föhn-sichtabstand entlang dem Alpenrand kommen wir vom ältesten Dränversuch etliche 'Modellversuche im Maßstab 1 : 1' passierend zum jüngsten Meliorationsexperiment ; vervollständigt wird das Bild durch eine abschließende Linksabweichung zum Bayer.Wald.

Zunächst in Ellwangen treffen wir auf dem areal des FAUSER-Versuches einen Angehörigen des damaligen Pächters. Das Dränexperiment aber ist nicht mehr bekannt. Unter dem Eindruck aktueller Maßnahmen meint der Landwirt heute die störende Nässe seines Pseudogley-Pelosols (mit stellenweise im Andersson-Bohrstock nachweisbaren Gleymerkmalen) samt den Ursachen genauer zu kennen, als etwa zuständige Fachbehörden. Weil übrigens die Anlage von Systemen hier irreparable Gareschäden begünstigt, heißt sein Schluß 'do it yourself', d.h. Bedarfsdränung vom Hofe aus.

Dies Urteil deckt sich nicht so sehr im Stil, wie in seiner Konsequenz mit dem veröffentlichten Befund, der im wesentlichen die Beobachtungen der Dränkolonne ins Reine schrieb. Die Männer zeigten nämlich dem Versuchsleiter Merkmale einer hydraulischen Kommunikation zwischen dem Schloßweiher und einem Teil der Dränbasis. Mithin fiel die Versuchsfrage ihren unerfüllten Prämissen zum Opfer, zumal die vertikal in den Boden gestellten Dränrohre hier als Standrohre unbrauchbar waren. Der Versuch mußte einschlafen, gab aber kein Warnsignal, weil ein vorerst singuläres Erlebnis nichts gegen die hydraulische Homogenitätshypothese sagt.

In der Fachdiskussion von FAUSER bis ZUNKER blieb KOPECKYs Körnungs-Konzept auf der Tagesordnung, nämlich das hartnäckige Postulat einer praktikablen Korrelation zwischen Bodenart und empfehlenswertem Dränabstand. Während der Kulturaufseher im kupierten Gelände der Schichtstufenlandschaft oder im Vorland von Alpen und Bayer.Wald auf eigene Faust das Strömungsbild aufspüren und bautechnisch reagieren mußte, sah die Lehrmeinung den Boden als Baugrund oder geschütteten Baustoff, dessen Eigenschaften durch mechanische Analyse zu ergründen wären. In dieser Einstellung wurzelt das völlige Desinteresse an COLDINGs grundlegender Arbeit.

Ein halbes Jahrhundert später erst brachte ROTHE das hydraulische Argument auf Katheder. Er lieferte einen Ansatz für die Berechnung stationärer Grundwasserabsenkung durch parallele Dräne in ebenen hydraulisch homogenen Gleyen⁺). Doch entsprach - wie bereits sein Bauentwurf zeigt - das Versuchsfeld auf dem Gut des Grafen DÖNHOFf nirgends den Prämissen, mithin mußte die Homogenitätshypothese fallen⁺⁺). Diese wurde der bodenhydraulischen Meliorationsprognostik plausibel

+) eine seiner Zeit noch unbekannte Terminologie

++) "Im Geschiebemergel der alten Grundmoräne ist häufig noch die Struktur des Gletschers zu erkennen : Scherfugen auf denen Grundwasser umgeht .."(v.BÜLOW)

durch HOOGHOUDTs didaktisch hervorragende Erläuterung der Grundwasserströmung zu den Dränen der Groninger und Friesischen Marsch, zumal auch DACHLER in seiner unübertroffenen Monographie zeigte, daß viele Grundwasseraufgaben wie quasi stationäre, homogene Problem gelöst werden könnten.

Damit war ein für Normung, Anweisung, Entwurfsbearbeitung und technische Bau-
methodik gleich gangbarer Weg vorgezeichnet. Im Gelände sah man allenthalben die
ab Ovo gewohnten symmetrischen Ornamente der PARKES-Drainage. Allerdings
belastet die Wahl der Koeffizienten das rechnerische Gewissen des Ingenieurs ,
wenn etwa die Streuung gemessener Durchlässigkeitsbeiwerte durch die hydrau-
lisch unhaltbare geometrische Mittelung aus der Welt geschafft wird. Und eine für
Meliorationsprojekte engagierte Bodenkunde müßte ihr Placet dadurch geben, daß
sie ihre Beobachtungen unter den Begriff 'hydraulisch hinreichend homogener Gley'
subsumiert. Anderenfalls hätte sie alle meliorationskritischen Strömungsbereiche
ausfindig zu machen um den technischen Eingriff in die zweckmäßigen Bahnen zu
lenken, wie VINCENT - der Homogenitätshypothese gegenüber skeptisch - das be-
reits vor hundert Jahren beschrieben hat.

Setzen wir mit diesem Augenmerk den vorgezeichneten Weg fort, so zeigt die offene
Herbstlandschaft allenthalben, daß systematisch angelegte Hydromeliorationen ihre
Wirksamkeit eher Zufallstreffern als diagnostischem Scharfblick verdanken. Man
kann das mit Profilaufnahme, Standrohr und Dränauslauf belegen, aber einfacher
im Farbbild vorführen.

Als letztes Referat des Tages wurde das vorliegende um seinen Bildteil ge-
kürzt, um keinen Hörer den Anschluß an die Exkursion D II versäumen zu
lassen, denn dort ging es um die Entnahme von Proben (in colore, in odore
in sapore) aus einem wesentlichen Kulturbestand des Badener Landes. Sol-
chem Vorhaben trägt der Kulturtechniker umso bereitwilliger Rechnung, als
er selber den Umgang mit Bocksbeuteln nach WITTMANNs Kartierung in situ
lernen mußte und, weil HARRACH ebenfalls zu seinem Referat jene im Maßstab
1 : 25 000 nicht deutbaren Merkmale hydraulischer Inhomogenität zeigte, die
ein Hydromeliorationsplan durchaus nicht übersehen darf.

Stärkste Einwände gegen die Homogenitätshypothese der Kulturbautechnik liefert
der herbstliche Aspekt. Den hydraulischen Nachweis machen die Niederschläge ein
halbes Jahr später möglich, wenn Standrohre gesetzt sind und der Abfluß von
Einzeldränen gemessen werden kann, wie das nach den Dränungen bei Glöttweg,
Ingstetten, Unterweikertshofen und Pastetten versucht wurde.

Nachdem DIETRICH dasselbe Problem bereits in dem von Landesstelle für Gewäs-
serkunde, Kulturbauamt München und Freisinger Instituten gemeinsam durchgeführ-
ten Versuch hatte durchscheinen sehen (daher seine Ablehnung des KOPECKY-

CANZ-FAUSER - Konzepts) hat sich der Ottenhofener Versuch - wie bereits der Dränplan zeigt - vollends von diesem Konzept gelöst. Er überrascht durch eine abnorme Zahl von Ereignissen mit $A/N \gg 1$, die nur durch hydraulische Kommunikation im Untergrund zu erklären wäre (wie sie ja auch in Infeld vermutet wurde). Eine Analyse setzt indessen Einzeldränmessung und tiefreichende Standrohre voraus - mit Hilfe der bewährten Q/m - Methode.

Setzen wir abschließend unseren Exkurs fort bis an den Rand des Bayer. Waldes, so finden wir eine Reihe von Meliorationen, die ehemalige Großweiherr in Ackerland zurückverwandeln sollten, davor aber zurückschreckten, weil die Böden als Haftnässegley (obwohl es den Ausdruck noch nicht gab) angesprochen wurden. Die Aufgabe war zu lösen, sobald diese Böden als Grundwasserdeckfläche erklärt und der Wasserdruck in genügender Tiefe vom Drän erfaßt wurde.

L i t e r a t u r :

Bellin	Entwicklung und Probleme des Dränversuchs unter besonderer Berücksichtigung des Ertragsversuches	Mitt.Inst.f.Was-serwirtschaft T.H.Hannover <u>4</u> (1964)
v.Bülow	Geologie für Jedermann	
Dietrich	Die Bodenwasserbewegung im Dränfeld Weihenstephan	Dt.Wasserwirtsch. <u>38</u> (1943) 31; 88
Harrach	Hilfsmittel der Bodenkartierung und der landwirtschaftlichen Bodenbeurteilung	in diesem Band
Kopecky	Neuere Erfahrungen auf dem Gebiete der Bodenentwässerung	Der Kulturtechniker (1908) 9
Vincent	Bewässerung und Entwässerung der Äcker und Wiesen	4.Aufl. Berlin 1899
Wittmann	Die Weinbergböden Frankens	Bay.Ldw.Jb. <u>43</u> (1966) Sd.H.3

weitere Hinweise : Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Ges. 25 (1977) 704

Determination of gypsum by measurement of
electrical conductivity in water extracts
of soils in Saudi Arabia

by

Schleiff, U.⁺

1. Introduction

Soils of arid regions often contain considerable amounts of gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) [1]. Their original content may be changed by irrigation and influence soil properties. Overirrigation with water low in Ca^{2+} and SO_4^{2-} reduces the gypsum content of the soil for the long run, water saving irrigation methods with water high in Ca^{2+} and SO_4^{2-} increases their gypsum content. The change of soil properties by gypsum precipitation is especially evident for perennials under irrigation, as there are limited possibilities to improve their physical soil properties by soil loosening. For many irrigation projects a permanent control of the gypsum content of the soil is advisable. Friedel [2] discussed various methods for the quantitative gypsum determination and tested the use of the (020) X-ray reflection at 7,56 Å. But as there is a lack of a simple and reliable lab method that can be carried out in any salinity lab, a new method based on the EC-measurement of water extracts at various soil: water-ratios was tested with soil samples taken in Hofuf/Saudi Arabia.

The interpretation of EC-values (mmhos/cm) from the water extracts of soil samples indicating the degree of soil salinity has to consider the presence or absence of precipitated soil gypsum. The degree of overestimation of soil salinity from the 1 : 1 - resp. saturation extract of a soil may be pointed out from the example given in Fig. 1. If the EC-value of a 1 : 1 - soil : water - extract (= 100 % soil water) is 4 mmhos/cm, this corresponds an EC-value of

⁺ Leichtweiß-Institut für Wasser Research, Technical University of Braunschweig, Beethovenstraße 51a, D 3300 Braunschweig

the soil solution at field capacity (= 16 % soil water by weight) 25 mmhos/cm in the presence of easily soluble salts, but only of 13 mmhos/cm, if the 1 : 1 - extract was gypsum saturated [4].

This example may underline the necessity of considering the gypsum content of a soil before the interpretation of the EC-values of the water extracts. Furthermore the availability of nutrients (e.g. phosphate) to plants may be affected by high gypsum content of soils [5].

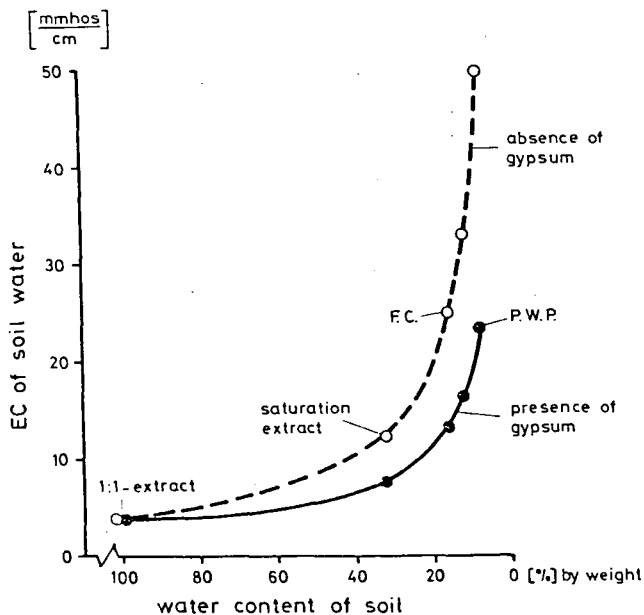


Fig. 1:
Example for the influence of precipitated soil gypsum of effective EC-values in the soil solution (F.C. = field capacity, P.W.P. = permanent wilting point)

2. Principle of the determination

The principle of the method is based on the characteristic water solubility of gypsum and the corresponding EC-values within the various kinds of salt relevant for salt affected soils (Table 1). The solubility and EC-values of neutral Chlorides and Sulfates are high. After 1 hour shaking these salts are normally completely soluted, if the salt content is not extremely high. The part of the EC-value that derives from carbonates (CaCO_3 and MgCO_3) and Hydrogencarbonates ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ and $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) after shaking the soil

samples with distilled water, does not exceed an EC-value of 0,1 mmhos/cm at neutral or alkaline pH-values. The total content of easily soluble salts can be determined in a water extract of low water addition (e.g. 1 : 1 - soil: water - ratio).

Table 1: Solubility of salts and the corresponding EC-values (mmhos/cm at 25 °C)

salt	me/l(3)	mmhos/cm	
		saturated	dilution 1:10
CaCO ₃	0,5 ^a	} 0,1 mmhos/cm at neutral to slightly alkaline pH-values and in equilibrium with air of the laboratory	
MgCO ₃	2,5		
Ca(HCO ₃) ₂	3-12 ^a		
Mg(HCO ₃) ₂	15-20		
CaSO ₄ · 2 H ₂ O	30		2,3
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	5760	46	20
NaHCO ₃	1642	54	8,5
MgCl ₂ · 7 H ₂ O	14955	85	62
Na ₂ SO ₄ · 10 H ₂ O	1650	125	25
CaCl ₂ · 6 H ₂ O	25470	135	72
NaCl	6108	221	45

^aSolubility will be influenced by the concentration of CO₂ in the solution and air

Gypsum as a salt of medium solubility is completely soluted in the 1 : 1 - soil : water-extract, if the soil content does not exceed 2 - 3 me CaSO₄ · 2 H₂O/100 g soil (~ 2 ‰ by weight).

But the gypsum content of many soils in arid regions exceeds several % and is therefore not soluble in the 1 : 1 - extract. In order to solute the gypsum content of a soil rich in gypsum completely, the soil : Water - ratio has to be changed up to a degree that all the gypsum of the soil sample is soluted. This is the case when the EC-value of a soil extract stays constant below an EC-value at maximum gypsum solubility of 2,3 mmhos/cm at about 2,0 mmhos/cm even after several hours shaking.

3. Execution of the gypsum measurement

3.1 Preparing the soil samples

In order to homogenize the sample and to enable a good solubility of the precipitated gypsum within 2 hours or less, a thorough grinding and sieving of the samples is important.

3.2 Soil test for precipitated gypsum

For testing the absence or presence of precipitated gypsum in a soil, the EC-value of a 1 : 1 - and 1 : 3 (-5) - extract have to be compared. The soil contains only easily soluble salts and no precipitated gypsum, if the EC-values of the 1 : 1 - and 1 : 3 are reverse proportional to the water addition (Table 2). The soil contains gypsum, if the EC-value measured in the 1 : 3 - extract does not decrease down to about one third of the EC-value measured in the 1 : 1 - extract (Table 2). The differences of the EC-values of samples with und without gypsum increase at higher water additions. Small amounts of gypsum (< 1 - 2 ‰) are not recognized by this method.*

Table 2: Example for testing the absence or presence of precipitated gypsum in a soil sample from EC-measurements (mmhos/cm)

	EC(mmhos/cm) at different soil:water-ratios		
	1 : 1	1 : 3	1 : 5 - extract
absence of gypsum	10	~ 3,4 ¹⁾	~ 2
presence of gypsum	10	~ 4,5 ²⁾	~ 3,5

1) calculation: $EC_{(1:3)} = EC_{(1:1)} \times \frac{1}{3} = \sim 3,4 \text{ mmhos/cm}$

2) calculation: $EC_{(1:3)} = [EC_{(1:1)}^{-2,5^{xx}}] \times \frac{1}{3} + 2^{xx} = \sim 4,5 \text{ mmhos/cm}$

^{xx}2,5 mmhos/cm corresponds the maximum EX-value of a saturated gypsum solution extracted from a loess.

^{xx}2 mmhos/cm corresponds the EC-value of a gypsum solution after 1 hour shaking, that is not yet saturated.

3.3 Relationship between gypsum content of soil samples and EC-values of extracts

Preassumption for the determination of the soil gypsum content from the EC-measurement of the water extract is a good correlation between the $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ - concentration and EC-values of the extract. According to Fig. 2 the highly significant correlation between CaSO_4 -content and EC corresponds the equation

$Y(\text{me CaSO}_4/1) = - 2,9 + 14,5 \times (\text{EC in mmhos/cm})$ in the range from 5 to 30 me $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}/1$, if fine powdered, easily soluble gypsum is taken.

It has to be mentioned that because of the delayed solubility of soil gypsum the EC-value caused by soluted gypsum will not exceed 1,8 - 2,0 mmhos/cm after one hour shaking. This has to be considered when looking for the proper soil/water-ratio. If the EC-value of an extract exceeds 1,8 - 2,0 mmhos/cm, further addition of water is recommended.

3.4 Procedure of gypsum determination in soils

A few grams (the chosen amount depends from the gypsum content of the soil and the proper soil : water-ratio) of the fine ground soil sample is shaken for one hour in a definite amount of dest. water. Low gypsum content of the samples of less than 1 - 2 % ($\sim 12 - 25$ me $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}/100$ g soil) have to be determined at a soil : water-ratio in the range of 1 : 5 to 1 : 10. Extrem high gypsum contents of 20 - 40 % ($\sim 230 - 460$ me $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}/100$ g soil) require a soil : water-ratio of 1 : 200 (Fig. 2).

The soluted amount of gypsum is calculated from the EC of the extract and the amount of easily soluble salts calculated from the EC of the 1 : 1 - extract according to the following formula:

$$\frac{\text{me CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}}{100 \text{ g soil}} = [14,5 (\text{EC}_1 - 0,1) - 2,9] \frac{\text{ml water}}{\text{g soil} \cdot 10} - [\text{EC}_2 - 2,3]$$

[14,5 (EC₁-0,1) - 2,9] : relation between EC (mmhos/cm) and gypsum content of the water extract considering the EC caused by soluted carbonates and hydrogencarbonates (~ 0,1 mmhos/cm) at pH 7,5.

$\left[\frac{\text{ml water}}{\text{g soil} \cdot 10}\right]$: factor for calculation the gypsum-content of the extract to the gypsum-content of the soil.

[EC₂ - 2,3] : Value considering the easily soluble salts determined in the 1 : 1 - extract; calculation basis: 10 me/l = 1 mmhos/cm; the value of 2,3 corresponds the EC-value caused by a saturated gypsum solution. This part of the equation is negligible at low EC-values of the 1 : 1 - extract and high gypsum contents.

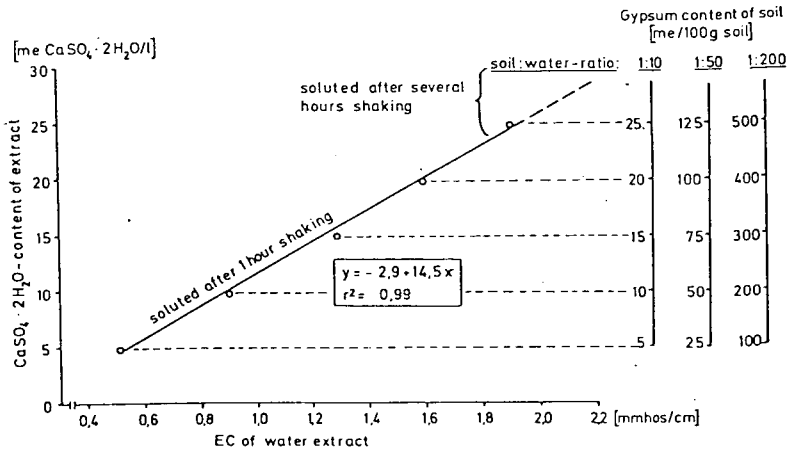


Fig. 2: EC-value [mmhos/cm] in relation to the gypsum concentration of an extract and calculation of soil gypsum content from various soil : water ratios

$$(1 \text{ me CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O} = 86 \text{ mg})$$

3.5 Testing the method

The test was carried out by adding increasing amounts of gypsum to nonsaline loess samples rich in carbonates, adding distilled water and shaking the samples for 1 hour. The EC-measurement was carried out in the filtrate or after settling of the soil. As can be seen from Table 3, there is a good agreement of the 'added' and 'found' gypsum in the range of EC-value from about 0,8 mmhos lead to deviations of more than 20 % and should be avoided by changing the soil : water - ratio.

Table 3: Test for gypsum determination in a loess soil

soil : water - ratio											
1 : 10				1 : 50				1 : 200			
added gypsum %	found gyps.		dev. x) %	added gypsum %	found gyps.		dev. x) %	added gypsum %	found gyps.		dev. x) %
	mmhos cm	%			mmhos cm	%			mmhos cm	%	
0,5	0,72	0,52	+ 4	3	0,84	3,3	+ 10	8	0,54	6	- 25
1,0	1,12	1,02	+ 2	6	1,26	6,0	0	16	0,9	15	- 6
1,5	1,63	1,65	+ 10	9	1,80	9,3	+ 3	24	1,24	23,4	- 2
								32	1,61	32,7	+ 2

x) deviation

Summary

Precipitated gypsum in samples of saline soils may cause an over-estimation of growth damaging salts that are determined by the measurement of the electrical conductivity (EC) in water extracts of soils. The absence or presence of gypsum is affecting the interpretation of measured EC-values. A simple method based on the specific solubility and the corresponding EC-values of gypsum is presented.

Literature cited

- [1] Alphen, van J.G., Rios Romero, de los F.:
Gypsiferous soils;
International Institut for Land Reclamation
and Improvement, Bulletin 12, Wageningen, 1971
- [2] Friedel, B.:
Zur Bestimmung von Gips in Böden;
Z. Pflanzenernähr. Bodenkunde 141, No. 2,
231 - 239, 1978
- [3] Poljakoff-Mayber, A., Gale, J.:
Plants in saline environments;
ecological studies 15;
Springer, Berlin - Heidelberg - New York
- [4] Schleiff, U.:
Salt contents in soil solution far and near
the roots under controlled irrigation of
onions with different water qualities;
Hofuf Agricultural Research Center, Saudi Arabia,
Publ. No. 25, 1978
- [5] Schleiff, U.:
Phosphorus supply of soils and plants under
irrigation;
Hofuf Agricultural Research Center, Saudi Arabia,
Publ. No. 34, 1978

Ton- und Tonmineralbilanzen für Löß-Parabraunerden

von

H. Kußmaul⁺ und E.A. Niederbudde⁺⁺

Einleitung

Für Löß-Parabraunerden wurden Bilanzierungen der Veränderungen und Verlagerungen von Tonfraktionen und Tonmineralen durchgeführt (1). Die untersuchten Standorte, bestehend jeweils aus mehreren Wald-Acker-Vergleichspaaren, liegen in der unterfränkischen Lößlandschaft im Dreieck Würzburg - Uffenheim - Bad Mergentheim. Der Löß besteht zu ca. 25 % aus Ton und zu 65 % aus Schluff. Die Hälfte des Tons gehört zur Fraktion < 0.1 µm.

Bei der Bilanzierung der Verlagerung oder Umwandlung des Gesamttones, der Tonfraktionen oder einzelner Tonmineralarten muß vorausgesetzt werden, daß das gesamte Bodenprofil aus einheitlichem, im C-Horizont noch anstehendem Ausgangsmaterial entstanden ist. Der Nachweis der Homogenität des Ausgangsmaterials innerhalb der Profile wurde bei den beschriebenen Vergleichspaaren mittels des Korngrößenquotienten $Q = \frac{20-30 \mu\text{m}}{30-50 \mu\text{m}}$ erbracht. Q ist als ausreichend verlagerungs- und verwitterungsunabhängig zu betrachten. Die statistische Sicherung erfolgte über eine Streuungszersetzung zur Mittelwertprüfung nach der F-Verteilung und einem Bartlett-Test zur Prüfung der Varianzen nach der χ^2 -Verteilung. In entsprechender Weise wurde auch der Nachweis der horizontalen Vergleichbarkeit innerhalb der Acker-Wald-Paare durchgeführt, die bei diesen Standorten ebenfalls als gegeben anzusehen ist.

Die Methoden der Bilanzierungen sind (1) ausführlich beschrieben worden.

Tonbildung

Die Tonbildungsrate der Fraktion < 2 µm schwankt zwischen 63 und 98 kg/m². Die Tonbildungsquote der Fraktion < 2 µm liegt bei allen Profilen zwischen 20 und 30 % bezogen auf die heutigen Tonmengen. In allen Profilen dominiert die Feintonbildung. Allein in der Fraktion < 0,1 µm finden sich 60-80 % der Gesamt-Tonbildung.

⁺Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Kennedy-Allee 97, 6000 Frankfurt 70

⁺⁺Institut für Bodenkunde der TU München, 8050 Freising-Weißenstephan

Tonverlagerung

Die Tonverlagerung innerhalb der Parabraunerden schwankt zwischen 35 und 51 kg/m². Somit wurden ca. 15 % der gegenwärtig vorhandenen Tonmenge verlagert. Es ist nicht überraschend, daß bei der Tonverlagerung ebenfalls die Fraktion < 0,1 µm dominiert. Der Anteil dieser Fraktion an der Tonverlagerung beträgt im Mittel der Profile 75 %. Weniger groß sind die Unterschiede, wenn man die prozentuale Verlagerung betrachtet.

Tonmineralveränderungen

Bei den Tonmineralgehalten der einzelnen Fraktionen überwiegen die Illite. Sie nehmen im Solum gegenüber dem Löß erheblich zu. Dies geht eindeutig auf Kosten der Smectite. Die Tendenz ist am deutlichsten in der vorherrschend auftretenden Fraktion < 0,1 µm zu erkennen. Die Smectite mit hoher K-Spezifität (3) haben sich während des Holozäns in Illite umgewandelt. Deutlich zu erkennen ist eine Vermiculitzunahme im Solum bei der Fraktion < 0,1 µm. Diese ist wohl durch verwitterungsbedingte Zerkleinerung aus den größeren Tonfraktionen zu erklären. Aus dem Schluff wird wahrscheinlich Vermiculit (nach K-Freisetzung aus Biotit) an die groben Tonfraktionen geliefert.

Aus den Bilanzen der Tonmineralbildung bzw. -umwandlung sieht man, daß bei der holozänen Bodenbildung im Ton < 2 µm durchschnittlich 121 kg Illit/m², 16 kg Vermiculit/m² und 11 kg Kaolinit/m² gebildet wurde. Einem Gewinn von 148 kg/m² steht ein Smectitverlust von ca. 68 kg/m² gegenüber. Die Differenz von 80 kg/m² stimmt gut mit der vorher angegebenen Tonbildung von 63-98 kg/m² überein, die - wie frühere Schluff-Bilanzen ergaben - aus dem Schluff stammen.

Die größten Veränderungen der Tonmineralmengen treten in der Fraktion < 0,1 µm bei der Smectit-Illit-Umwandlung auf. Im großen und ganzen ähnlich ist das Bild auch bei den Veränderungen bezogen auf die gegenwärtigen Mengen. Im Ton (< 2 µm) des Solums wurden maximal 3,84 kg K/m² angereichert. Der K-Gewinn dominiert im Feinton und erreicht hier einen Maximalwert von 2,28 kg K/m². Die starke K-Anreicherung im Feinton spricht ebenfalls für eine Smectit-Illit-Umwandlung.

Tonmineralverlagerung

An der Tonmineralverlagerung ist der Illit mit 23 kg/m² zur Hälfte beteiligt, gefolgt von Smectit und Vermiculit mit 9 kg/m² und Kaolinit mit 5 kg/m². Die Tonmineralverlagerung in den gröberen Fraktionen ist gering.

Errechnet man die verlagerten Tonmineralmengen in % der gegenwärtigen Tonmineralmenge, so kann/^{man}bei der Verlagerung keine Bevorzugung eines bestimmten Mineraltyps feststellen.

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der untersuchten Standorte zeigen gleichgerichtete Tendenzen: Feintonbildung, Feintonverlagerung, Illitbildung aus Smectiten und Glimmern, Vermiculitzerkleinerung bis zum Feinton und K-Anreicherung, vor allem im Feinton. Die relativ junge Nutzungsänderung (Wald-Acker-Vergleich) beschränkt sich auf eine geringfügige Bildung von sekundärem Chlorit in den A₁-Horizonten und - weiter abgeschwächt - in den A_h-Horizonten unter Wald. Die sekundären Chlorite wandelten sich während der Reinigung des Tones mit Na-citrat in Vermiculite um. Sie wurden als Vermiculite bilanziert.

Literatur

1. Kußmaul, H. und E.A. Niederbudde (1979). Bilanzierung der Tonbildung und -verlagerung sowie der Tonmineralumwandlung in Löß-Parabraunerden. Z. Pflanzenern. Bodenkunde 142, 586-600.
2. Kußmaul, H., (1969). Vergleich von Lößböden unter Laubwald und Acker. Diss. Naturw. Fak. Univ. München
3. Niederbudde, E.A. und H. Kußmaul (1978). Tonmineraleigenschaften und -umwandlungen in Parabraunerde-Profilpaaren unter Acker und Wald in Süddeutschland. Geoderma 20, 239-255.

Versuch einer Bilanzierung der pedogenen Veränderung
im Mineralbestand des Podsols Bärhalde

von

Gudmundsson, Th.⁺

EINLEITUNG:

Die Bodenentwicklung des Podsols Bärhalde wurde bereits ausführlich untersucht und beschrieben (ZÖTTL, STAHR und KELEN, 1977 und KEILEN, 1978). Dabei wurde besonderer Wert auf die pedochemische Veränderung der Haupt- und Spurenelemente gelegt. Die Veränderung der Elementgehalte wurde bilanziert und aus der Bilanzierung wurden Hypothesen über den Verlauf der Verwitterung abgeleitet (KEILEN, STAHR und ZÖTTL, 1976). Ziel dieser Untersuchung war es, festzustellen, ob die geochemische Veränderung des Elementbestandes sich in einer Veränderung des Mineralbestandes oder in einer Veränderung des Mineralzustandes widerspiegelt. Aus diesem Grunde wurden an den Hauptmineralen des Bodens quantitative und qualitative Untersuchungen durchgeführt.

Das Profil Bärhalde liegt in 1230 m Höhe an einem nach NE 5% geneigten Hang. Eine zweigeteilte Frostschuttfließerde liegt über dem Gesteinszersatz. Der Eisenhumuspodsol weist in seiner Rohhumusaufgabe mit 3.1-3.2 sehr niedrige pH-Werte auf, die mit der Tiefe, d.h. in den B- und C-Horizonten auf 4.5 zunehmen. Der organische Kohlenstoff zeigt eine typische Tiefenfunktion für einen Podsol mit einem Anreicherungsmaximum im B_{sh} -Horizont. Den gleichen Unterschied zeigen auch die Tiefenfunktionen der Eisenfraktionen, nur ist in diesem Falle der Unterschied zwischen den A_e - und den B_s -Horizonten relativ gering. Im oxalatlöslichen Aluminium ist dagegen der Unterschied zwischen Anreicherungs- und Verarmungsho-

⁺Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität Freiburg, Bertoldstr. 17, D-7800 Freiburg i. Br.

izont stärker ausgeprägt. Die Körnung des Profils (KEILEN, 1978) ist durch den sehr hohen Skelettgehalt von 42 bis 47% des Gesamtbodens in den A-Horizonten und 74 bis 83% in den B- und C-Horizonten ausgezeichnet. Dabei nimmt der Skelettgehalt an der Oberkante der Anreicherungshorizonte sprunghaft zu. Innerhalb der Feinerde ist die Sandfraktion dominierend. Auch sie zeigt eine Zunahme in den Anreicherungshorizonten. Der Tongehalt ist mit 13-17% der Feinerde in den Bleichhorizonten relativ hoch für einen Podsol. Er nimmt in den Anreicherungshorizonten sehr stark ab auf 6.6 bis 9.7 %

Im folgenden sollen optische Mineralbestandsauszählungen an ausgewählten Fraktionen der Feinerde dargestellt werden. Eine Bestimmung am Skelett war nicht sinnvoll, da die einzelnen Partikel des Skeletts nicht monomineralisch sind.

METHODEN:

Luftgetrocknete Feinerde wurde mit H_2O_2 behandelt, mit 0.1 M Natriumpyrophosphat dispergiert und die Kornfraktionen separiert. Die Ton- und Schlufffraktionen wurden im Attenbergzylinder und die Sandfraktionen durch Naßsiebung gewonnen. Der Anteil der Hauptminerale (Quartz, Feldspäte und Glimmern) wurde in Streupräparaten ausgewertet. Proben aus den B-Horizonten wurden zuerst mit warmer NH_4 -Oxalatlösung gereinigt. Die K-Feldspäte der Sandfraktionen wurden mit Natriumhexanitrokobalt (III) gefärbt nach Ätzung mit HF-Dampf (HAYES und KLUGMANN, 1959). Die Feldspäte der Mittelschlufffraktionen sind so stark angegriffen, daß sie bei HF-Ätzung zerfallen. In jeder Probe wurden 400-600 Körner gezählt. Die Oberflächenmorphologie der Körner wurde mit Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Röntgendiffraktionsanalysen wurden mit $Co K\alpha$ Strahlung an auf Keramikplatten sedimentierten Proben durchgeführt.

ERGEBNISSE:

Bei der Betrachtung des Quarzgehaltes (Abb. 1) fällt auf, daß er stark vom Grobsand zum Feinsand hin abnimmt. In den Schlufffraktionen dagegen ist wieder eine leichte Zunahme zu verzeichnen. Ersteres müßte auf die primäre Mineralgröße des Quarzes zurückgeführt werden, letzteres auf Kyroklastik im Periglazial. In den Grobsandfraktionen der A-Horizonte ist der Quarzgehalt größer als im

Mineralverteilung

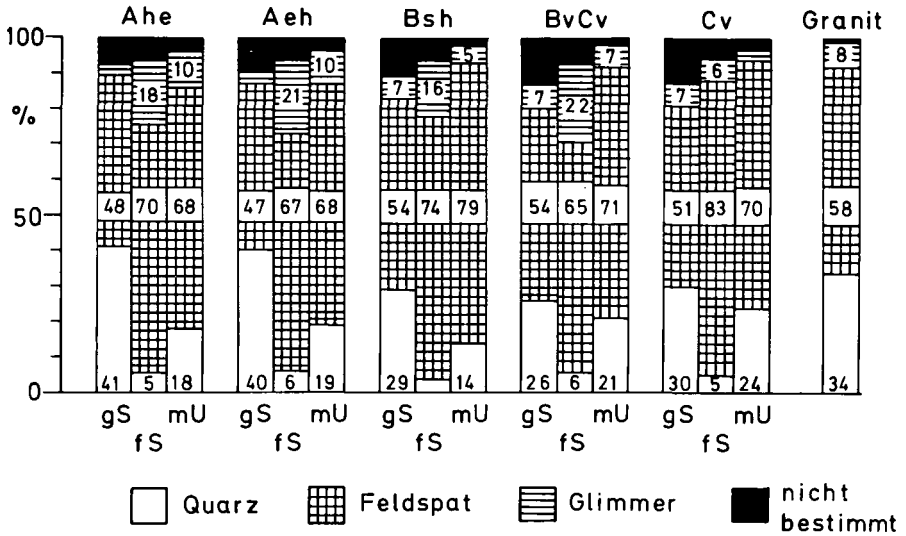


Abb. 1: Mineralverteilung im Grobsand, Feinsand und Mittelschluff der Bodenhorizonte im Vergleich zum Granit

Bärhaldegranit. Wegen der niedrigen Gehalte im Feinsand muß man annehmen, daß die Gesamtfeinerde geringere Quarzgehalte hat als der Bärhaldegranit. Man darf also annehmen, daß der Quarz überwiegend im Skelett angereichert wurde und andere Minerale z.B. die Feldspäte und Glimmer durch physikalische und chemische Verwitterung stärker beansprucht und damit in die Feinerde übergegangen sind. Innerhalb des Profils ist der Quarzgehalt in den A-Horizonten größer als in den B- und C-Horizonten. In den C-Horizonten ist der Quarzgehalt möglicherweise etwas größer als in den B-Horizonten. Unter der Voraussetzung, daß zu Beginn der Bodenbildung der Quarzgehalt eine gleichmäßige Tiefenfunktion hatte, muß man diese Ergebnisse als eine relative - durch Verwitterung bedingte - Quarzanreicherung im Oberboden deuten. Der Glimmeranteil in den Grobsandfraktionen nimmt mit der Tiefe zu, dagegen in den Mittelschlufffraktionen mit der Tiefe ab. Dieses ist in Übereinstimmung mit der Annahme, daß die physikalische Verwitterung im

Oberboden intensiver war. Der Glimmergehalt des Grobsands ist niedriger als im Bärhaldegranit. In den Feinsandfraktionen dagegen sind die Glimmergehalte außer im C-Horizont wesentlich höher als im Ausgangsgestein. Man darf also annehmen, daß der Glimmergehalt der gesamten Feinerde etwas höher ist als der im Granit. Dies wird dadurch bestätigt, daß auch in der Mittelschluffraktion der Glimmergehalt nicht stark von dem Ausgangsmaterial abweicht und man zusätzlich annehmen darf, daß ein Teil der Glimmer bereits in die Tonfraktion verwittert ist.

Der Feldspatanteil nimmt mit abnehmender Korngröße zu. Er ist im Grobsand etwas niedriger als im Bärhaldegranit, in Feinsand und Mittelschluff aber höher. Man muß deshalb annehmen, daß er in der Gesamtfeinerde höher ist als im Bärhaldegranit. In den A-Horizonten liegt er aber niedriger als in den B- und C-Horizonten. Diese Verhältnisse sind gegenläufig wie beim Quarz, d.h. die Feldspäte zeigen eine mineralspezifische Anreicherung in der Feinerde bei der physikalischen Verwitterung.

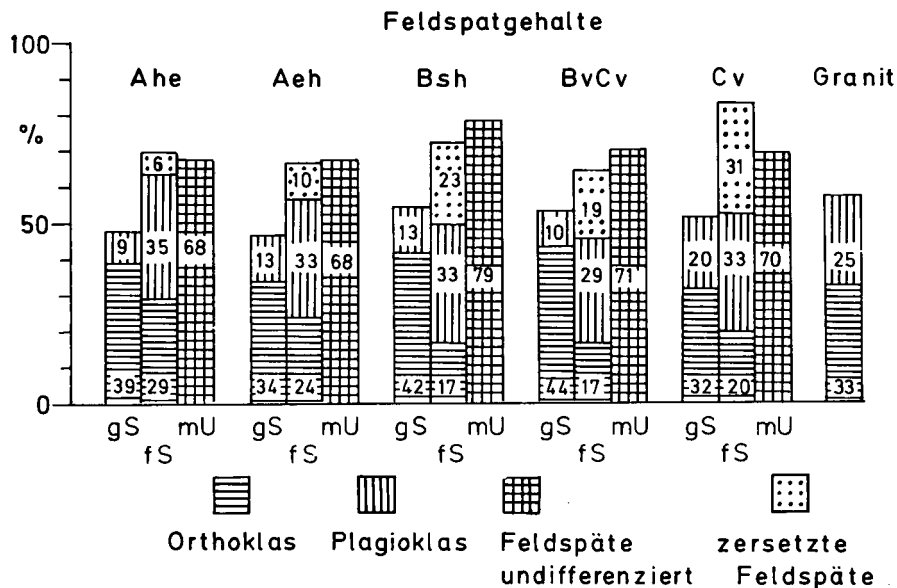


Abb. 2: Feldspatgehalte im Grobsand, Feinsand und Mittelschluff der Bodenhorizonte im Vergleich zum Granit

In den Sandfraktionen wurde eine weitere Differenzierung dadurch versucht, daß die Feldspäte in Kalifeldspäte und Plagioklase unterteilt wurden (Abb. 2). Eine Reihe von Mineralkörnern, die eindeutig Feldspäte darstellten, ließen sich aber mit dieser Methode nicht konkret zuordnen. Trotz niedriger Gesamtfeldspatgehalte in der Grobsandfraktion ist der Kalifeldspatgehalt dieser Fraktion etwas höher als im Bärhaldegranit. Der Plagioklasanteil dagegen ist entsprechend niedriger. Die wesentlich höheren Feldspatanteile in der Feinsandfraktion gehen in erster Linie auf hohe Plagioklasanteile zurück. In der Feinsandfraktion traten stark zersetzte Feldspatkörner auf, die keine Auslöschung zeigten und meistens sehr raue Oberfläche hatten und damit nicht klar identifiziert werden konnten. Diese nicht identifizierbare Fraktion ist in den A-Horizonten relativ niedrig, in den B-Horizonten und C-Horizonten dagegen sehr hoch und kann im Feinsand des C_v -Horizontes 31% erreichen.

Um genauere Aussagen über den Verwitterungszustand dieser Feldspäte machen zu können, wurde von den gemörserten Feldspäten Röntgendiagramme angefertigt (Abb. 3). Diese Diagramme lassen in den Bereichen von 7.2-7.4 Å typische Koalinitreflexe erkennen, und zusammen mit dem 10 Å-Bereich zeigen sie große Unterschiede in den verschiedenen Tiefen. Dabei lassen sich in den A-Horizonten nur Spuren von Reflexen erkennen, während in den B- und C-Horizonten sehr deutliche Ausschläge auftreten. In den Anreicherungs-horizonten und im C_v -Horizont läßt sich auch noch ein 14 Å Mineral erkennen. Die Höhe dieser Ausschläge gibt ein Maß für den optisch unidentifizierbaren Teil der Feldspäte wieder und zeigt, daß die veränderten Anteile dieser Feldspäte Mineralien der Koalinitgruppe und Mineralien der Illit- bzw. Serizitgruppe darstellen mit Spuren von aufgeweiteten oder chloritischen Tonmineralen. Nach Untersuchungen von RETIEF (1970) gibt es im Bärhaldegranit nur wenig veränderte Plagioklase, die bereits während der Abkühlung des Magmas zu Serizit umgewandelt worden sind. Möglicherweise ist aber ein Teil der Feldspäte später hydrothermal verändert worden, womit sich vor allem der 10 Å Reflex erklären ließe. Da der 10 Å Peak in den A-Horizonten fehlt, muß man annehmen, daß diese Minerale dort entweder vollständig zerfallen sind oder von der Feldspatoberfläche abgelöst wurden. Das Auftreten der Tonmineralpeaks in den B- und

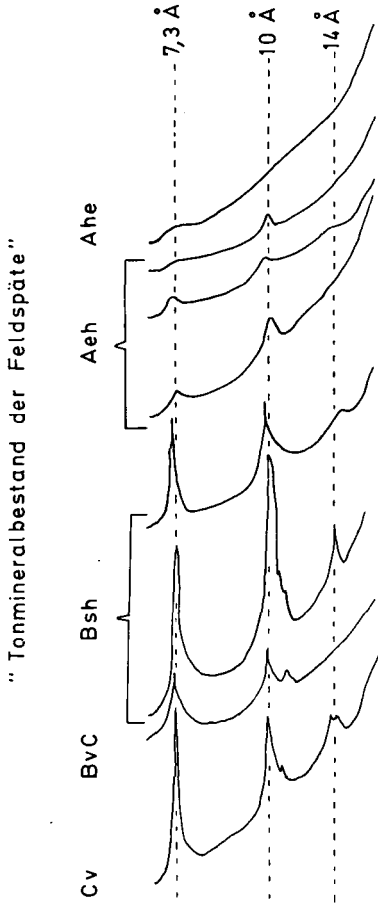


Abb. 3: Röntgendiffraktions-Diagramme von Feldspäten der Feinsandfraktionen. Feldspäte gemörsert und nach Dispergierung in H_2O als Texturpräparat geröntgt.

C-Horizonten wirft die Frage auf, ob es sich bei diesen Umwandlungsprodukten der Feldspäte um geogene oder pedogene Veränderungen handelt. Diese Frage läßt sich beim derzeitigen Stand der Kenntnisse noch nicht endgültig beantworten.

Als nächster Schritt wurden oberflächenmorphologische Untersuchungen mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie an den Feldspäten durchgeführt. Dabei zeigten Minerale aus den A-Horizonten sehr häufig Lösungsformen auf der Oberfläche. Andererseits waren die Mineralkörner der B-Horizonte sehr weit verbreitet von Neubildungen bedeckt. In Einzelfällen kommen sehr gut kristallisierte Neubildungen vor, wie z.B. stäbchenförmige vermutlich haloisytische Mine-

rale. Im C_v -Horizont sind die Oberflächen wiederum relativ sauber, aber auch hier erkennt man blockige Formen und häufig blättrige Minerale, die vermutlich Illite bzw. Serizite darstellen. Hier muß nochmals die Frage aufgeworfen werden, ob diese Phänomene pedogen oder geogen sind?

Versucht man jetzt die mineralogischen Untersuchungen mit den geochemischen zu verknüpfen (Abb. 4), so läßt sich in erster Näherung der Kaligehalt als ein Maß für den Kalifeldspat verwenden. Vergleicht man die Tiefenfunktionen des Orthoklasgehalts und des Kaligehalts in den Sandfraktionen, so stellt man fest, daß sie gegenläufig sind. Dieses Phänomen kann nicht nur damit gedeutet werden, daß das Kalium auch in den Glimmern gebunden ist, wo es parallel mit der Tiefenfunktion der Glimmer geht, sondern man muß auch annehmen, daß in den Oberböden die Orthoklase selektiv Kalium verloren haben und deshalb kaliumärmer sind als die Orthoklase der C-Horizonte. Der Natriumgehalt der Sandfraktion stellt nur noch 10-25 % desjenigen des Bärhaldegranits dar. Zusätzlich läuft er entgegen dem Verlauf des Plagioklasgehalts. Dieses läßt sich nur sehr schwer erklären. Es kann lediglich angenommen werden, daß der Albitgehalt im Oberboden etwas höher ist als im Unterboden. Die Calciumanteile der Sandfraktion korrelieren dagegen besser mit den Plagioklasgehalten. Zu bedenken ist dabei allerdings, daß die Calciumgehalte sehr niedrig sind und deshalb nur einen geringen Teil der Feldspäte erklären können. Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, daß zunächst einfach erscheinende geochemische Abfolgen sich bei der Berücksichtigung der unterschiedlichen Mineralanteile oder gar dem unterschiedlichen Verwitterungsgrad einzelner Minerale als äußerst kompliziert herausstellen können. Dies hat verschiedene Ursachen. So muß man berücksichtigen, daß verschiedene Elemente in mehreren Mineralen auftreten und in diesen unterschiedliche Konzentrationen haben können. Sekundär kann der Elementgehalt in einem Mineral dadurch verändert sein, daß dieses Element aus dem Mineral herausgelöst wurde, ohne daß es sich optisch wesentlich verändert hat. Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß um eine erfolgreiche Bilanzierung des Mineralgehalts und sinnvolle Verknüpfung mit dem Elementgehalt zu ermöglichen, Lösungsformen und Neubildungen (Tonminerale) auf den Feldspäten berücksichtigt werden müssen. Die Frage wie dieses quantifiziert werden kann, bleibt offen.

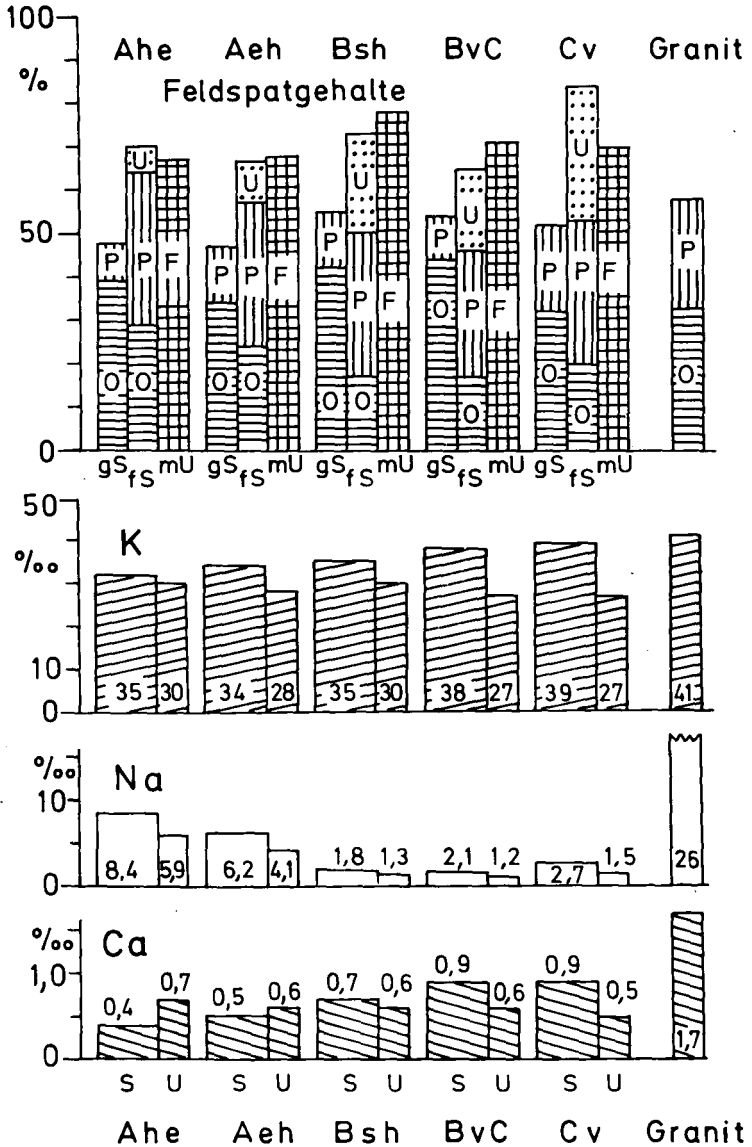


Abb. 4: Vergleich zwischen Feldspat und Kalium-, Natrium-, sowie Calciumgehalten der Bodenhorizonte und des Granits.

Danksagung: Der Autor möchte sich bei der Isländischen Forschungsfundation (Visindasjóður) und der Alexander von Humboldt-Stiftung für finanzielle Unterstützung herzlich bedanken.

LITERATUR:

- HAYES, J.R und M.A. KLUGMANN, 1959: Feldspar staining methods. - Journal of Sedimentary Petrology, 29, 227-232.
- KEILEN, K., 1978: Spurenelementverteilung und Bodenentwicklung im Bärhaldegranitgebiet (Südschwarzwald). - Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, 8, 278 S.
- KEILEN, K., K. STAHR und H. W. ZÖTTL, 1976: Elementselektive Verwitterung und Verlagerung in Böden auf Bärhaldegranit und ihre Bilanzierung. - Z. Pflanzenern. Bodenk., 1976, 565-579, Weinheim.
- RETIEF, E., 1970: Petrology of the Schluchsee and Bärhalde Granit Plutons, Southern Schwarzwald. - Ber. Naturforschende Gesellsch. Freiburg i. Br., 60/2, 139-172.
- ZÖTTL, H. W., K. STAHR und K. KEILEN, 1977: Bodenentwicklung und Standortseigenschaften im Gebiet des Bärhaldegranits (südlicher Hochschwarzwald). - Allg. Forst- und Jagdz., 148, 185-197, Frankfurt.

Clay minerals in some soils of Jordan

by

Harbi Shadfan[†]

Terra rossa-like soils on semi-arid basalt or limestone plateaus show vertic properties; however alluvial soils in the arid Jordan valley do not (even when unirrigated). This may be due to their lower contents of total clay or swelling minerals. Yet published results indicate higher content of smectites and illites, whereas for the terra rossa lower contents or even a pre-dominance of kaolinite is assumed. This contradiction needed investigation. In view of the agricultural importance of these soils, their K-status was tested too.

Three profiles each from marly limestone in the Irbid(I) region under increasing rainfall (and thus with decreasing lime and salt contents and increasing clay contents and C.E.C.) and from alluvial sediments in the Jordan(J) valley (with higher lime and salt contents and lower clay contents, C.E.C. and C.E.C.: clay than in I) were chosen (table 1). The clay fractions of their horizons were investigated by x-ray diffraction.

The results for the A-horizons in figure 1 (results for the lower horizons are similar) show an increase in smectite, less illitic and more chloritic interstratification, and constancy of kaolinite with increasing rain fall in the Irbid soils, and less smectite and more illite and kaolinite in the Jordan valley than in the Irbid soils.

The results of K-analyses (figure 2) show that in the Irbid region total K and all fractions decrease, but K-fixation (even $K_{fix} : \text{clay}$) increases with increasing content of clay in soils and of smectite in clay fractions. The Jordan valley soils, with their lower clay and smectite contents, have higher K-contents in all fractions and less K-fixation.

In conclusion, it can be stated that the stronger vertic properties in the plateau soils parallel their higher clay and smectite contents. The differences in the K-status of the two soil types correspond to those in their mineral content: more clay and smectite lead to lower reserves and availability of K, associated with higher fixation rates.

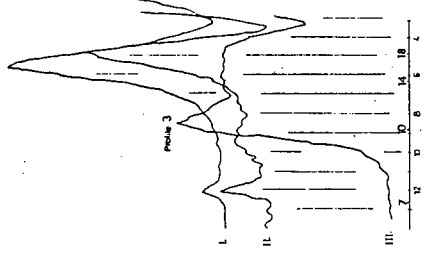
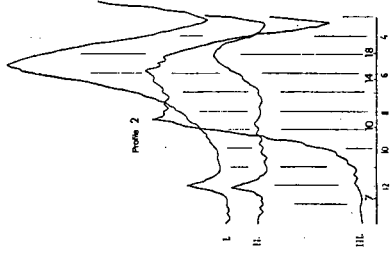
[†] Dept. of Soils and Irrigation, University of Jordan, Amman.

Table 1 Some Chemical and Physical Properties of the Studied Soils

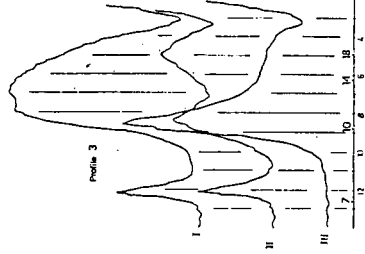
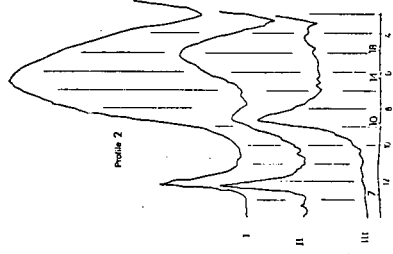
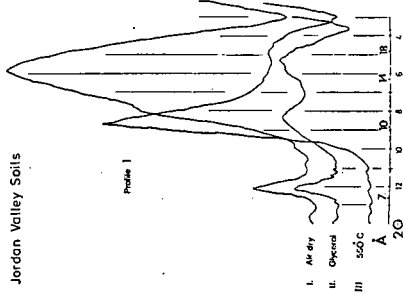
Profile No. (Rainfall) mm/year	Depth cm	pH CaCl ₂	Carbo- nate %	E.C. mmhos/cm	Sand	Silt %	Clay	C.E.C meq/100g
I 1 (200)	0-25	7.8	8.1	0.89	5.2	33.9	60.9	43.1
	25-55	7.6	9.9	0.52	5.2	30.3	64.5	45.5
	55-85	7.6	10.9	0.34	5.2	30.1	64.7	49.0
	85-115	7.6	10.3	0.34	4.2	30.6	65.2	51.5
I 2 (300)	0-25	7.5	7.3	0.36	2.2	21.5	76.3	63.7
	25-50	7.6	7.5	0.53	3.1	21.7	75.2	59.3
	50-75	7.6	7.8	0.60	3.4	20.0	76.6	48.1
	75-100	7.6	7.8	0.62	1.5	20.8	77.7	59.5
I 3 (400)	0-20	7.1	1.7	0.20	2.6	15.6	81.8	71.1
	20-45	7.2	2.7	0.16	1.3	18.7	80.0	65.4
	45-65	7.3	2.9	0.19	1.1	21.3	77.6	63.2
	65-85	7.5	3.1	0.18	1.2	20.8	78.0	62.0
J 1 (200)	0-20	7.9	25.8	4.2	9.7	34.3	56.0	32.6
	20-40	7.8	26.1	3.7	7.1	26.2	66.7	33.6
	40-60	7.8	26.5	3.4	4.9	28.4	66.7	33.0
	60-80	7.7	26.1	3.6	4.7	27.1	68.2	35.3
J 2 (200)	0-25	7.7	24.3	3.5	10.7	32.2	57.1	40.4
	25-50	7.7	24.7	3.7	8.6	28.6	62.8	40.3
	50-80	7.7	25.0	4.1	7.4	30.5	62.1	38.1
J 3 (200)	0-30	7.7	42.6	3.5	11.8	27.8	60.4	35.2
	30-55	7.7	47.5	2.8	22.0	27.8	50.2	27.5
	55-85	7.8	49.7	2.4	29.6	25.6	44.8	20.3

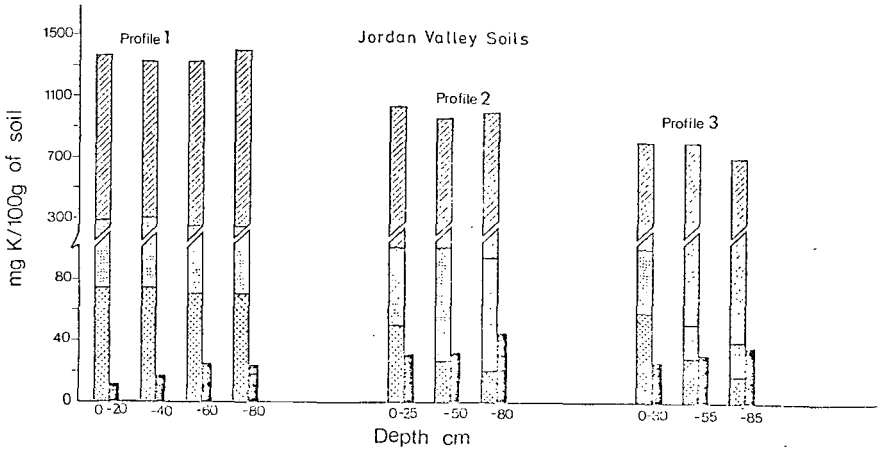
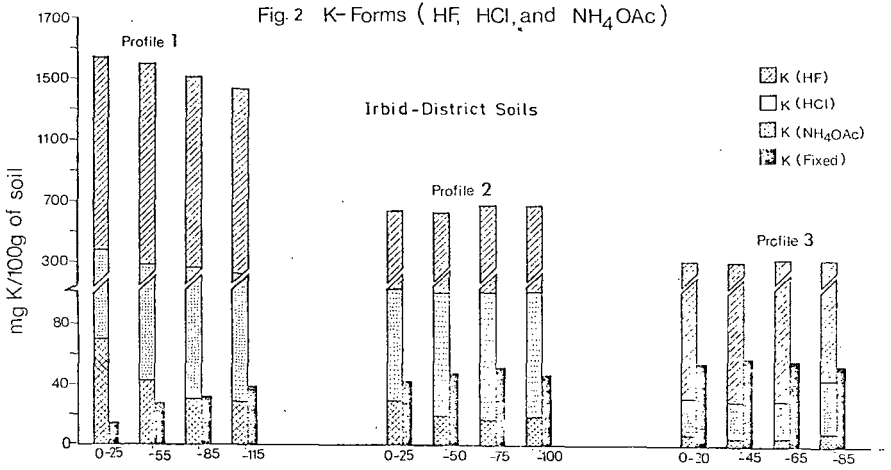
Fig 1 X-ray Diffraction Patterns of Clay Fractions

Irbid-District Soils



Jordan Valley Soils





Ein Schichtphosphat mit Basisabstand 20 Å

von

B.-M. Wilke *

Einleitung

Von Zech, Wilke und Drexler (1979) wurden an tertiären Schlottenfüllungen der südlichen Frankenalb und der schwäbischen Alb chemische, mikromorphologische und tonmineralogische Untersuchungen durchgeführt. Dabei zeigte sich, daß im Röntgendiagramm der Tonfraktion (Texturpräparat) der mitteloligozänen Schlottenfüllung von Burgmagerbein 3 (Probe Nr. 8) Reflexe bei $d = 20,5 \text{ Å}$ und $d = 6,68 \text{ Å}$ auftraten. Diese konnten keinem der bekannten Tonminerale zugeordnet werden. Es sollte deshalb aufgrund weiterer röntgenographischer, thermoanalytischer, chemischer und elektronenmikroskopischer Untersuchungen geklärt werden, durch welches Mineral diese Röntgenreflexe hervorgerufen werden.

Methoden

Röntgenographische Untersuchungen der gereinigten Tonfraktion (Entkalken mit 1 n HCl bei pH 4; Dithionit-Citrat-Behandlung) wurden nach folgenden Behandlungen durchgeführt: Mg-Belegung, Bedampfen mit Äthylenglycol; K-Behandlung lufttrocken und Erhitzen auf 110° C und 400° C, NaOH-Behandlung (500 mg Ton werden mit 40 ml 1 n NaOH 1 h im Wasserbad bei 100° C erhitzt); HCl-Behandlung (1 h mit 1 n HCl schüttele)n unter Verwendung einer $Co K \alpha$ - Strahlung durchgeführt. Si-, Al-, Fe- und Na-Bestimmungen im NaOH-Extrakt mit AAS. P-Bestimmung nach JOHN (1970); EM-Aufnahmen: Das Probenmaterial wurde aus Äthanol-suspension auf einem Kohlefilter eingetrocknet und mit Zeiss EM 10 bei 80 kV beobachtet.

Ergebnisse und Diskussion

Das Röntgendiagramm der Tonprobe von Burgmagerbein 3 (Nr. 8) enthält neben dem unbekanntem Mineral vorwiegend Kaolinit, etwas Illit und sek. Chlorit.

* Lehrstuhl Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, Universitätsstraße 30, 8380 Bayreuth

(s. Abb. 1 und 3). Behandlungen mit HCl, Kalium, Äthylenglycol und Erhitzen auf 110° C rufen keine Veränderung der Röntgenreflexe bei $d = 20,5 \text{ \AA}$ und $d = 6,68 \text{ \AA}$ hervor (Abb. 3). Dagegen verschwinden die Reflexe nach Erhitzen auf 400° C ,2 h (Abb. 3) oder bei NaOH-Behandlung (Abb. 3) völlig.

An Pulverpräparaten erstellte Röntgendiagramme (Abb. 3) wiesen noch weitere Reflexe (Tab. 1), die nach NaOH-Behandlung verschwinden und deshalb dem unbekanntem Mineral zugeordnet werden können, auf. Dabei fällt auf, daß die Reflexe bei $d = 20,5 \text{ \AA}$ (001), $d = 6,68 \text{ \AA}$ (003) und $d = 3,34 \text{ \AA}$ (006) deutlich kleiner sind als in den Diagrammen der Texturpräparate. Dies deutet auf einen schichtförmigen Aufbau des Kristallgitters des unbekanntem Minerals hin.

Tabelle 1: Lage und Intensitäten der nach 1 n NaOH-Behandlung verschwindenden Röntgenreflexe der Tonfraktion von Burgmagerbein 3

$d \text{ (\AA)}$	I	$d \text{ (\AA)}$	I
20,5	3	3,02	6
6,68	4	2,94	9
6,09	5	2,89	10
5,79	7	2,11	3
3,34	1	1,76	6
3,11	4		

Wie Abb. 3 erkennen läßt, treten nach der NaOH-Behandlung neue Reflexe im Röntgendiagramm auf. Die stärksten Linien liegen bei $d = 2,83 \text{ \AA}$ und $d = 2,79 \text{ \AA}$ und können dem Apatit zugeordnet werden. Offensichtlich wurden bei der NaOH-Behandlung aus den Lösungsprodukten des Minerals Apatit gebildet. Da in den Schlottenfüllungen häufig Knochen gefunden wurden, erscheint das Auftreten von Phosphor in der Tonfraktion der Schlotten gut erklärbar.

Elektronenmikroskopische Aufnahmen (Abb. 4) der Tonfraktion von Burgmagerbein wiesen neben abgerundeten Blättchen, die wohl vornehmlich dem Kaolinit zugeordnet werden können, vereinzelt längliche, im Querschnitt röhrenförmig aussehende Gebilde auf. Diese dürften wohl von dem bislang unbekanntem Mineral herrühren. Häufig sind die Teilchen zu Aggregaten verkittet, was erklärt, daß das Mineral vornehmlich in der Mittel- und Grobtonfraktion auftritt.

Da sich das unbekannte Mineral bisher nicht isolieren ließ, mußte zu seiner chemischen Kennzeichnung der NaOH-Extrakt (1 n NaOH, 1 h 100°) analysiert werden. Diese Untersuchung ist jedoch mit den Fehlern behaftet, da während der Extraktion Apatit gebildet wurde und auch Kaolinit durch NaOH gelöst werden kann. Um den Anteil des durch Lösung des Kaolinitis freigesetzten Si und Al zu erfassen, wurde die Tonfraktion einer anderen Schlottenfüllung (Nr. 3) ebenfalls extrahiert. Diese enthält die gleiche Menge von schlecht kristallisiertem Kaolinit wie die Tonprobe von Burgmagerbein 3 (Nr. 8).

Tabelle 2: Analysendaten der NaOH-Extrakte

Probe-Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
(mg/g Ton)				
8	46	114	0,1	29
3	45	47	n.b.	3

Die Analyse der NaOH-Extrakte (Tab. 2) zeigt, daß aus beiden Tonfraktionen etwa gleiche Mengen Silizium gelöst wurden. Aus Probe 8 (Burgmagerbein) wurde jedoch wesentlich mehr Aluminium und Phosphor gelöst. Daraus kann geschlossen werden, daß sich das unbekannte Mineral wohl vornehmlich aus diesen Elementen zusammensetzt. Andere Elemente, wie K, Mn, Mg etc. wurden nicht oder nur in geringen Mengen (Na₂O-Gehalt 1 % im KOH-Extrakt) nachgewiesen. Neben Aluminium und Phosphor könnte das Mineral allerdings noch Calcium enthalten, da bei der Extraktion Apatit gebildet wurde (s. Röntgendiagramm Abb. 3).

Zusammenfassend kann aufgrund der Untersuchungen festgestellt werden, daß die unbekanntem Reflexe im Röntgendiagramm der Tonfraktion von Burgmagerbein wohl durch ein Schichtphosphat hervorgerufen wurden. Eine genaue Angabe der chemischen Zusammensetzung des Minerals kann erst gegeben werden, wenn es gelingt, dies sauber aus der Tonfraktion abzutrennen. Da das Mineral nicht in den anderen bislang von uns untersuchten Schlotten auftritt, kann angenommen werden, daß es nur wenig stabil ist. Die Schlotte von Burgmagerbein wurde vollständig calcifiziert (alle Hohlräume mit Calciten ausgefüllt), so daß die Füllung vor weiterer Verwitterung geschützt war.

Literatur:

JOHN, M. K. (1970): Soil Science 109, 214-220

ZECH, W., WILKE, B.-M. und DREXLER, O. (1979): Z. Geomorph. N.F.
Suppl. Bd. 33, 182-193.

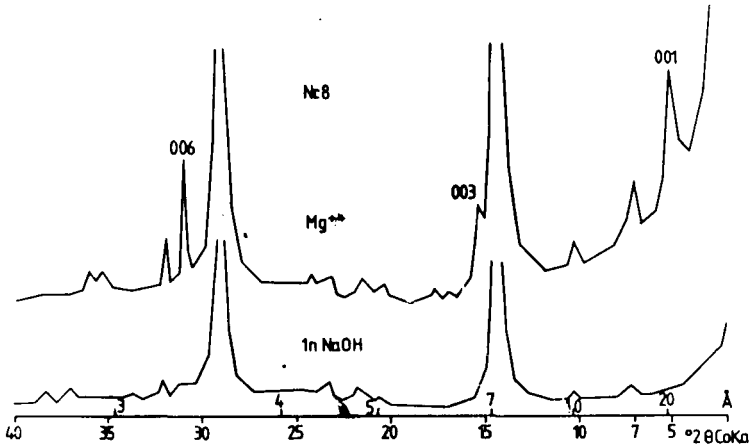


Abb. 1: Röntgendiagramme der Tonfraktion von Burgmagerbein 3 vor und nach der Behandlung mit 1 n NaOH (Texturpräparate)

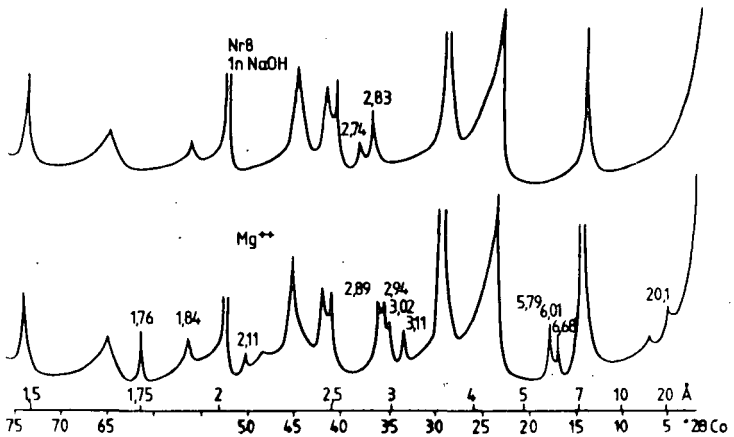


Abb. 2: Röntgendiagramme der Tonfraktion von Burgmagerbein 3 vor und nach NaOH-Behandlung (Pulverpräparate)

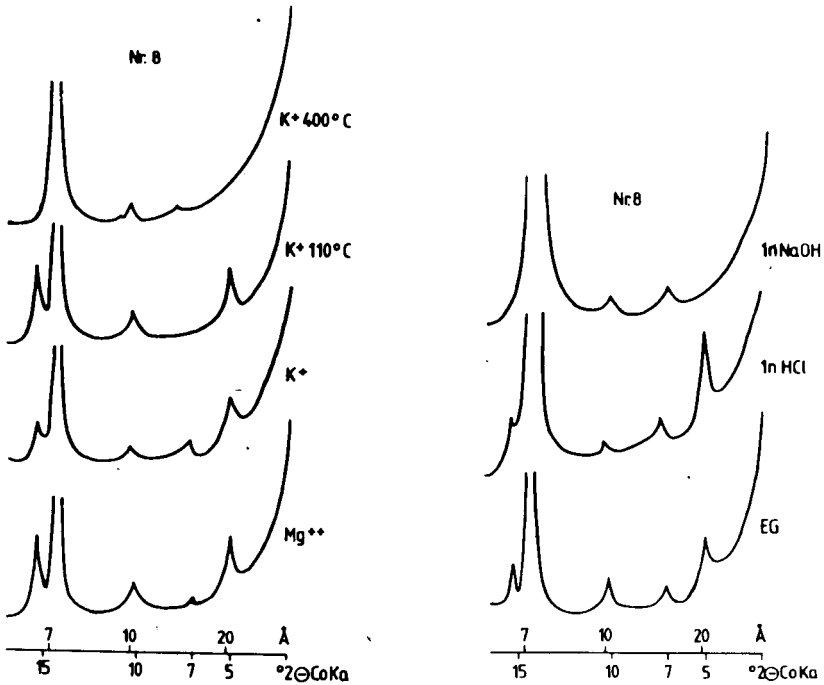


Abb. 3: Röntgendiagramme der Tonfraktion von Burgmagerbein 3 (Texturpräparate)



Abb. 4: TEM-Aufnahme der Tonfraktion von Burgmagerbein 3. Vergrößerung 93.500 x
Foto: H. Ch. Bartscherer (TU München)

Mg-Chlorit-Bildung aus Bodentonmineralen

von

H. Shadfan⁺ und E. Schlichting⁺⁺

Nach Modellversuchen können sich sek. Mg-Chlorite bilden, wenn montmorillonitische Tonminerale geeignete Mg-Quellen und für die Mg(OH)₂-Fällung ausreichende OH-Konzentrationen gegeben sind. Da so hohe pH-Werte (≥ 10) selten auftreten und dann für Tonmineralaufweitung und Mg-Mobilisierung zumindest aus stabileren Mineralen suboptimale Bedingungen herrschen, ist die weitgehende Beschränkung sek. Mg-Chlorite auf Böden geringer klimatischer Durchfeuchtung bzw. Durchlässigkeit oder mit salzigem Grundwasser bzw. aus marinen Sedimenten verständlich.

Aber auch in terrestrischen Böden SW-Deutschlands wurden sek. Mg-Chlorite gefunden. Aus Abb. 1 ist zu schließen, daß a) die Carbonate ein ausreichendes pH garantierten und auch Basaltuff genügend Mg lieferte und b) intermediär gebildete Montmorillonite (Mo) schnell oder auch Wechsellagerungsminerale (WLM) chloritisiert werden können. Da diese Schlüsse auf der Interpretation von Tiefenfunktionen in möglicherweise geschichteten Profilen beruhen, wurde untersucht, inwieweit sich Tonfraktionen von Böden mit deutlich unterschiedlichen Gehalten an Mo, WLM und Illit (s. Tab. 1) durch Optimierung von pH (ca 10) und/oder Mg-Angebot (33mval/100g) chloritisieren lassen (Methodik s. H. Shadfan, Diss. Univ. Hohenheim, 1976).

Nach den Röntgendiagrammen wurden im Profil 2 (Abb. 2) Mo und quellender Chlorit völlig zu stabilem Chlorit umgewandelt, im Profil 1 Mo weniger zu Chlorit als zu WLM. Noch schwächer war die Chloritisierung in den WLM-reichen Profilen 3 und 4 (Abb. 3) hier nur noch nachweisbar durch das Fehlen einer Quellung zu 16Å-Mineralen nach der Behandlung. Da in diesen Profilen die Illite stabil blieben, wurde das nötige Aufweitzungsmaß in Modellversuchen ermittelt. Illinois-Illit ließ sich weder vor noch nach Kalignost-Behandlung chloritisieren, wohl aber durch BaCl₂-Extraktion stärker K-verarmter Phlogopit.

Aus den Untersuchungen folgt also, daß bereits WLM chloritisierbar sind, unter den gewählten Bedingungen allerdings so schwach, daß die Chlorite in den o.a. Profilen darauf deuten, daß entweder doch eine Mo-Phase passiert wurde oder eine längere Reaktionsdauer bei geringeren Mg- und OH-Konzentrationen in der Natur zu besseren Ergebnissen führen.

+ Dept. of Soils and Irrigation, University of Jordan, Amman

++ Institut f. Bodenkunde u. Standortslehre, Univ. Hohenheim, 7000 Stuttgart 70

Tab. 1 : Charakterisierung der untersuchten Bodenprofile

Profil Nr.	Gestein	Bodentyp	Horizont	pH KCl	Humus %	Carbonate %	Ton %	Mo	WLM	% v. Ton Chlo. Ill. Kao.
1	Basalttuff + Kalkstein	Braunerde	A _h	5,3	11,6	-	63,2	90	-	- Sp. 5
			B _v	5,6	3,8	-	69,2	90	-	- Sp. 5
			C _v	6,7	0,9	36,7	19,3	85	-	- 10 5
2	"	Mergelrendzina	A _h	6,7	3,7	14,8	6,8	60	-	40 - -
			C _v	6,8	1,3	10,5	5,3	75	-	25 - -
3	km ₁ -Mergelton	Braunpelosol	A _h	3,6	5,3	-	46,1	-	25	10 65 -
			B _{av}	5,5	1,4	-	51,1	-	40	10 50 -
			C _{v1}	7,2	0,2	8,8 ^x	39,9	-	45	10 45 -
			C _{v2}	7,4	0,1	16,5 ^x	33,4	-	45	10 45 -
4	"	Pelosol	A _h	5,8	6,2	-	61,9	-	30	20 50 -
			B _{av} ^C	7,1	0,9	7,7 ^x	41,1	-	30	10 60 -
			C _a	7,1	0,5	9,4 ^x	31,5	-	20	20 60 -
			C _v	7,2	0,2	13,8 ^x	44,6	-	30	10 60 -

x=Dolomit

Abb.1 Typische Böden mit sekundärem Mg-Chlorit in SW-Deutschland

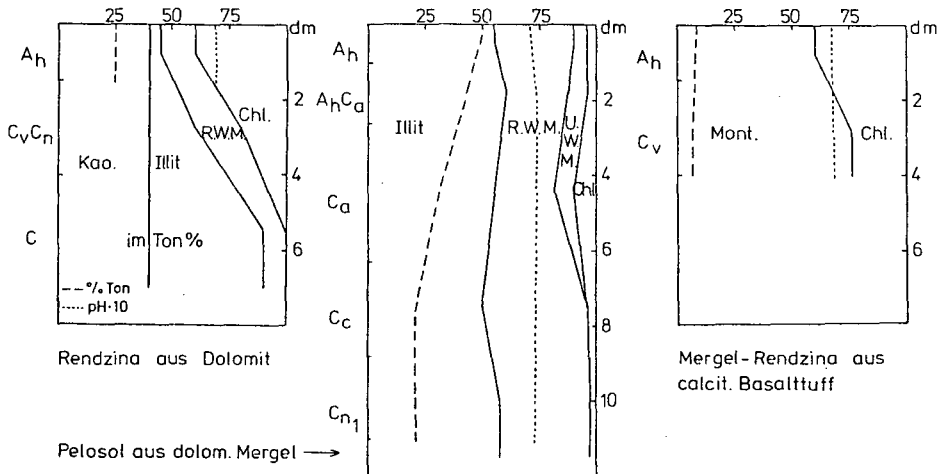


Abb. 2 Röntgenreflexe (Profil 2) vor (I) und nach (II) der Chloritisierung

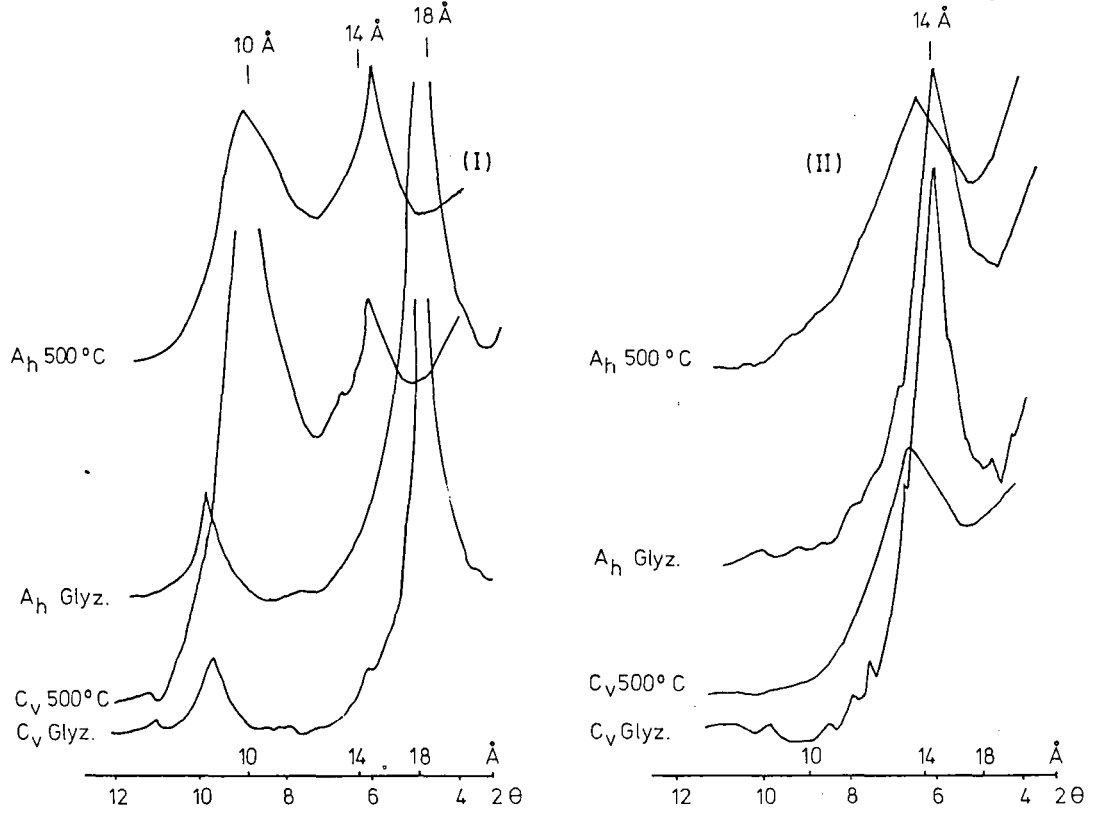
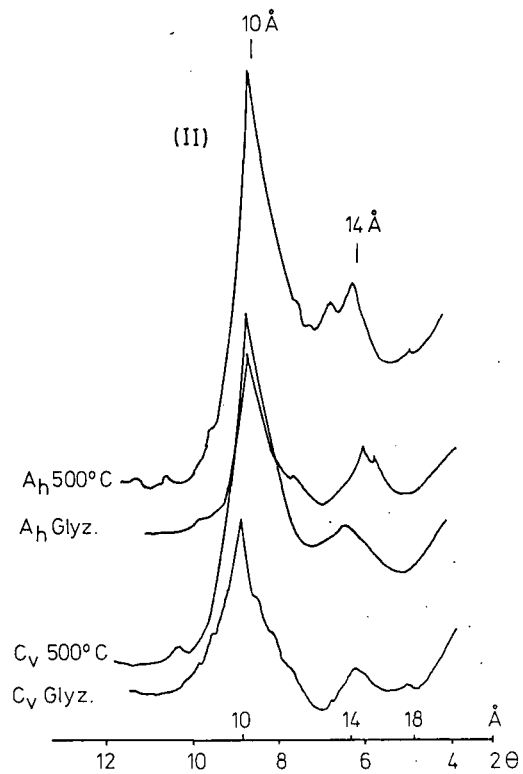
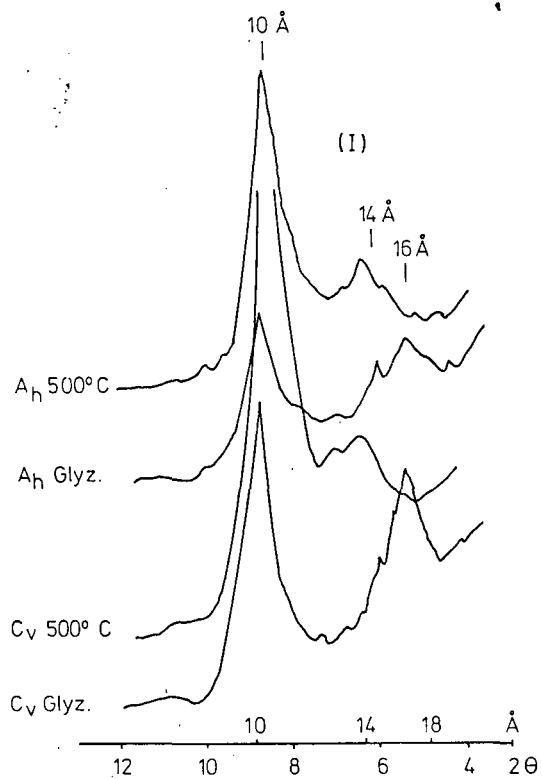


Abb. 3 Röntgenreflexe (Profil 4) vor (I) und nach (II) der Chloritisierung



K- und NH_4 -Austausch, -Fixierung und Nachlieferung in Böden mit
Smectiten aus Mergeln des Campan in der Münsterländischen Tief-
landsbucht.

Wildhagen , H. , u. B. Meyer *

FRAGESTELLUNG

Bodenuntersuchungsergebnisse der Landwirtschaftskammer Münster haben gezeigt, daß der K-Zustand, gemessen am lactatlöslichen K, in vielen Bereichen der münsterländischen Tieflandsbucht unbefriedigend ist - auch in Fällen mit starker K-Düngung. Das gilt nicht nur für kürzlich umgebrochenes Grasland, sondern auch für altes Ackerland. Besonders betroffen sind die schweren Lehm- und Tonböden im Raum Warendorf-Münster (SPIELHAUS et al.). In großen Teilen der Bucht sind die betreffenden Böden aus Mergeln oder in der drenthezeitlichen Grundmoräne aufgearbeiteten Mergeln der Oberkreide, in erster Linie des Campan, hervorgegangen. Die K-Düngung wird häufig nachlässig behandelt, da ihr aufgrund praktischer Erfahrungen kein Ertragseffekt zugemessen wird. Trotzdem zeigen Feld- und Gefäßversuche, daß K ein den Ertrag auf gehobenem Niveau begrenzender Faktor ist. Ertragssteigernde Effekte einer K-Düngung werden aber erst bei sehr hohen, sogenannten "meliorativen" K-Düngergaben sichtbar. Hängt dies mit einer möglichen K-fixierung zusammen, die zum Wirksamwerden einer K-Düngung das Überschreiten eines Fixierungsschwellenwertes erfordert? Oder verlangt lediglich eine vorgegebene Eintauch-Selektivität des Tons für K eine wesentliche prozentuale Anhebung der K-Ionen am Austausch-Kationen-Belag, um kontinuierlich mit dem Austausch-K auch die K-Konzentration in der Bodengleichgewichtslösung zu steigern?

In zu dieser Frage anzustellenden Pflanzenversuchen ist neben dem Nährstoff K stets auch das NH_4 zu berücksichtigen, da im Falle einer Fixierung eine erhebliche Konkurrenz bestehen kann.

Der Begriff der K- und NH_4 -Fixierung ist bislang nicht klar definiert. Er meint das nach Soforteintausch und Sofortrücktausch nicht wieder vom Ton in Lösung freigesetzte K. Dabei kann "sofort" je nach Bestimmungsmethode wenige Minuten bis mehrere Stunden umfassen.

* Institut für Bodenkunde, von-Siebold-Str.44, D 3400 Göttingen

Fixierung und Defixierung von K und NH_4 in den Zwischenschichten von Dreischicht-Tonmineralen erfordert unterschiedlich lange Reaktionszeiten. Davon wiederum hängt ab, ob eine Fixierung von Dünger-K und eine Defixierung ökologisch überhaupt wirksam werden. Weitere methodische Untersuchungen zu dieser Frage erscheinen notwendig. Auch die K-Fixierung in Abhängigkeit von der K-Angebotskonzentration der Lösung bleibt zu klären.

BODENAUSWAHL

Die untersuchten Proben stammen aus den K-Düngungsvarianten-Parzellen eines mehrjährigen Feldversuches, der die Ertragseffekte einer sog. "meliorativen" K-Düngung gezeigt hatte, hier aber nicht weiter besprochen werden soll.

Es handelt sich um einen Pseudogley-Pelosol aus stark sandigem Ton, einem kryoturbaten Gemisch aus Geschiebelehm, Geschiebedecksand und Campan-Mergel.

Der Boden befand sich schon seit langer Zeit in Ackernutzung. Infolge regelmäßiger K-Düngung wies er nach der DL-Methode 20 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g Bodenmaterial auf, nach der CaCl_2 -Methode 13 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g B. Er befand sich somit vor Anlage des Feldversuches bereits im sog. "mittleren" Versorgungsbereich — im Gegensatz zu den benachbarten Grasland-Umbruchflächen, die zwischen 4 und 8 mg DL- $\text{K}_2\text{O}/100$ g B. aufwiesen.

Im Jahre 1975 und 76 wurden neben einer O-Parzelle (O) Düngungsparzellen mit insgesamt 300 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$, 1000 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ und 2000 kg $\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ angelegt.

Die zugeführten K_2O -Mengen entsprachen, auf die Krume umgelegt 0, 8, 27, und 53 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g B.. Die Undurchlässigkeit des Unterbodens gestattete, eine K-Auswaschung und eine Verlagerung aus der Krume weitgehend auszuschließen.

Von diesen Parzellen wurden nach einmaliger Beerntung des Feldversuchs (Pflanzlicher Entzug: 3 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g B.) Proben für den im folgenden besprochenen Gefäßversuch entnommen.

Tab.1 zeigt die Kenndaten des Versuchsbodenmaterials. Hinzuweisen ist auf den Tongehalt von 27 %, den Widerspruch zwischen 0.8 mval $\text{K}/100$ g B. entsprechend 38 mg $\text{K}_2\text{O}/100$ g Boden und nur 20 mg DL- $\text{K}_2\text{O}/100$ g Boden, der noch zu erläutern ist.

TONMINERALE

Tab. 1 weist zugleich auf die für einen smectitischen Ton sehr geringe Austauschkapazität von nur 49 mval/100 g hin sowie auf das recht enge Zwischenschicht K/NH_4 -Ionenverhältnis von 5,8.

TAB. 1 : KENN - DATEN DES VERSUCHSBODENS HOETMAR / WESTF.
VOR VERSUCHSBEGINN

KÖRnung						
ϕ μm	>200	200-63	63-20	20-6	6-2	<2
GEW. %	29	27	9	4	4	27

pH	C	N	Ca - lact.-lösl. mg/100g B.		K
CaCl_2	%	%	K_2O	P_2O_5	%
6,3	1,43	0,15	20,1	36,9	0,97

AUSTAUSCH - CHARAKTERISTIK						
	KAK	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	H^+
$\frac{\text{mval}}{100 \text{ g B.}}$	20,2	17,2	0,8	0,8	0,3	1,1
%	100	85	4	4	1,5	5,5

TON					
KAK	$\text{NH}_4\text{-N}$ fixiert		K fixiert		
	$\frac{\text{mval}}{100 \text{ g}}$	%	$\frac{\text{mval}}{100 \text{ g}}$	%	$\frac{\text{mval}}{100 \text{ g}}$
49	1,06	7,6	17		44

TAB. 2 : MENGEN AN K_2O IN MILLIGRAMM / 100 GRAMM BODEN - MATERIAL, BESTIMMT NACH
VERSCHIEDENEN VERFAHREN 1 JAHR NACH DER DÜNGUNG

PAR- ZEL- LE	1	2	3	4	5	DIFFERENZ ZU 0					
	SOLL (O+DÜN- GUNG- ENTZUG*)	AUS- TAUSCH- BAR MEHLICH	EXTRAHIERBAR DOPPEL- LACTAT LUFA	CaCl_2 LUFA	AUS- TAUSCH- BAR $\text{NH}_4\text{-a.c.}$	DÜN- GUNG	SPALTEN				
							(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0	37**)	37	20	13	19	0	0	0	0	0	0
300	42	47	23	16	22	8	5	10	3	3	3
1000	61	75	37	19	34	27	24	38	17	6	15
2000	87	94	53	26	47	53	50	57	33	15	28

* IN ALLEN VARIANTEN 3 mg ** MEHLICH - WERT MINUS ENTZUG
** REICHENBACH U. SCHROEDER

Die Röntgenbeugungsdiagramme in Abb. 1 zeigen neben wenig Kaolinit und Illit die Dominanz eines 18 \AA -Minerals, das bei vollständiger K-Belegung nur zu geringen Teilen auf 10 , hauptsächlich dagegen auf 12 \AA kontrahiert (Pleistoeexpandite). Abweichend von entsprechenden "Lagerstätten-Montmorilloniten" (z.B. Upton) zeigt das "Ca(H₂O)"-Diagramm, daß der Smectit bei Ca-Belegung wie bei K-Belegung im H₂O-Desorptionsgang schon bei hohen Wasserdampf-Partialdrücken ziemlich einheitlich auf Basisabstände von $12,0$ bis $12,6 \text{ \AA}$ zurückgeht. Nach Rücktausch des K gegen Ca (Reversibilitätstest) ist, ebenfalls im Gegensatz zu entsprechenden Montmorilloniten, nur ein sehr geringer Anteil des Smectits mit Glycerin wieder aufweitbar. Dieses Verhalten, das nur für Montmorillonite höherer Ladungsdichte charakteristisch ist (Plioexpandite), die andererseits mit K auf 10 \AA kontrahieren, legt die Vermutung nahe, daß es sich bei den zwischen 12 und $12,6$ schwankenden Basis-Reflexen um Wechsellagerungsreflexe $14/10 \text{ \AA}$ und $15,2/10 \text{ \AA}$ handelt. Dies würde auch die eigenartige H₂O-Einlagerung bei Ca-Belegung erklären. Rasterelektronenmikroskopisch wurde ein Vorherrschen von klar begrenzten ca. 30 nm dicken Tonmineral-Plättchen festgestellt.

K-AUSTAUSCHVERHALTEN

Tab. 2 bringt für die 4 Düngungsparzellen des Feldversuches zum Zeitpunkt der Probenahme für den Gefäßversuch die Mengen an Austausch-K, die nach der Methode MEHLICH, den LUFA-Methoden und mit Ammoniumacetat nach REICHENBACH u. SCHROEDER (3) erfaßt wurden. Da die MEHLICH-Methode die höchsten Werte lieferte, wurde der MEHLICH-Wert der O-Parzelle als Bezugswert eingesetzt. Die anderen Methoden erfassen in der O-Parzelle nur die Hälfte bis ein Drittel des Austausch-K nach MEHLICH. In der rechten Hälfte der Tabelle sind die Soll-Differenzen für das Austausch-K angegeben wie sie sich aus den Düngermengen ergeben. Nur die MEHLICH-Methode liefert diesen Sollwerten entsprechende, z.T. sogar etwas höhere Werte an Austausch-K. Die anderen Methoden liefern höchstens die Hälfte des Sollwertes. Als Ursache ist nicht die Art des austauschenden Kations oder das pH der Austauschlösung anzusehen. Gravierend ist der Umstand, daß die MEHLICH-Methode ein mehrstündiges Verdrängungsverfahren darstellt. Alle anderen Methoden sind Gleichgewichtsverfahren mit begrenzter Reaktionsdauer von höchstens 2 Stunden. Das spielt bei den hier betrachteten Tonmineralen, bei denen ein Teil der Ad- und Desorption in Langzeitreaktionen verläuft die ausschlaggebende Rolle.

Abb.1: Röntgenbeugungsdiagramme der Tonfraktion (<2 µm) eines Pseudogley-Pelosol-Ap-Horizontes aus Oberkreide-Ton (Hoetmar/Westfalen).
Untergrund-Zählrate abgezogen

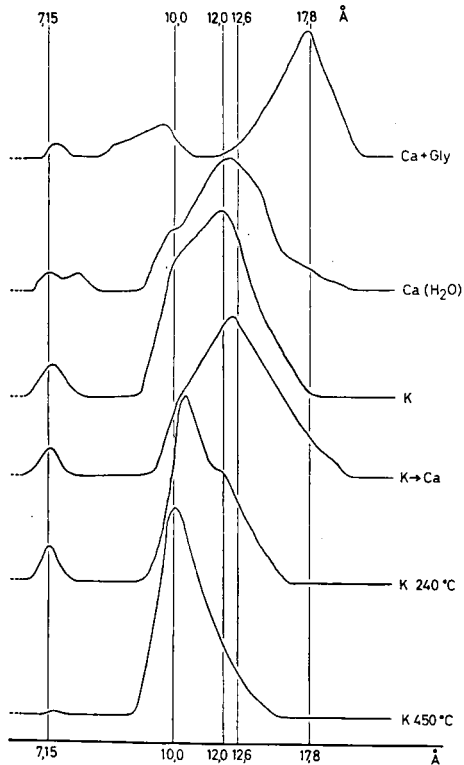
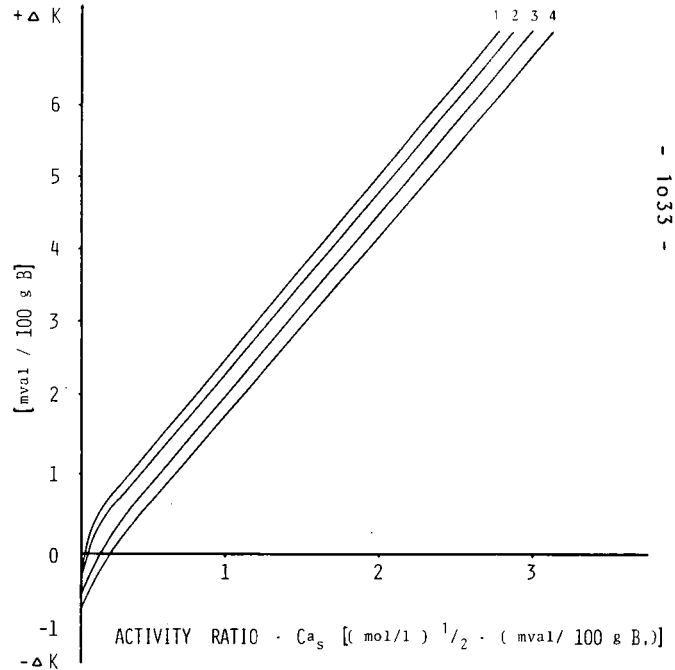


ABB. 2 : K / Ca - AUSTAUSCH - KURVE, -

1 → 4 : DÜNGUNGS - VARIANTEN 0, 300, 1000, 2000 kg K₂O / ha

$$\begin{array}{l}
 1 \quad y = 0.36 + 2.38 \times \\
 2 \quad 0.21 + 2.34 \times \\
 3 \quad -0.05 + 2.28 \times \\
 4 \quad -0.35 + 2.33 \times
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} |AR \cdot Ca_s > 0.25| \quad \begin{array}{l} r^2 = 0.97 \\ 0.94 \\ 0.93 \\ 0.93 \end{array}$$

100 g B. 1000 ml LÖSG, m. 0 - 51 mval K, 50 mval Ca
15 min REAKT. - ZEIT, pH 7



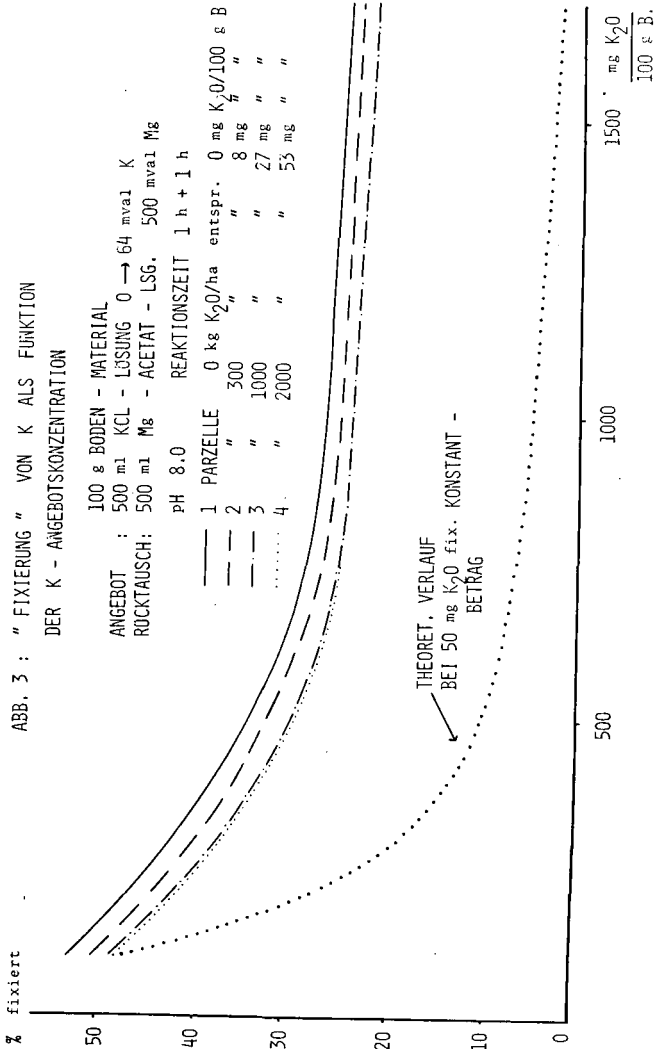
In Abb. 2 ist die Beziehung zwischen K-Aufnahme und K-Abgabe im Sofort austausch (n. EHLERS et al.) und der "activity ratio" der Lösung mal Ca_g dargestellt. Wie es Smectiten entspricht, erfolgt der K-Austausch überwiegend an planaren Austauschpositionen. Der Anstieg der Kurven im Bereich der Adsorption ist der Gapon-Koeffizient. Mit 2.28 und 2.38 liegt er wesentlich höher als bei Lagerstätten- und anderen niedrig geladenen Bodenmontmorilloniten mit Gaponkoeffizienten von 0.6 bis 0.9. Dies deutet auf eine höhere relative Selektivität der K-Bindung in planaren Positionen hin. Die Vertikalabstände zwischen den linearen Kurvenästen entsprechen den durch Düngung zugeführten K-Mengen. Der kurze gekrümmte Kurvenabschnitt spiegelt den geringen Anteil von e- und i-Positionen am Sofort-Austausch wieder. K-Düngung glättet diesen Teil. Das bedeutet Absättigung dieser K-selektiven Positionen mit K.

Solche Kurven sagen nichts über die Rücktauschbarkeit des sorbierten K. In Abb.3 sind Versuche dargestellt, in denen dem Bodenmaterial in der Lösung (siehe Abszisse) steigende Konzentrationen an K— bis zu 3000 mg $K_2O/100$ g B. entsprechend der 3-fachen KAK— angeboten und das sorbierte K mit Mg-acetat zurückgetauscht wurde. NH_4 -acetat, wie in den Standardmethoden zur Bestimmung der K-fixierung verwendet, lieferte gegenüber Mg-acetat völlig irreguläre Resultate. Die Reaktionszeit für K-Eintausch und K-Rücktausch im Gleichgewichtsverfahren betrug je 1 Stunde. Es überrascht, daß mit steigendem K-Angebot die sog. "fixierte K-Menge" steigt. Der Prozentsatz des fixierten K vom angebotenen K folgt nicht der theoretischen Kurve wie sie bei einem konstanten Betrag der fixierbaren K-Menge zu erwarten ist. Sie nähert sich vielmehr asymptotisch einem Wert von 20%. Das heißt, bei einem K_2O -Angebot von 3000 mg wurden ca. 600 mg entsprechend 14 mval/100g B. fixiert, und es war noch kein Ende dieser Fixierung abzusehen. Mit der Methode nach REICHENBACH et al. läßt sich somit die Fixierkapazität dieses Bodens nicht erfassen. Die hohen Düngergaben drücken die Fixierungsquote nur unwesentlich.

In den Tabellen 3 bis 8 wird ein 2jähriger Gefäßversuch vorgestellt, der mit Boden aus den Düngungspartellen des Feldversuches durchgeführt wurde. Tab.3 zeigt den Versuchsplan mit der Kombination von steigenden K-mit steigenden Nitrat- bzw. Ammoniumgaben zur Erfassung möglicher K/NH_4 -Wechselbeziehungen.

Tab. 4 zeigt, daß das steigende K-Versorgungsniveau Ertragssteigerungen bewirkt, ebenso die Steigerung der N-Menge (im 1. Jahr auch noch die Steigerung von 300 auf 600 kg N/ha) und daß im 1. Jahr das Ammonium dem Nitrat deutlich überlegen war.

Nach Tab. 5 steigen in gleicher Tendenz wie die Erträge mit steigendem K-Niveau und steigender N-Düngung auch die K-Entzüge. Dabei ist die Wirkung der hohen Ammoniumgaben deutlich geringer als die der hohen Nitratgaben.



TAB. 3 : VERSUCHSPLAN DES GEFASS-VERSUCHS

VERS. GLIED	BEZEICHNUNG DER DÜNGUNGSVARIANTE		
	K ₂ O-MENGE kg/ha	N-MENGE kg/ha	N-FORM
1	0	0	-
2	0	300	NI
3	0	600	NI
4	0	300	AM
5	0	600	AM
6	300	0	-
7	300	300	NI
8	300	600	NI
9	300	300	AM
10	300	600	AM
11	1000	0	-
12	1000	300	NI
13	1000	600	NI
14	1000	300	AM
15	1000	600	AM
16	2000	0	-
17	2000	300	NI
18	2000	600	NI
19	2000	300	AM
20	2000	600	AM

TAB. 4 : ERTRÄGE DES 2-JÄHRIGEN GEFASS-VERSUCHS

ANGABEN: g TRS/GEFASS

MITTEL-WERTE ALLER K-DÜNGUNGS-VARIANTEN

VARIANTE K ₂ O-GABE	NACH 1 JAHR		NACH 2 JAHREN	
	KORN	STROH	KORN	STROH
K 0	27	29	24	30
K 300	28	32	28	33
K 1000	28	34	27	35
K 2000	31	34	28	37
GD 5 %	2.8	1.5	1.9	3.7

MITTEL-WERTE DER N-FORMEN-VARIANTEN

VARIANTE N-FORM	1. JAHR		2. JAHR	
	KORN	STROH	KORN	STROH
NI	24	31	27	36
AM	33	34	27	31
GD 5 %	1.9	1.1	1.4	1.6

MITTEL-WERTE DER N-MENGEN-VARIANTEN

VARIANTE N-MENGE	1. JAHR		2. JAHR	
	KORN	STROH	KORN	STROH
0	4	8	6	13
300	27	31	27	35
600	30	33	27	32

TAB. 5 : K-ENTZÜGE DES 2-JÄHRIGEN GEFÄSS-VERSUCHS
ANGABEN: mg K₂O/100 g BODEN-MATERIAL

MITTELWERTE ALLER K-DÜNGUNGS-VARIANTEN

VARIANTE EINMALIGE K ₂ O-GABE mg/100 g B.		1. JAHR	2. JAHR	Σ
K 0	0	3,1	6,6	9,7
K 300	5	3,8	7,1	10,9
K 1000	24	4,8	7,9	12,7
K 2000	50	5,5	9,9	15,4

MITTELWERTE DER N-FORMEN-VARIANTEN

VARIANTEN JÄHRL. N-GABE		1. JAHR	2. JAHR	Σ
NI	300 kg N/ha	3,2	8,3	11,5
	600 kg N/ha	6,1	9,3	15,4
AM	300 kg N/ha	3,5	8,8	12,3
	600 kg N/ha	4,4	8,1	12,5

MITTELWERTE DER N-MENGEN-VARIANTEN

VARIANTEN JÄHRL. N-GABE		1. JAHR	2. JAHR	Σ
0	kg N/ha	0,7	1,8	2,5
300	kg N/ha	3,4	8,6	12,0
600	kg N/ha	7,0	8,8	15,8

TAB. 6 : N-ENTZÜGE DES 2-JÄHRIGEN GEFÄSS-VERSUCHES
ANGABEN: mg N/100 g BODEN-MATERIAL

MITTELWERTE ALLER K-DÜNGUNGS-VARIANTEN

VARIANTE	1. JAHR	2. JAHR	Σ
K 0	12,5	13,0	25,5
K 300	13,4	14,1	27,5
K 1000	13,3	13,8	27,1
K 2000	14,6	14,4	29,0

MITTELWERTE DER N-FORMEN-VARIANTEN

VARIANTE JÄHRLICHE N-GABE kg/ha mg/100 g B.		1. JAHR	2. JAHR	Σ
NI	300	17	10,6	27,6
	600	34	14,6	18,6
AM	300	17	12,7	29,7
	600	34	18,3	23,8

MITTELWERTE DER N-MENGEN-VARIANTEN

VARIANTEN JÄHRL. N-GABE		1. JAHR	2. JAHR	Σ
0	kg N/ha	1,5	2,5	4,0
300	kg N/ha	11,7	12,7	24,4
600	kg N/ha	21,2	20,6	41,8

TAB. 8 : GEHALTE AN FIXIERTEM AMMONIUM-N (AMf) IM 2-JÄHRIGEN GEFASS-VERSUCH

ANGABEN: mg AMf/100 g BODEN-MATERIAL

AUSGANGS-GEHALT VOR VERSUCH: 28,6 mg AMf/100 g B.

MITTELWERTE ALLER K-DÜNGUNGS-VARIANTEN

VARIANTE EINMALIGE GABE	NACH 1 JAHR	NACH 2 JAHREN
K 0	29	29
K 300	30	29
K 1000	29	29
K 2000	32	33

MITTELWERTE DER N-FORMEN-VARIANTEN

VARIANTE JÄHRL. GABE	NACH 1 JAHR	NACH 2 JAHREN
NI	28	28
AM	29	31

MITTELWERTE DER N-MENGEN-VARIANTEN

VARIANTE JÄHRL. GABE	NACH 1 JAHR	NACH 2 JAHREN
0	31	37
300	31	35
600	29	37

TAB. 7 : K-BILANZ FÜR DEN 2-JÄHRIGEN GEFASS-VERSUCH
(ZUSAMMENFASSUNG DER JAHRESDATEN)
ALLE ANGABEN IN mg K₂O/100 g BODEN

VARIANTE EINMALIGE K ₂ O-GABE	ENTZUG NH ₄ -acet., DL	+AUSTAUSCHBARES K ₂ O NH ₄ -acet., DL	-FIXIERT (BERECHN.) DL	+FIXIERUNGSKAPAZITÄT NH ₄ -acetat		FIXIERUNGSKAPAZITÄT VOR GEFASS-VERS.	
				nass	trocken	nass	trocken
K 0	10	- 2	± 0	- 8	+14	38	89
K 300	11	- 4	- 3	- 2	+11	37	85
K 1000	13	-10	-10	+21	+16	32	80
K 2000	16	-13	-14	+47	+16	31	75

* DÜNGUNG DES FELDVERSUCHES
- ENTZUG IM FELDVERSUCH

Tab. 6 zeigt, daß dieselben Tendenzen auch für die N-Entzüge gelten: Steigerung mit steigenden K- und N-Gaben. Jedoch ist hier bei hohen N-Gaben das Ammonium dem Nitrat im Hinblick auf den N-Entzug im 1. Jahr überlegen (K/NH_4 -Wechselwirkung) im 2. Jahr gleich.

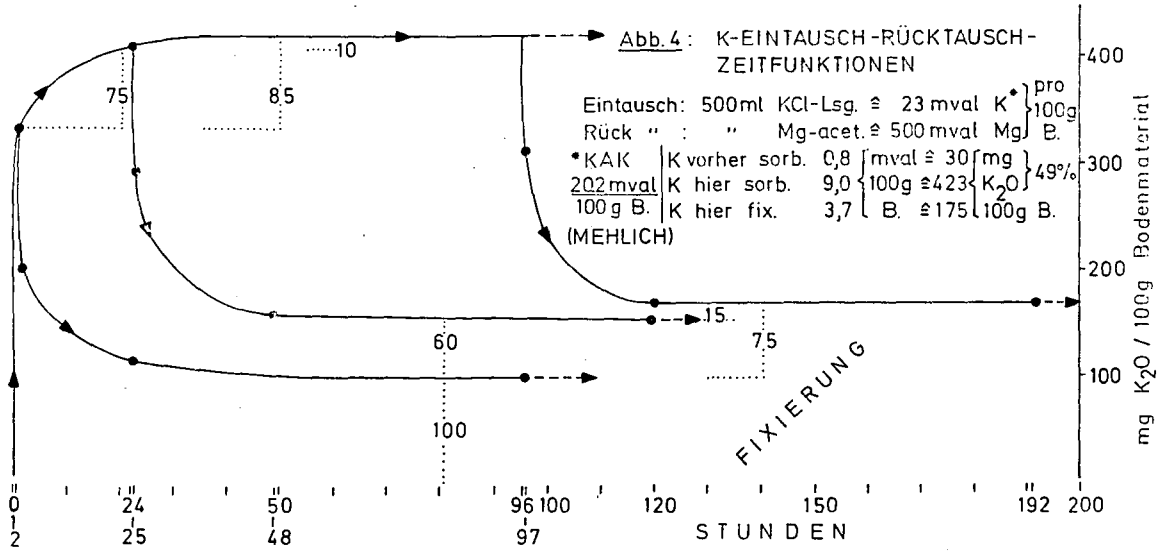
K - BILANZ

Tab. 7 bringt die Mengen-Bilanz für K für den Zeitabschnitt von der K-Düngung im Feld bis zum Abschluß des Gefäßversuches. In den K-Düngungsstufen 0 und 300 ist sowohl der Vorrat an austauschbarem wie an fixiertem K (letzteres nur berechnet) reduziert worden, d.h. fixiertes K ist auch in austauschbares überführt worden. In den K-Düngungsstufen 1000 und 2000 ist dagegen —widersinnigerweise— trotz Auffüllung des Vorrates an fixiertem K nur das austauschbare K vom pflanzlichen Entzug ausgeschöpft worden. Um das Resultat vollends zu verwirren hat in allen Fällen, und besonders dort wo viel K fixiert wurde, die Fixierungskapazität weiter zugenommen.

Tab. 8 zeigt, daß gegenüber dem Dünger-K das Dünger-Ammonium in seiner Wirkung wohl kaum von der Fixierung beeinflusst wurde. Unterschiede zwischen den Varianten liegen innerhalb der methodischen Streubreite.

Das widersprüchliche Verhalten der hier untersuchten Böden und ihrer Smectite läßt sich nur so erklären, daß eine steigende K-Sorption in einem aufgeweiteten Silikatschichtverband einen progressiven Zwischenschichtkollaps herbeizuführen vermag. Solche Reaktionen können dazu führen, daß K-belegte planare Sofort-Austauschpositionen zu Zwischenschicht-Langzeit-Austauschpositionen werden.

Einen Teil eines dazu durchgeführten Versuches gibt Abb. 4 wider. Der zeitliche Reaktionsablauf wird dargestellt wie er sich z.B. gemäß Abb. 3 bei einem Angebot von 1000 mg $K_2O/100g$ B. vollzieht, wobei angeblich 25 % des K fixiert wurden. Abb. 4 zeigt nun, daß die K-Aufnahme durch den Ton ein Prozeß mit einer hohen Anfangsrate und einer langsamen Angleichung an einen Endwert ist, der hier bei ca. 50 % der KAK liegt und nach 1 Tag zu 95 % erreicht wird. Setzt man an einzelnen Punkten der Adsorptionskurve mit Desorptionsgängen (K/Mg-Austausch) an, so folgen diese wiederum asymptotischen Zeitkurven — unabhängig davon, ob das aufgenommene K sofort oder langfristig adsorbiert worden war. So werden von dem in einer Stunde aufgenommenen K nur 39 % innerhalb einer Stunde im Austausch gegen Mg wieder rückgetauscht. Weitere 26 % folgen innerhalb eines Tages und 30 % bleiben schließlich dauerhaft fixiert. Abb. 4 zeigt aber



auch, daß dieser Endbetrag an fixiertem K mit zunehmender K-Aufnahme steigt — in unserem Falle etwa um den Betrag an K, den der Boden über die Sofortaufnahme (1 Std) hinaus bis zum Erreichen des Endbetrages der Sorption aufnimmt.

Man muß nun noch bedenken, daß Abb. 4 nur ein Beispiel für eine K-Angebotskonzentration gibt. Bei steigendem K-Angebot steigen die Quoten der Fixierung weiter.

Innerhalb ökologisch interessanter Grenzen habendiese Böden also keine festlegbare K-Fixierungskapazität. Sie kann mit zunehmender K-Aufnahme sogar wachsen. Der Prozess der Fixierung erfolgt als Sofortreaktion wie als Langzeitreaktion von einigen Tagen. Mit steigender K-Aufnahme wird offenbar auch die Bindung des fixierten K fester. Es bleibt auch im Langzeit-Austauschversuch gebunden. Im Hinblick auf die Ökonomie der K-Düngung ist bei diesen Böden festzuhalten, daß die immense Fixierungskapazität ein Faß ohne Boden darstellen kann. Eine zu'überschreitende Schwelle' existiert praktisch nicht, und mit steigender Aufwandmenge sinkt die Ertragseffizienz. Von "meliorativ" in Zusammenhang mit der K-Düngung in diesem Fall zu sprechen ist sicherlich nicht zu rechtfertigen. Zu erkunden bleibt im Feldversuch die Nachwirkungsdauer solcher hohen K-Gaben.

Um abschließend eine mögliche Modellvorstellung für Smectite der hier vorgefundenen Art zu geben, sei auf das von G.A. Borchardt in BEAR (1) dargestellte Schema verwiesen. Stellt man sich vor, daß der Smectit-Anteil des Bodens, der heute 1,7 % Zwischenschicht-K enthält, auf 3 % Zwischenschicht-K aufgeladen werden könnte und müßte, so wären dazu 18000 kg K₂O/ha erforderlich.

LITERATUR

- 1.) Bear, F.A., 1964: Chemistry of the Soil. - 2. Aufl., Reinhold Publishers, New York
- 2.) Ehlers, W., B. Meyer u. B. Ulrich, 1967: Die Kalium-Austauschkurve des Bodens. - Intern. Kali-Briefe, Fachgeb. 4, 39. Folge, 1-22, Juli 1967
- 3.) Graf v. Reichenbach, H., u. D. Schroeder, 1960: Ein Vergleich verschiedener Methoden zur Bestimmung des Kaliumfestlegungsvermögens an einigen schleswig-holsteinischen Böden. - Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkunde 90, 116-132
- 4.) Spielhaus, G., Deisenroth u. Odenthal, 1978: Wie steht es um die Kaliversorgung der Böden in Westfalen-Lippe? - Landwirtsch. Wochenblatt Westf.-Lippe, Münster, 25/1978, 40-43

Umwandlungen von ^{15}N -markiertem Ammonium in zwei Böden mit unterschiedlichem
 NH_4 -Fixierungsvermögen

von

Fischer, W.R., Traudl Pfanneberg, E.A. Niederbudde⁺ und R. Medina⁺⁺

Die Umwandlungen des Stickstoffs im Boden sind in erster Linie biologische Prozesse, bei denen als häufiges Zwischen- oder Endprodukt Ammonium gebildet wird. In Böden, die einen bedeutenden Anteil an K- (und damit NH_4 -) fixierenden Tonmineralen besitzen, kann durch mineralische Fixierung die NH_4 -Konzentration der Bodenlösung deutlich gesenkt werden. Daher kann angenommen werden, daß diese Tonminerale einen Einfluß auch auf den Stickstoffkreislauf eines solchen Bodens besitzen. Zur Prüfung dieser Annahme wurden verschiedene Böden mit $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ gedüngt und dann die Verteilung des markierten N auf verschiedene N-Fractionen gemessen. Hierfür wurden zwei Böden ausgewählt, die sich in ihrem K-Fixierungsvermögen stark voneinander unterscheiden (Pfanneberg et al. 1978). Die Proben stammen aus dem Eittinger Moos südöstlich von Freising (Niedermoor, K-Fix. 20.3 mg/100g) und aus dem Ampertal nördlich von Freising (Gley, K-Fix. 93.6 der vorgelegten 100 mg K/100g). Die Proben wurden bei der N-Zugabe auf 80% der Wasserkapazität aufgesättigt und dann bei 25°C bis zu 127 Tage im Brutschrank inkubiert. Nach der Abtrennung der einzelnen Fraktionen (Nitrat, austauschbares und mineralisch fixiertes Ammonium, HCl- und NaOH-lösliches N) sowie nach Gesamtaufschluß wurde der Stickstoff als NH_3 im Wasserdampfstrom destilliert, seine Menge titrimetrisch und anschließend das Isotopenverhältnis ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) massenspektrometrisch bestimmt.

⁺Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München-Weihenstephan, 8050 Freising 12

⁺⁺Lehrstuhl für allgemeine und Biochemie der TU München-Weihenstephan,
8050 Freising 12

Ergebnisse und Diskussion

Beide Böden verlieren im Verlauf der Inkubation Stickstoff in unterschiedlichem Ausmaß: Nach 127 Tagen waren beim Gley noch etwa 41, bei Niedermoor hingegen nur noch 23 der zugegebenen 50 mg/100 g Boden in der festen Phase vorhanden. Dabei tritt zunächst ein relativ rascher Verlust von 5 mg/100 g bei Gley und 14 mg/100 g beim Niedermoor auf, der dann in eine kontinuierliche Abnahme übergeht. Im Mittel (lineare Regression) nimmt hierbei die Menge des markierten Stickstoffs im Boden beim Gley um 0.045, beim Niedermoor um 0.16 mg/(100 g · Tag) ab.

Schon kurze Zeit nach der Zugabe des markierten Ammoniums weisen alle Fraktionen deutlich erhöhte ^{15}N -Gehalte auf. Relativ geringfügig ist die Verschiebung bei NaOH- und HCl-extrahierbarem N. Hier steigt der Gehalt an ^{15}N schnell auf etwa 0.5 - 0.6 Atom-% und verändert sich dann nicht mehr wesentlich. Bei allen anderen Fraktionen unterscheidet sich die Zeitabhängigkeit der ^{15}N -Gehalte im Niedermoor grundlegend von der im Gley.

Beim Niedermoor zeigt das austauschbare NH_4 nach 3-6 Tagen die höchsten ^{15}N -Gehalte. Nitrat folgt nur wenig verzögert mit fast ebenso hohen Gehalten. Das Isotopenverhältnis beider Fraktionen nimmt im Verlauf der Inkubation ab, doch bleiben die Werte beim Nitrat am höchsten. Beim fixierten Ammonium jedoch sind die ^{15}N -Gehalte während des ganzen Versuchs kleiner als 1 %.

Beim Gley hingegen weist schon beim ersten Versuchsabbruch nach drei Tagen das fixierte NH_4 das größte Isotopenverhältnis auf, gefolgt vom austauschbaren NH_4 . Der ^{15}N -Gehalt beider Fraktionen nimmt im weiteren Verlauf ab, während der des Nitrats nach dem 16. Versuchstag stark ansteigt und dabei höhere Werte erreicht, als sie vorher in den anderen Fraktionen gefunden wurden. Bei Versuchsende waren jedoch beim Gley die ^{15}N -Gehalte des fixierten NH_4 noch doppelt so hoch wie beim Niedermoor.

Aus den Stickstoff-Gehalten der einzelnen Fraktionen, den zugehörigen ^{15}N -Gehalten und aus dem Isotopenverhältnis des zugegebenen Ammoniums läßt sich berechnen, wie sich die N-Gabe auf die Fraktionen verteilt. Hier zeigt sich, daß beim Niedermoor bis auf eine kurze Anfangsphase, in der das austausch-

bare NH_4 über 70 % ausmacht, die Extrakte der alkalischen und sauren Hydrolyse die Hauptmenge des aus der Zugabe stammenden N enthalten. Das fixierte Ammonium ist mit 1 % am Anfang und einem Maximum von 7 % an der Stickstofffestlegung praktisch nicht beteiligt; NaOH und HCl extrahieren beim Niedermoor etwa gleiche Anteile des zugegebenen Stickstoffs. Der in Nitratform vorliegende Anteil des zugegebenen Stickstoffs schwankt stark um einen Mittelwert von etwa 7 %; ein Trend für den Zeitverlauf ist nicht zu erkennen.

Beim Gley nimmt schon innerhalb der ersten drei Tage die Fraktion des fixierten Ammoniums mit 47 % den Hauptteil des zugegebenen N auf.

Im Verlauf der Inkubation sinken diese Werte dann gleichmäßig, aber mit einer großen Streuung behaftet, auf unter 5 % ab. Hingegen bleibt das in austauschbarer Form vorliegende Ammonium mit meist unter 1 % hier ohne Bedeutung. Der durch NaOH gelöste Stickstoffanteil steigt mit der Zeit zunächst an, bleibt aber mit maximal 9 % höchstens halb so groß wie der der HCl-Extraktion. Auch der Nitratanteil steigt von anfänglich nahe 0 % gleichmäßig auf über 20 % an, um dann wieder auf unter 2 % abzufallen.

In den untersuchten Böden wird das zugegebene Ammonium also in unterschiedlicher Weise aufgenommen. Beim Niedermoor kommt es schon innerhalb von drei Tagen zu einer starken Anreicherung des austauschbar gebundenen NH_4 . In dieser Form ist der Stickstoff gut verfügbar und unterliegt damit leicht biologischen Prozessen wie Nitrifizierung und Einbau in die organische Substanz. Das äußert sich im Laborversuch in einem sehr schnellen Anstieg des markierten N auch in der Nitratfraktion. Beim Gley hingegen wird der Anteil des austauschbaren NH_4 nur geringfügig erhöht. Hier findet sich kurze Zeit nach der Stickstoffgabe ein großer Teil des markierten N in relativ fester mineralischer Bindung (fixiertes NH_4) und steht damit für eine schnelle Nitrifizierung nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund sind die beobachteten N-Verluste bei diesem Boden geringer.

Aus den gemessenen Stickstoffgehalten und den zugehörigen Isotopenverhältnissen läßt sich errechnen, wieviel N in den einzelnen Fraktionen aus dem zugegebenen NH_4 stammt.

Beim Niedermoor sinkt der Anteil des vorhandenen Stickstoffs, der aus der Zugabe stammt, im Verlauf der Inkubation gleichmäßig von 55 auf etwa 1 % ab.

Beim Gley stammen bis zum 48. Tag konstant zwischen 15 und 20 % des austauschbaren NH_4 aus der markierten Gabe. Beim darauf folgenden Versuchsabbruch ist der in fixierter Form vorliegende Teil des ^{15}N soweit abgesunken, daß die vorher mögliche Nachlieferung in die austauschbare NH_4 -Fraktion nicht mehr von Bedeutung ist. Aus diesem Grund sinkt der markierte Anteil plötzlich ab und erreicht zu Versuchsende 2.4 %.

Der markierte Anteil in der Fraktion des fixierten Ammoniums schwankt beim Niedermoor stark, bleibt aber ohne Trend zwischen etwa 2 und 5 %. Beim Gley ist dieser Anteil zunächst ebenfalls konstant bei 36-43 %; er sinkt dann aber zum gleichen Zeitpunkt wie beim austauschbaren NH_4 deutlich ab und liegt nach 127 Tagen Inkubationsdauer bei etwa 7 %.

Literatur:

Pfanneberg, T., W.R. Fischer und E.A. Niederbudde, 1978. Bestimmung der Harnstoffabbaurate in Land- und Unterwasserböden nach verschiedenen Methoden. Z. Pflanzenern. u. Bodenkd. 141, 469-477.

Identifizierung und Kennzeichnung von Eisenoxiden
durch Mössbauerspektroskopie

von

Murad, E. ⁺

Die Mössbauerspektroskopie findet seit einigen Jahren in zunehmendem Maße Verwendung bei der Untersuchung der Eisenmineralogie von Böden. Ein wesentlicher Vorteil der Methode liegt darin, daß diese elementspezifisch ist, d.h. daß andere Elemente die Messung nicht stören. Das führt dazu, daß der präparative Aufwand gering ist.

Die Fe-Mössbauerspektren von Bodenproben bestehen im allgemeinen aus:

1. Einem oder mehreren Dubletts, deren Linien jeweils um den Betrag der *Quadrupolaufspaltung* voneinander getrennt sind und deren Mittelpunkte vom Nullpunkt um die *Isomeriewerschiebung* abweichen.
2. Einem oder mehreren *magnetisch aufgespaltenen* Sextetts, deren Linien durch die Quadrupolaufspaltung zusätzlich verschoben sein können.

Die Mössbauerspektren von Akaganéit (β -FeOOH), Lepidokrokit (γ -FeOOH) und Ferrihydrit bestehen bei Zimmertemperatur, ähnlich jenen des silikatisch gebundenen Eisens, aus einem oder mehreren Dubletts. Wegen geringer Teilchengröße und/oder Al-Substitution sind die Spektren pedogener Goethite (seltener auch jene des Hämatits) bei Zimmertemperatur ebenfalls oft nicht magnetisch aufgespalten (*superparamagnetische Relaxation*). Da sich die Dubletts zum erheblichen Teil überlagern, ist eine Unterscheidung dieser

⁺ Lehrstuhl für Bodenkunde der T. U. München, D-8050 Freising-Weihenstephan.

Minerale in relativ komplizierten Vielstoffsystemen wie sie Böden darstellen, anhand der Zimmertemperatur-Mössbauerspektren meist nicht möglich. Durch Abkühlen der Proben (z.B. auf 77°K mit flüssigem Stickstoff oder 4°K mit flüssigem Helium) kann eine magnetische Aufspaltung jener Dubletts, die von oxidisch gebundenem Fe herrühren, erreicht werden. Die Temperatur, bei der diese Aufspaltung stattfindet, sowie die Größe des unterhalb dieser Temperatur entwickelten magnetischen Hyperfeinfeldes sind die wichtigsten diagnostischen Merkmale zur Unterscheidung der pedogenen Eisenoxide.

Die Mössbauerspektroskopie ermöglicht es, selbst bei geringen Eisengehalten, die Eisenoxidmineralogie von Böden aufzuklären. So gelang es bei unseren Untersuchungen z.B. an einer 2,1% Fe₂ enthaltenden Parabraunerde, bei direkter Verwendung der Fraktion <20µm (ohne weitere Anreicherungsprozesse) zur Messung, präzise Aussagen über Art, Mengenverhältnisse und Kristallisationsqualität der Eisenoxide (Goethit und Hämatit) zu machen. Auch der Ferrihydrit, dessen Erkennung in Böden nicht selten erhebliche Schwierigkeiten macht, kann bei sorgfältiger Wahl der experimentellen Bedingungen meist identifiziert werden.

Vorschläge für eine sinnvolle Unterteilung
der Tonfraktion und Abgrenzung von Begriffen

von
H. Tributh⁺

Bei tonmineralogischen wie bei granulometrischen Untersuchungen von Böden lassen sich durch Unterteilung der Tonfraktion $< 2 \mu\text{m}$ in Subfraktionen viel detailliertere und weitergehende Aussagen machen. Da es bisher weder eine deutsche noch eine international abgestimmte Unterteilung analog der Klassifikation von A t t e r - b e r g für Schluff und Sand gibt, ist die Streuung in der Festlegung der Ton-Subfraktionen und deren Benennung sehr groß. In den meisten Fällen ist auch nicht erkennbar aus welchem Grund gerade diese oder jene Abgrenzung gewählt wurde.

So wurde auch schlechthin die jeweils von den Autoren gewonnene Fraktion mit der geringsten Teilchengröße als "Feinton" bezeichnet, z.B.: SCHWERTMANN (1961) $< 0,08 \mu\text{m}$, SCHLICHTING und BLUME (1961) $< 0,15 \mu\text{m}$, BRONGER u.a. (1966) $< 0,2 \mu\text{m}$, KUSSMAUL und NIEDERBUDDE (1979) $< 0,1 \mu\text{m}$.

Bei eigenen Untersuchungen zu diesem Problembereich wurden Abgrenzungen nach den verschiedensten Gesichtspunkten bei 1; 0,6; 0,2; 0,1; 0,06; 0,02; 0,01; 0,008 und $0,006 \mu\text{m}$ durchgeführt und dabei nach objektiven Abgrenzungen gesucht.

Die Gewinnung von definierten Kornfraktionen setzt eine maximale Dispergierung des Ausgangsmaterials voraus, deshalb ist es erforderlich, Karbonate, Humus und Eisen zu entfernen und die Proben ausreichend zu dialysieren.

Die mit abnehmender Teilchengröße stark zunehmenden Fallzeiten und die Brown'sche Molekularbewegung setzen der Schwerkräftsedimentation unterhalb $2 \mu\text{m}$ Grenzen, so daß die Fliehkraftsedimentation zur Anwendung kommen muß.

Zu den technischen Voraussetzungen gehört somit eine Zentrifuge mit ausschwingendem Gehänge und einer Leistung von $4.000 - 5.000 \times g$,

+ Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Ludwigstr.23, 6300 Gießen

die bei konstanter Temperatur arbeitet. Eine solche Zentrifuge kann man sowohl präparativ zur Materialgewinnung für Röntgen- und chemisch-physikalische Untersuchungen als auch analytisch zur erweiterten Korngrößenanalyse einsetzen.

Über die Vorteile der genaueren Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften durch die erweiterte Fraktionierung bei tonmineralogischen Untersuchungen wurde bereits früher (TRIBUTH 1967, 1970, 1971) berichtet und die damit möglich gewordene dynamische Betrachtung der Tonentwicklung wurde aus späteren Beiträgen (TRIBUTH 1974, 1976) ersichtlich. Die Bedeutung und Methode der erweiterten Korngrößenanalyse (TRIBUTH 1972) und deren Anwendung als diagnostisches Kriterium wurde bei Untersuchungen an einem fossilen Boden (PLASS, POETSCH, TRIBUTH und ZAKOSECK 1977) unter Beweis gestellt.

Stellt man bei den eigenen, wie auch bei den in enger Zusammenarbeit von LEHNRADT (1974), HILGER-ALEXANDROU (1976) und HASHEMZADEH (1977) durchgeführten Untersuchungen an fraktionierten Tonen Aufwand und Informationsgewinn gegenüber, so kann die Unterteilung der Tonfraktion in drei Subfraktionen als optimale Lösung betrachtet werden, die deshalb auch Grundlage für die Benennung sein soll.

<u>Subfraktion</u>	<u>Bezeichnung</u>
2 - 0,2 μm	Grobton
0,2 - 0,02 μm	Mittelton
< 0,02 μm	Feinton

Ergebnisse der Unterteilung der Tonfraktion < 2 μm bei Röntgenaufnahmen

Durch die Dreiteilung wird eine gewisse Mineralsortierung erreicht, so daß es möglich ist, einzelne Minerale in bestimmte Fraktionen zu lokalisieren und anzureichern.

Grobton 2 - 0,2 μm

Quarz und primäre Minerale (Muskovite) herrschen vor, Illite und Kaolinite sind mit schwachen Interferenzen vertreten. Wenn Vermikulite im Boden vorkommen, befinden sie sich in dieser Fraktion, ähnliches trifft für Al-Chlorite zu. Auf 18 Å aufweitbare Tonminerale gibt es in dieser Fraktion nur in den C-Horizonten.

Eine nochmalige Unterteilung dieser Fraktion bei 0,6 μm bringt kaum zusätzliche Informationen, da die angeführten Minerale sowohl

in den gröbereren (gTg) als auch in den feineren Anteilen (gTf) vertreten sind.

Mittelton 0,2 - 0,02 μm

Diese Fraktion ist frei von Quarz und primären Mineralen; Illit und Kaolinit haben hier ihr Maximum. Da auch in zunehmendem Maße Montmorillonite und Übergangsmminerale mit Interferenzen von 10 - 14 Å und 14 - 18 Å vorhanden sind, wird in dieser Fraktion in der Regel ein Maximum an Röntgenintensitäten gemessen. Bei einer nochmaligen Unterteilung bei 0,06 μm bleibt der Kaolinit in dem gröbereren Bereich (mTg) von 0,2 - 0,06 zurück.

Feinton < 0,02 μm

Der Zustand der Minerale dieser Fraktion charakterisiert den Stand der Tonentwicklung. In Böden mit hoher Basensättigung (Tschernoseme, z.B. V-Wert 98 - 100) dominieren mit hoher Reflexintensität die Montmorillonite, Illite befinden sich an der Grenze der Nachweismöglichkeit, zumal die geringen Intensitäten von der zweiten Ordnung der Montmorillonite überlagert werden.

In Böden, die an Basen verarmt sind (Saure Braunerden, z.B. V-Wert 1 - 3), wird diese Fraktion zum "Sammelbecken" für Produkte der Tonzerstörung, wie instabile Minerale, die über 18 Å hinaus aufweiten, sowie röntgenamorphe Substanzen und/oder Allophane.

Die Gewinnung der Feintonfraktion erfordert lange Laufzeiten der Zentrifuge, bietet dafür aber einerseits die Möglichkeit, Montmorillonite aus dem heterogenen Gemisch der Bodentone zu isolieren, um sie so Einzeluntersuchungen zugänglich zu machen oder andererseits durch weitere Unterteilung die einzelnen Phasen der Tonzerstörung untersuchen zu können.

Ergebnisse der Unterteilung der Tonfraktion bei der Korngrößenanalyse

Auch bei der erweiterten Korngrößenanalyse hat sich die Unterteilung der Tonfraktion bestens bewährt. Der Aufwand ist bei der Bestimmung der Fraktionsanteile wesentlich geringer als bei der Gewinnung für tonmineralogische Untersuchungen. Es werden hierbei Fraktionen gewonnen, die von der Korngröße her nach unten nicht begrenzt sind, so daß nur ein Trennungsgang je Fraktion erforderlich ist und die Fraktionsanteile rechnerisch ermittelt werden.

Wie die Ergebnisse von zwei verschiedenen Böden erkennen lassen, stellt die Dreiteilung (Tab. 1a) die optimale Lösung zwischen Informationsgehalt und Überschaubarkeit dar. Obwohl das Ausgangsmaterial im C-Horizont der beiden Böden unterschiedlich hohe Gehalte an Gesamtton hat, sind die Anteile in den drei Subfraktionen sehr identisch. Daß die Böden eine ganz unterschiedliche Entwicklung durchlaufen haben sieht man jedoch an den unterschiedlichen Anteilen der Subfraktionen in den einzelnen Horizonten.

Beim Tschernosem können wir zum Oberboden hin eine gleichmäßige verwitterungsbedingte Abnahme der Grobtonfraktion und eine entsprechende Zunahme der Mittel- und Feintonfraktion erkennen. Bei der Parabraunerde-Fahlerde ist die verwitterungsbedingte Abfolge der Veränderung des Kornspektrums überprägt durch die starke Verlagerung von Mittel- und Feinton.

Die nochmalige Unterteilung von Grob- und Mittelton bei 0,6 bzw. 0,06 (Tab. 1b) erhöht den Informationsgehalt über eine differenzierte Entwicklung des Kornspektrums und über den Anteil der einzelnen Korngruppen an der Verlagerung, doch leidet darunter etwas die Überschaubarkeit der Ergebnisse.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse von Mittel- und Feinton (Tab. 1c) hätte dann ihre Berechtigung, wenn man den nicht der Verlagerung unterliegenden Teilchen (Grobton) den der Verlagerung unterliegenden (Mittel- und Feinton) in jeweils einer Zahl gegenüberstellen wollte. Grundsätzlich nur eine solche Unterteilung bei der Gewinnung der Fraktionsanteile vorzunehmen würde den Informationsgehalt zu stark einschränken, denn die rund 80% Mittel- und Feinton in den B_t -Horizonten der Parabraunerde-Fahlerde bedürfen einer näheren Spezifikation. Es ist nicht unerheblich zu wissen, ob das Maximum mehr bei 0,2 oder 0,02 μm liegt, da die Unterschiede in der spez.Oberfläche je g das Zehnfache betragen, was für die chemisch-physikalischen Vorgänge im Boden von außerordentlicher Bedeutung ist.

Diskussion des eigenen Fraktionierungsvorschlages und anderer Unterteilungen der Tonfraktion

Die Unterteilung der Tonfraktion stellt einen Eingriff in das Körnungsspektrum dar, das aus fließenden Übergängen besteht. Bei richtiger Wahl der Schnittpunkte erhalten wir Informationen, die den Mehraufwand rechtfertigen. Aus den dargestellten Ergebnissen der

Tabelle 1: Ergebnisse der erweiterten Korngrößenanalyse unterschiedlich stark unterteilt

a)	Gesamtton < 2 µm (=100%)	Grobton 2 - 0,2 µm		Mittelton 0,2 - 0,02 µm	Feinton < 0,02 µm
Tscher- nosem	30,4 30,5	48,2 48,5		47,7 48,3	4,5 3,9
Rumänien	28,0 25,6' 23,1	56,4 74,9 76,2		40,8 22,0 20,9	2,6 3,9 2,9
Parabraun- erde-Fahl- erde/Polen*	5,2 5,2 16,8 14,8 7,7	50,5 63,5 20,5 19,9 76,4		35,1 29,3 55,2 52,2 18,7	6,4 7,2 24,3 27,9 5,0

b)	Gesamtton < 2 µm (=100%)	Grobton 2 - 0,6- 0,6 0,2		Mittelton 0,2- 0,06- 0,06 0,02		Feinton < 0,02 µm
Tscher- nosem	30,4 30,5	23,7 24,2	24,5 24,3	38,6 36,5	9,1 11,8	4,5 3,9
Rumänien	28,0 25,6 23,1	30,2 37,6 40,1	26,2 37,3 36,1	37,8 19,7 16,9	3,0 2,3 4,0	2,6 3,9 2,9
Parabraun- erde-Fahl- erde/Polen*	5,2 5,2 16,8 14,8 7,7	44,2 48,4 7,0 8,3 44,5	14,3 15,1 13,5 11,6 31,8	24,4 19,5 22,9 23,0 16,2	10,7 9,8 32,3 29,2 2,5	6,4 7,2 24,3 27,9 5,0

c)	Gesamtton < 2 µm (=100%)	Grobton 2 - 0,2 µm	Mittel- und Feinton < 0,2 µm
Tscher- nosem	30,4 30,5	48,2 48,5	52,2 52,2
Rumänien	28,0 25,6 23,1	56,4 74,4 76,2	43,4 25,9 23,8
Parabraun- erde-Fahl- erde/Polen*	5,2 5,2 16,8 14,8 7,7	58,5 63,5 20,5 19,9 76,4	41,5 36,5 79,5 80,1 23,6

* Lehnardt 1974

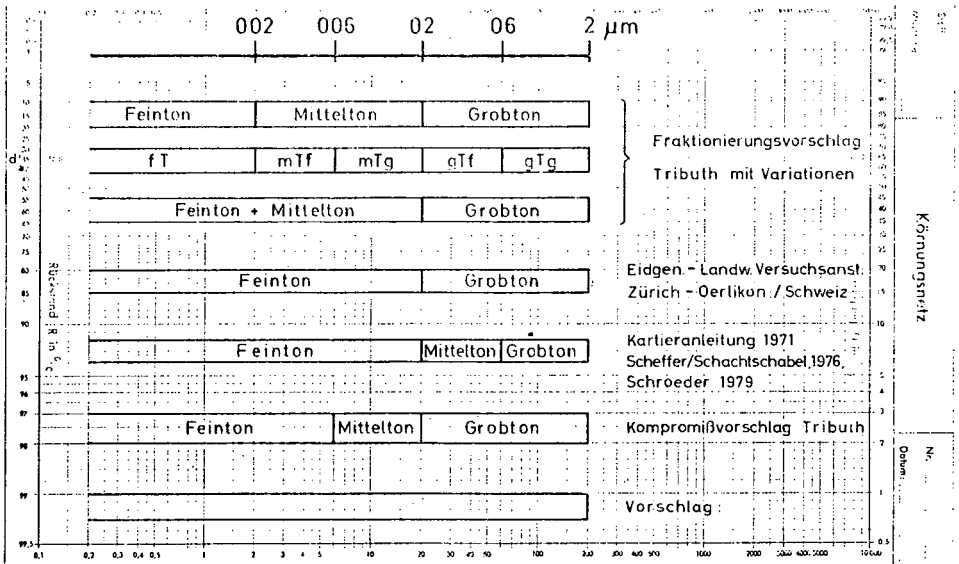
Unterteilung bei der Röntgen- und Korngrößenanalyse läßt sich die Begründung für die Dreiteilung ableiten.

Diese Unterteilung der Gesamt-Tonfraktion in Intervallen von Zehnerpotenzen mit dem Faktor 2, wie sie als Fraktionierungsvorschlag (Abb. 1) mit Variationen dargestellt ist, entspricht der von **A t t e r b e r g** (1912) vorgeschlagenen Klassifikation für Sand, Schluff und Ton, die 1913 durch die Internationale Bodenkundliche Gesellschaft angenommen wurde.

Später erfolgte dann in Deutschland eine stärkere Unterteilung von Sand und Schluff in je drei Subfraktionen (Richtlinien zur Herstellung der "Bodenkarte", Hannover 1965).

In ähnlicher Weise können für spezielle Fragestellungen die Tonsubfraktionen nochmals mit dem Faktor 6 unterteilt werden; andererseits kann als weitere Variante die Zusammenfassung zweier Subfraktionen erfolgen.

Abb. 1: Unterteilung der Tonfraktion < 2 µm



Das in Abbildung 1 gezeigte Beispiel aus der Schweiz entspricht mit nur zwei Fraktionen der vorgeschlagenen Variante für die Zusammenfassung zweier Subfraktionen. Hier wäre durch die Übernahme der Doppelbezeichnung "Feinton + Mittelton" eine bessere Verständigung zu erzielen.

Die in Abbildung 1 dargestellte Unterteilung, die in der KARTIERANLEITUNG (1971), im "Lehrbuch der Bodenkunde" (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1976) und in "Bodenkunde in Stichworten" von SCHROEDER (1979) enthalten ist, hat zwar eine Dreiteilung, doch beginnt hierbei der Mittelton bereits bei $0,6 \mu\text{m}$. Dagegen sprechen nun die erläuterten Ergebnisse der Röntgenanalyse, die eine Unterteilung bei $0,6 \mu\text{m}$ nicht rechtfertigen. Schon garnicht verdienen die schwachen Reflexe von Illit und Kaolinit in der von Quarz beherrschten Fraktion $0,6 - 0,2 \mu\text{m}$ die Bezeichnung "Mittelton".

SCHWERTMANN (1961) schlägt auf Grund seiner Untersuchungen sogar vor, die Grenze für die Kolloidfraktion des Bodens auf $0,2 \mu\text{m}$ herunterzusetzen und die auch von ihm als Grobton bezeichneten Teilchen von $0,2 - 2 \mu\text{m}$ mit dem Feinschluff zusammenzufassen. Als Begründung wird vom Autor ein starker Sprung im Mineralbestand bei $0,2 \mu\text{m}$ angegeben und ebenso verhalten sich nach seinen Angaben die Werte für AK und spezifische Oberfläche.

SCHEFFER, MEYER und GEBHARD (1966) fanden bei ihren Untersuchungen, daß die Grobanteile fast ausschließlich durch eine kryoklastische "Tonbildung" erzeugt werden, wogegen die Lösungsverwitterung überwiegend Tonanteile $< 0,2 \mu\text{m}$ hervorbringt. Nach Meinung der Autoren kommt es bei Untersuchungen von kalkreichen Lockersedimenten zu Fehlinterpretationen der Tonbildung, wenn man die Korngröße von $2 \mu\text{m}$ als Obergrenze der Tonfraktion beibehält.

Eine Unterteilung, die diese Gesichtspunkte berücksichtigt ist jedoch aufschlußreicher als die Ausscheidung der größeren Anteile ($2 - 0,2 \mu\text{m}$) aus der Tonfraktion. Arbeitstechnisch würde sich dadurch der Aufwand erhöhen, weil dann selbst diejenigen, die keine Unterteilung beabsichtigen die Fraktion "Gesamtton $< 0,2 \mu\text{m}$ " mit der Zentrifuge gewinnen müßten.

Für den Fall, daß trotz der sachlich begründeten Argumente für den Fraktionierungsvorschlag (Grobton $2 - 0,2 \mu\text{m}$, Mittelton $0,2 - 0,02 \mu\text{m}$ und Feinton $< 0,02 \mu\text{m}$) sich allgemein keine Zustimmung finden sollte, weil, wie oft argumentiert, für die Trennungsgrenze bei $0,02 \mu\text{m}$ der Zeitaufwand zu groß ist oder in weniger entwickelten Böden der Fraktionsanteil $< 0,02 \mu\text{m}$ oft sehr gering ist, wurde ein Kompromißvorschlag gemacht, der den Mittelton in den Bereich von $0,2 - 0,06 \mu\text{m}$ einordnet. Von der Sache her ist dies jedenfalls eher zu vertreten, als den Bereich $0,6 - 0,2 \mu\text{m}$ als Mittelton zu bezeichnen.

Am unteren Rand von Abbildung 1 ist noch ein Freiraum für weitere Vorschläge vorgesehen, die vom Autor mit Interesse entgegengenommen werden.

Wichtig für die Verständigung ist aber nicht nur die Abstimmung über künftige Fraktionsgrenzen, sondern auch über die Abgrenzung von Begriffen. So wäre es z.B. sachlich richtiger die "unbehandelte Tonfraktion", die außer Ton auch Humus, Eisen und Karbonate enthält, als "Kolloidfraktion" und die von diesen Substanzen befreiten silikatischen Anteile als "Silikatische Tonfraktion" zu bezeichnen.

Die Diskussion über alle diese Probleme auszuregen ist die Absicht dieses Beitrages.

Literatur:

- BRONGER, A.; Graf von REICHENBACH, H. u. SCHROEDER, D. 1966: Über den Tonmineralbestand des LÖBprofils von Heitersheim, Südbaden. Z.Pflanzenernähr.Bodenkunde, 113, 193-203
- HASHEMZADEH, A. 1977: Bodenchemische und tonmineralogische Untersuchungen an typischen Böden der Mahabad-Ebene (West-Azorbaijen/Iran). Dissertation, Gießen
- HILGER-ALEXANDROU, St. 1976: Der Tonmineralbestand der Lockerbraunerden des Vogelsberges, ein Beitrag zu ihrer Genese. Dissertation, Gießen
- KUSSMAUL, H. u. NIEDERBUDDE, E.A. 1979: Bilanzierung der Tonbildung und Verlagerung sowie der Tonmineralumwandlung in LÖB-Parabraunerden
- LEHNARDT, F. 1974: Ein Beitrag zur Genese und Systematik polnischer LÖBböden (Lubliner Hügelland). Dissertation Gießen
- PLASS, W.; POETSCH, Th.; TRIBUTH, H.; ZAKOSEK, H. 1977: Zur Entstehung eines Smonica-Profiles in Rheinhessen. Z.Pflanzenernähr. Bodenkd. 140, 317-328
- SCHEFFER, F.; MEYER, B. u. GEBHARDT, H. 1966: Pechochemische und kryo-klastische Verlehmung (Tonbildung) in Böden aus kalkreichen Lockersedimenten (Beispiel LÖB) Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 114, 77-89
- SCHLICHTING, E. u. BLUME, H.-P. 1961: Art und Ausmaß der Veränderungen des Tonmineralbestandes typischer Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel und ihrer Horizonte. Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 95, 227-239
- SCHWERTMANN, U. 1961: Der Mineralbestand der Fraktion < 2 µm einiger Böden aus Sedimenten und seine Eigenschaften. Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 95, 209-227
- TRIBUTH, H. 1967: Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften. Dissertation Gießen

- TRIBUTH, H. 1970: Die Bedeutung der erweiterten Tonfraktionierung für die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften. Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 126, 117-134
- 1971: Die tonmineralogische Zusammensetzung eines "Gewöhnlichen Tschernosems" bei Noro-Moskovsk/Ukraine. Gießener Abhandl. zur Agrar- und Wirtschaftsforschung des europäischen Ostens, 56, 27-45
- 1972: Bedeutung und Methode der erweiterten Korngrößenanalyse. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 15, 11-17
- 1974: Die Umwandlung von Dreischichtmineralen in Böden aus Löß. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 18, 413-418
- 1976: Die Umwandlung der glimmerartigen Schichtsilikate zu aufweitbaren Dreischicht-Tonmineralen. Z.Pflanzenernähr.Bodenkd. 1, 7-25

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Referate der gemeinsamen
Sitzung der Kommissionen I und VII
1979 in Hannover

Bd. 29
1979

Mineralogische Aspekte der Bodenmelioration.

von

Müller, W. ^{†)}

I n h a l t

1. Verfahren und Probleme der Bodenmelioration
2. Oberblich über einige meliorationsbedeutsame mineralogische Aspekte
 - 2.1 Tongehalt
 - 2.2 Bodengefüge, Lagerungsdichte
 - 2.3 Kationenbelegung
 - 2.4 Tonmineralbestand
3. Zur Auswirkung mineralogisch bedingter Bodeneigenschaften auf Ansatz und Durchführung von Meliorationsmaßnahmen
 - 3.1 Meliorationsfähigkeit
 - 3.2 Meliorationswirksamkeit und Haltbarkeit
4. Zusammenfassung
5. Literatur

1. Verfahren und Probleme der Bodenmelioration

Unter Bodenmelioration versteht man vor allem Maßnahmen zur Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes der Böden z.B. durch Absenken von Grundwasser, Abfuhr von Stauwasser, oder Verbesserung des Bodengefüges.

^{†)} Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
3000 Hannover 51, Stilleweg 2

Der Maßnahmenkatalog zur Erreichung dieser Ziele umfaßt im wesentlichen:

- Rohrdränung
- Rohrlose Dränung oder Erddränung
- Tieflockerung
- Tiefumbruch
- Meliorationskalkung,
sowie Einsatz sonstiger chemischer Stoffe
- Auftrag oder Einbringung organischer oder mineralischer Stoffe.

Vor dem Einsatz dieser Meliorationsverfahren sollten folgende Fragen befriedigend geklärt sein:

1. Besteht Meliorationsbedürftigkeit und -würdigkeit? Ist z.B. ein Boden langfristig so stark vernäßt oder verdichtet, daß der zu erwartende Nutzen einer Melioration die aufzuwendenden Kosten für die o.a. Verfahren rechtfertigt (Kosten/Nutzen-Analyse).
2. Besteht Meliorationsfähigkeit? D.h. es ist die Frage zu prüfen, ob die vorgesehene Maßnahme überhaupt mit Aussicht auf Erfolg durchgeführt werden kann. Kann z.B. ein Boden für die Durchführung einer Tieflockerung bei den gegebenen Standortbedingungen (Klima, Relief, Bodeneigenschaften, Vegetation) ausreichend (bis zur Ausrollgrenze) austrocknen?
3. Ist die Wirksamkeit der vorgesehenen Meliorationsmaßnahmen gewährleistet? Kann z.B. nach erfolgreicher Absenkung des Grundwassers durch Dränung immer noch ertragsbeeinträchtigende Staunässe infolge geringer Durchlässigkeit der obersten Bodenhorizonte auftreten?
4. Wie steht es mit der Haltbarkeit der Meliorationsmaßnahme? Ist z.B. mit Verschlämmung oder Verockerung der Dräns zu rechnen oder ist infolge geringer Gefügestabilität mit ungenügender Wirkungsdauer einer Tieflockerung zu rechnen?

Welche Möglichkeit kann oder könnte uns die Bodenmineralogie zur Beantwortung dieser Fragen bieten?

2. Überblick über einige meliorationsbedeutsame mineralogische Aspekte

Bei der Komplexität der anstehenden Fragen ist zu erwarten, daß nur die Zusammenschau einer Vielzahl mineralogischer Aspekte Aussicht auf Lösungsmöglichkeiten bietet. In der Reihenfolge der Erfassungsschwierigkeiten sollen hier folgende, jeweils in ihren Auswirkungen auf meliorationsbedeutsame Bodeneigenschaften zusammenhängende mineralogische Aspekte behandelt werden: Bodenart, Bodengefüge und Lagerungsdichte, Kationenbelegung der Tonminerale und der Tonmineralbestand.

2.1 Tongehalt

Der prozentuale Anteil der Fraktion $< 2, \mu\text{m}$ ist eine außerordentlich wichtige Kenngröße des Bodens. Alleine gibt er für unsere Fragestellung noch keine ausreichenden Informationen.

So können im Gegensatz zu tonarmen Schluff- oder die für die Meliorierbarkeit relevanten physikalischen Eigenschaften von Tonböden in außerordentlich großen Grenzen schwanken. Daher müssen bei tonreichen Böden noch andere Kenngrößen benutzt werden, die z.B. ihre Fähigkeit zur Bildung eines Bodengefüges kennzeichnen können.

2.2 Bodengefüge, Lagerungsdichte

Unter Bodengefüge versteht man bekanntlich die Anordnung der festen Bodenbestandteile im Raum. Die Fähigkeit eines Bodens, ein makroskopisch erkennbares "Makrogefüge" einer bestimmten Art zu bilden, hängt sicherlich von der Art seines "Mikrogefüges" ab.

Über diese Zusammenhänge, insbesondere unter dem Gesichtspunkt der praktischen Anwendungsmöglichkeit für die erwähnten Fragen der Bodenmelioration, wissen wir nur recht wenig. MATTIAT (1969) hat in Modelluntersuchungen ermittelt, daß bei gleicher Korngrößenverteilung das Mikrogefüge stark von der Mineralzusammensetzung, den Sedimentationsbedingungen, der Kationenbelegung, sowie der späteren mechanischen Beanspruchung der Sedimente abhängt.

Abbildung 1 zeigt die elektronenmikroskopische Aufnahme eines Mikrogefüges von Illiten, die bei hoher Salzkonzentration ausgeflockt sind und dadurch ein sperriges, kartenhausähnliches Gefüge erhalten haben (Aufnahme MATTIAT 1969).

Abbildung 2 zeigt dagegen das Makrogefüge von Illiten, die bei hoher Mg- und Na-Sorption und geringer Salzkonzentration sedimentierten. Hierbei erfolgte eine schichtparallele Einregelung der Tonplättchen, so daß die Sedimente eine relativ hohe Packungsdichte aufweisen (Aufnahme MATTIAT 1969).

Die Vermutung, daß durch derartige Einflüsse auf das Mikrogefüge meliorationsbedeutsame Auswirkungen auf das Makrogefüge vorliegen, konnte durch zahlreiche Beobachtungen und Spezialuntersuchungen bestätigt werden (s.u.a. W.MÖLLER 1964).

Die Heranziehung des Bodengefüges zur Kennzeichnung meliorationsbedeutsamer Bodendaten erfordert die Benutzung reproduzierbarer Kenngrößen. Hierzu stehen uns einige bodenphysikalische Kennwerte zur Verfügung, wie z.B.

Volumengewicht oder scheinbare Dichte (ρ_t)

Gesamtporenvolumen (GVP)

Nun ist das Volumengewicht immer in Zusammenhang mit dem Tongehalt zu sehen.

Z.B. ist ein Sand erst bei einem Volumengewicht von 1,7 und mehr als dicht anzusehen, während ein Ton schon bei einem Volumengewicht von 1,3 oder 1,4 dicht ist.

Die Abbildung 3 zeigt die Beziehung zwischen Volumengewicht und Tongehalt in Abhängigkeit von der im Gelände aufgrund der Gefügeansprache ermittelten subjektiven Lagerungsdichte. Wir sehen, daß das gemessene Volumengewicht in allen 3 hier unterschiedenen Bereichen mit zunehmendem Tongehalt abnimmt.

Nach einem Vorschlag von RENGER (1970) berücksichtigen wir daher bei der Kennzeichnung der Lagerungsdichte von vornherein den Tongehalt nach folgender empirisch gefundenen Formel:

$$L_d = t + 0,009 (T)$$

Dabei ist: L_d = Lagerungsdichte

t = Volumengewicht bei 105°C

T = Tongehalt in %

Denkbar wäre, daß diese Beziehung bei verschiedenen Tonmineralen unterschiedlich aussieht. Z.B. dürfte bei Böden mit montmorillonitischen Tonmineralen der Grenzwert für eine Verdichtung bei gleichem Volumengewicht niedriger liegen als bei einem kaolinitreichen Boden.

Bei Böden mit vorwiegend illitischen Tonmineralen, wie sie in der Bundesrepublik Deutschland ja bekanntlich vorherrschen, benutzen wir zur Kennzeichnung der Lagerungsdichte z.Zt. Kennwerte:

sehr hohe Lagerungsdichte	L_{d5}	Kennwert	\gg 1,95
hohe	"	L_{d4}	" 1,95 - 1,75
mittlere	"	L_{d3}	" 1,75 - 1,40
geringe	"	L_{d2}	" 1,40 - 1,20
sehr geringe	"	L_{d1}	" \ll 1,20

Eine Stellungnahme der Mineralogen zu diesen Kennwerten und zu deren mögliche Modifizierung bei anderen tonmineralogischen Zusammensetzungen wäre sehr begrüßenswert.

2.3 Kationenbelegung

Ober die Rolle, die die Art der sorbierten Kationen für die hier zu behandelnden meliorationstechnisch relevanten Bodeneigenschaften spielen, ist eigentlich recht wenig bekannt und vieles ist umstritten.

Verschiedentlich wurde versucht, den Einfluß unterschiedlich sorbierter Kationen auf die Wasserdurchlässigkeit zu erfassen, so z.B. von W.MOLLER und FASTABEND

(1963). So zeigte sich z.B. bei einem mit verschiedenen Kationen belegten illitischen Boden (s. Abb. 4) eine deutliche Abnahme der Wasserdurchlässigkeit in der Reihenfolge Ca - K - Mg - Na - Ionen.

Wenn wir uns nicht theoretisch, sondern praktisch mit dem Einfluß der Kationenbelegung auf die Wasserdurchlässigkeit beschäftigen wollen, müssen wir Belegungsmuster heranziehen, wie sie tatsächlich immer wieder auftreten. Anscheinend sind Böden mit illitischen Tonmineralen und wechselnder Ca- und Mg-Sorption recht weit verbreitet, daher dieser Modellversuch, der den Wasserdurchlauf bei illitischen Tonen mit einem wechselnden Quotienten sorbierten Ca- und Mg-Ionen darstellt. Die Durchlässigkeit sinkt mit zunehmender Mg- und abnehmender Ca-Sorption, also kleiner werdendem Ca/Mg-Quotienten.

Den Befund - geringe Durchlässigkeit oder geringe Gefügestabilität bei kleinem Ca/Mg-Verhältnis - finden wir in der Natur immer wieder, so z.B. bei den Marschböden, wie auch bei Binnenlandböden aus Tongesteinen (Pelosole und Pelosol-Pseudogleyen). Die Erklärung für diesen Befund bereitet einige technische Schwierigkeiten, auf die hier nicht eingegangen werden soll.

Der Summeneffekt von Kationenbelegung und Tonmineralbestand auf die Gefügebildungspotenz kann jedoch recht anschaulich durch die Rissbildungsmethode von WOLKEWITZ (1964) erfaßt werden.

Abbildung 5 zeigt die Rissbildung bei einem illitischen Ton mit relativ hoher Mg-Sorption und noch beachtlicher Na-Sorption um 3 % (Pelosol-Pseudogley aus Unterkreideton in der Nähe Hannovers). Die Rissbildung ist relativ grob und zeigt damit nach WOLKEWITZ eine ungünstige Gefügebildungspotenz an, die noch schlechter wird, wenn die Na-Sorption über 5 % ansteigt, wie Abbildung 6 zeigt.

Anderns ist es bei einer Probe aus dem gleichen Profil mit höherer Ca-Ionen-Sorption (Abb. 7), die ein feines Rissbildungsmuster aufweist.

2.4 Tonmineralbestand

Erfahrungen bei Meliorationsversuchen liegen in unserem Lande bislang vorwiegend bei Böden vor, deren Tonmineralkomponenten hauptsächlich aus Illiten bestehen. Dies mag daran liegen, daß Böden, bei denen andere Tonminerale vorherrschen, bei uns relativ selten sind und daher für die Meliorationspraxis keine Bedeutung haben, oder daß keine entsprechenden Untersuchungen vorgenommen wurden. Andererseits kann es aber auch daran liegen, daß derartige Böden nicht meliorationsbedürftig sind.

Im Leinebergland bei Adenstedt - einem Gebiet mit relativ hohen Niederschlägen um 800 mm/Jahr - treten Böden auf, die trotz hoher Lagerungsdichte eine mittlere bis hohe Wasserdurchlässigkeit aufweisen. In Tabelle 1 wird ein solcher als Pelosol D35 bezeichneter Boden mit zwei staunassen Böden verglichen, die als

Peloso1-Pseudogley DS23 bezeichnet werden. Der eine stammt aus dem gleichen submontanen Klimaraum, der andere aus der trockenen subkontinentalen Klimazone am Rande der Hildesheimer Börde.

Trotz unterschiedlichem, nicht durch klimatische oder Reliefeinflüsse erklär-
baren Wasserhaushalt und trotz stark voneinander abweichenden Werte der Wasser-
durchlässigkeit kfg, sind die meisten Eigenschaften dieser Böden erstaunlich
gleich. Bemerkenswerte Unterschiede treten lediglich bei 2 Positionen auf, ein-
mal bei dem Tonmineralbestand gemäß Röntgenanalyse bzw. bei der Kenngröße KAK/
100 g Ton und zum anderen bei den Ca/Mg-Quotienten der S_d- und P-Horizonte.

Der Befund der hohen Durchlässigkeit trotz hoher Lagerungsdichte bei dem Peloso1,
ließe sich vielleicht erklären durch eine starke Schrumpfung des montmorillonit-
reichen Bodens bis zu durchlässigeren Untergrundschichten bei gleichzeitig hoher
Stabilität der Schrumpfrisse wegen der günstigen Kationenbelegung, während bei
den Pseudogleyen die Kationenbelegung der S_d-Horizonte in Zusammenhang mit dem
hier vorherrschenden Tonmineralbestand eine geringe Stabilität des Bodengefüges
und damit eine geringere Kontinuität der Wasserleitbahnen zu verzeichnen ist.

Bei dem Profil Ohlum ist die geringe Gefügestabilität im Felde mittels mehrmali-
gen Gefügeuntersuchungen mit Hilfe geeigneter Untersuchungsverfahren (Siebtauch-
verfahren nach DIN 19683, Blatt 16, Berechnungsverfahren nach DIN 19683, Blatt 17)
nachgewiesen worden. Dabei ist durchaus möglich, daß der Einfluß der austausch-
baren Kationen auf die Eigenschaften verschiedenartiger Tonminerale unterschied-
lich ist. Abbildung 8 zeigt, daß z.B. der Montmorillonit mit einem stärkeren
Abfall der Wasserdurchlässigkeit reagieren kann als ein Illit oder gar ein
Kaolinit.

Das vorhandene Untersuchungsmaterial reicht zu gesicherten Aussagen für die
Meliorationspraxis sicherlich noch nicht aus. Deutlich wird jedoch, daß zur Kenn-
zeichnung von Tonböden die Erfassung des Tonmineralbestandes und der Kationen-
belegung erforderlich ist.

3. Zur Auswirkung mineralogisch bedingter Bodeneigenschaften auf Ansatz und Durchführung von Meliorationsmaßnahmen

3.1 Meliorationsfähigkeit

Eine der Fragen, bei denen mineralogische Aspekte zur Klärung mit herangezogen
werden müssen, ist z.B. die Lockerungsfähigkeit. Allgemein wird gefordert, daß
vor einer Lockerung die Ausrollgrenze erreicht und nach Möglichkeit überschrit-
ten wird.

Bei Lockerungen oberhalb der Ausrollgrenze erzielt man nur eine geringe Auf-
lockerung. In extremen Fällen können sogar zusätzliche Verdichtungen auftreten.

Welche Bedeutung mineralogische Aspekte für die Erreichung der Ausrollgrenze in Zusammenhang mit der klimatischen Wasserbilanz haben können, zeigt Abbildung 9. Dargestellt ist hier die relative Austrocknung in 0 bis 6 dm Tiefe bei verschiedenen klimatischen Wasserbilanzdefiziten, einmal bei einem Lößlehm und zum anderen bei einem Tonboden mit relativ hoher Mg-Sorption. Der Löß erreicht die Ausrollgrenze früher, d.h. bei einem geringeren Wasserbilanzdefizit als der Ton. Welche Rolle bei diesen im Tongehalt sehr unterschiedlichen Böden die Kationensorption spielt, muß hier offen bleiben.

Den Einfluß eines unterschiedlichen Tonmineralbestandes in Abhängigkeit vom Tongehalt auf die Ausrollgrenze zeigt die Abbildung 10.

3.2 Meliorationswirksamkeit und -haltbarkeit

Die Frage nach der Wirksamkeit und Haltbarkeit einer Meliorationsmaßnahme ist ein außerordentlich weites Feld. Z.Zt. bleiben zur Beurteilung der mineralogischen Aspekte der Korngrößenzusammensetzung nur die Kationenbelegung. Vorsichtig ausgedrückt, wenn eine erhöhte Mg-Sorption oder gar eine etwas höhere Na-Sorption festzustellen ist, konnte bislang nur eine kurze Lebensdauer der Gefügemelioration oder eine unbefriedigende Wirkung festgestellt werden. Gleichzeitig waren bei solchen Böden hohe Tongehalte und illitische Tonminerale vorhanden.

Dies ist der derzeitige noch recht dürftige Befund. Auf ursachliche Zusammenhänge soll hieraus noch nicht geschlossen werden. Der Befund selbst ist aber relativ gut gesichert und kann m.E. nicht ignoriert werden.

4. Zusammenfassung

Einleitend wird über Verfahren und Probleme der Bodenmelioration berichtet und ein Überblick über meliorationsbedeutsame mineralogische Aspekte gegeben. Dabei wird die Bedeutung des Tongehaltes, des Mikro- und Makrogefüges in ihrer Auswirkung auf die Lagerungsdichte unter dem Einfluß der Kationenbelegung und des Tonmineralbestandes behandelt.

Am Beispiel einiger typischer Tonböden aus verschiedenen Klimagebieten wird der Einfluß dieser unterschiedlichen Faktoren auf den Wasser- und Lufthaushalt und in Bezug auf Meliorationsfragen aufgezeigt.

Abschließend wird die Auswirkung mineralogischer Aspekte für die Meliorationsfähigkeit und -wirksamkeit behandelt, wobei insbesondere die Beeinflussung der Ausrollgrenze und der Gefügestabilität behandelt wird.

Literatur

- KEZDI, A.: Handbuch der Bodenmechanik, Band I Bodenphysik, VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1968.
- MATTIAT, B.: Eine Methode zur elektronenmikroskopischen Untersuchung des Mikrogefüges in tonigen Sedimenten. - Geol.Jb. 88, 87-111, 1969.
- MÖLLER, W.: Untersuchungen über die Bildung und die Eigenschaften von Knickschichten in Marschböden. - Diss.Gießen, 1954.
- " - Unterschiede der chemischen und physikalischen Eigenschaften von fluviatilen, brackischen und marinen Sedimenten. - Developments in Sedimentology 1, 293-299, 1964.
- MÖLLER, W. u. H.FASTABEND: Der Einfluß des sorbierten Magnesiums auf die Wasserdurchlässigkeit und die Lagerungsverhältnisse in Marschböden. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 1, 195-219, 1963.
- RENGER, M.: Über den Einfluß der Dränung auf das Gefüge und die Wasserdurchlässigkeit bindiger Böden. - Mitteilgn.Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 11, 23-28, 1970.
- WOLKEWITZ, H.: Die physikalischen Eigenschaften von Böden, ihre methodische Erfassung und ihre Veränderung durch verschiedene Faktoren, dargestellt an Modellsubstanzen. - Habilitationsschrift TU Berlin, 1964.
- YONG, R.N. & WARKENTIN, B.P.: Soil properties and behaviour. Developments in Geotechnical Engineering Vol. 5. - Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam, Oxford, New York, 1975.

Tabelle 1: Wichtige Bodenkennwerte staunasser und nicht staunasser Tonböden

Lagebezeichnung Klimakennzeichnung	Ohlum (Rand Hildesheimer Börde) Subkontinental N/Jahr 630 mm T/Jahr 8,40C	Immenseul (Ahlfelder Bergland, Sackwald) Submontan N/Jahr 750 - 800 mm T/Jahr 80C	Adenstedt I (Ahlfelder Bergland, Sackwald) Submontan N/Jahr 750 - 800 mm T/Jahr 89C
Bodenbezeichnung Typ Kartiereinheit	Pelisol-Pseudogley (Pseudogley aus Ton) DS 23 (Pelisol-Pseudogley mit flach oberhalb 4 dm anstehendem Stau- körper u.gering. Vernässungsgrad)	Pelisol-Pseudogley (Pseudogley aus Ton) DS 23 (Pelisol-Pseudogley mit flach ober- halb 4 dm anstehendem Staukörper und mittlerem Vernässungsgrad)	Pelisol (Nicht staunasser Boden aus Ton) D 35 Pelisol mit mitteltief bis 8 dm reichendem P-Horizont mit sehr hoher Lagerungsdichte
Allgemeine Kennzeichnung des Wasser- und Luft- haushaltes	Im Winter und Frühjahr Stauwasser bis in Oberboden, dann starker Luftmangel u.Reduktionserscheinungen, im Sommer je nach Witterungsablauf kurz-mittel- fristige Trockenphasen. In nassen Jahren Ertragsbeeinträchtigungen.	Im Winter und Frühjahr Stauwasser bis in Oberboden, dann starker Luftmangel und Reduktionserscheinungen, im Sommer bei langen Trockenperioden Trockenphasen. In nassen Jahren Ertragsbeeinträchtigung.	Auch im Winter und Frühjahr keine be- merkenswerte Staunässe, im Sommer Trockenphasen. In trockenen Jahren Ertragsbeeinträchtigungen.
Profilkennzeichnung Tongehalt (% < 2,µm) Kalk oberhalb 1 m " " 1 m pH " " 1 m Ca/Mg-Quotient sorb. Kationen Ah-Sw-Hor. Sd-Horizont P- " " Grobpor.>50 µ in Sd- u.P4-Horizont Lagerungsd. in Sd- u. P-Horizont Wasserdurchlässigkeit kfg in Sd-u.P-Horiz. KAK/100 g Ton i. "	um 53 -- 6 - 5 14 7 abfallend auf 3 -- um 1 Vol-% um 2 g/cm ³ < 1 cm/Tag um 46	um 53 -- 6,1 - 5 13 6,8 abfallend auf 3,8 -- um 1 Vol-% um 2 g/cm ³ < 1 cm/Tag um 44	um 55 -- 6 abfallend auf 4,5 -- 12 3 abfallend auf 1 Vol-% um 2 g/cm ³ 64 abfallend auf 35 cm/Tag 50
Tonmineralbestand Hauptkomponente vorherrsch. Neben- " zurücktretende " Spuren		röntgenomorphe Komponente, teilw. Chlorit Chlorit, Quarz, Muskovit-Illit Feldspat, Kaolinit Montmorillonit	Quarz, röntgenomorphe Komponente Montmorillonit Illitische Glimmer Mixed-Lager-Mineral
Meliorationsbedürftigkeit	lockerungs- und dränbedürftig, wegen geringer Gefügestabilität begrenzte Meliorationswirkung	lockerungs- und dränbedürftig	nicht meliorationsbedürftig evtl. Tieflockerung

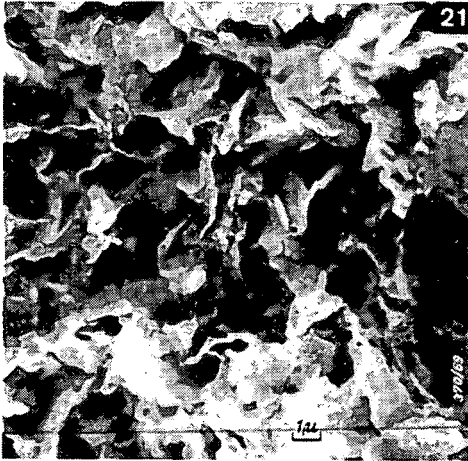


Abb. 1: Mikrogefüge von Illiten
bei hoher Salzkonzentration

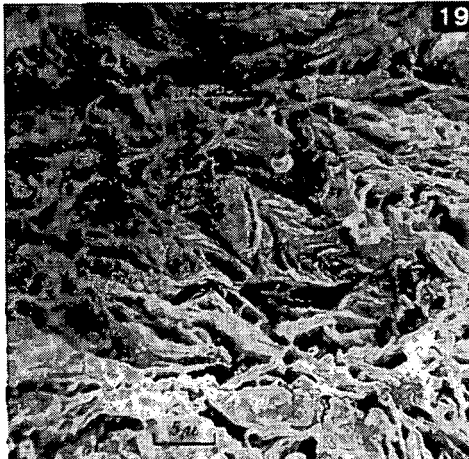


Abb. 2: Mikrogefüge von Illiten
bei hoher Mg- und Na-Sorption
und geringer Salzkonzentration

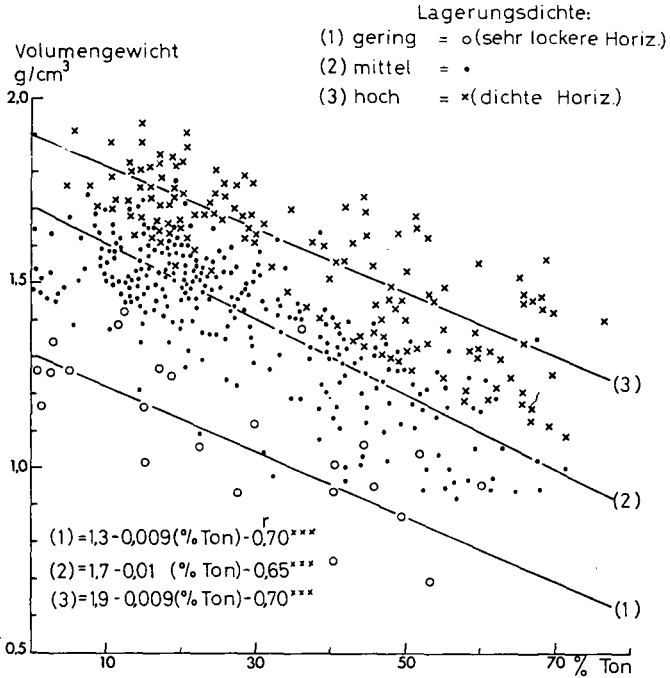


Abb. 3: Beziehung zwischen Volumengewicht und Tongehalt von Böden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte

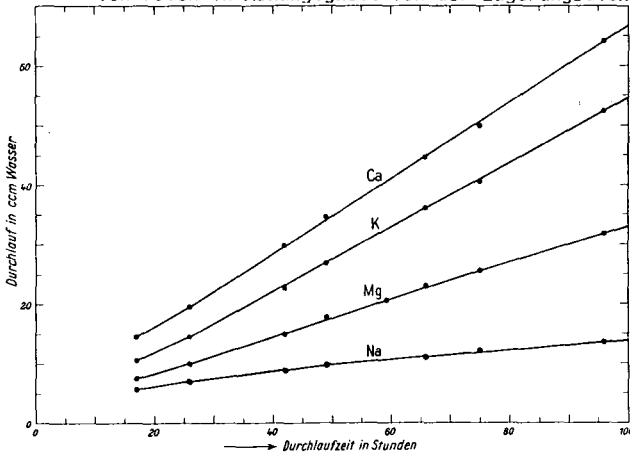
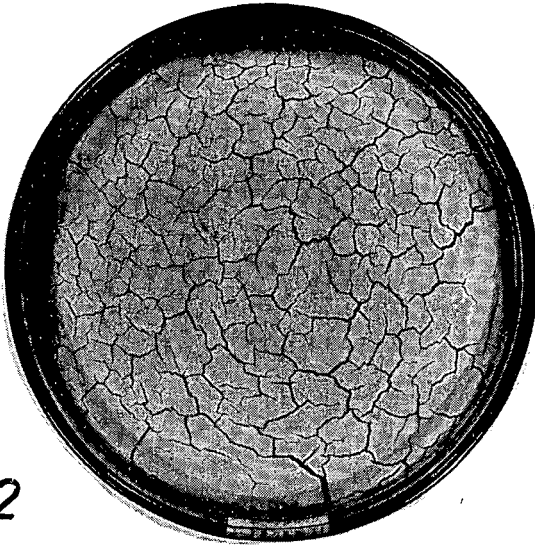


Abb. 4: Wasserdurchlauf bei Böden mit unterschiedlicher Kationensorption



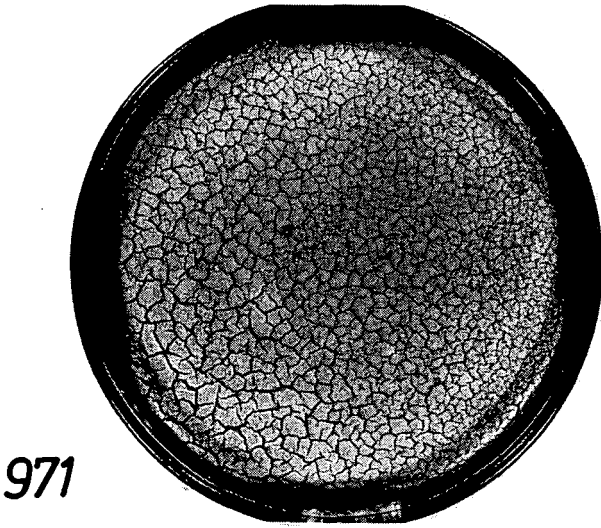
972

Abb. 5: Rissbildung bei einem illitischen Ton mit hoher Mg-Sorption



973

Abb. 6: Rissbildung bei einem illitischen Ton mit relativ hoher Na-Sorption (>5 %)



971

Abb. 7: Rissbildung bei einem illitische Ton mit hoher Ca-Sorption

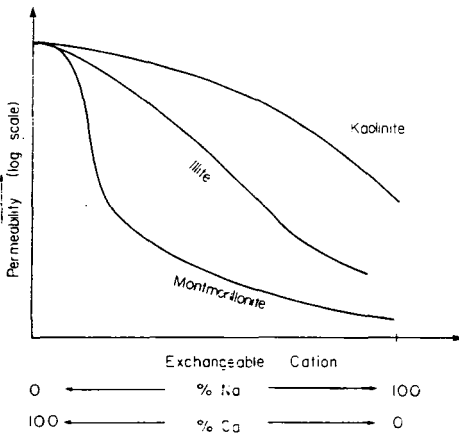


Abb. 8: Einfluß der Kationensorption auf die Permeabilität bei verschiedenen Tonmineralen (aus YONG & WARKENTIN 1975)

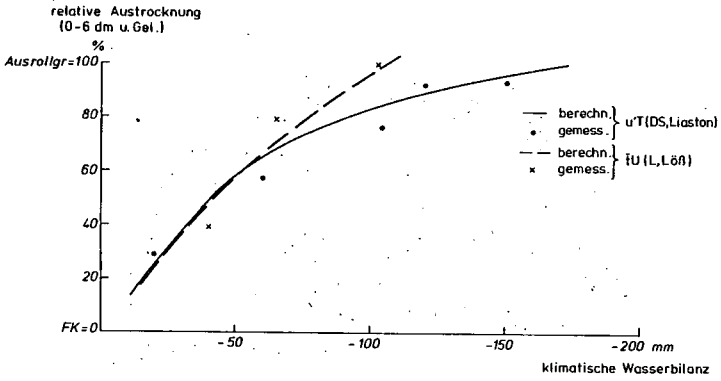


Abb. 9: Beziehung zwischen der klimatischen Wasserbilanz und der Austrocknung des Bodens

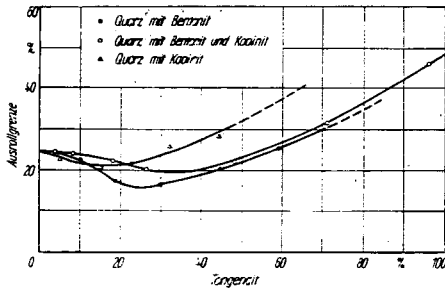


Abb. 10: Ausrollgrenze in Abhängigkeit vom Tongehalt (aus KEZDI 1968)

ISSN-0343-107X

Ueber den Einfluss des Kationenbelags und der Tonmineralien
auf das Verhalten der festen Phase zum Wasser.

von

Koenigs, F.F.R.[†]

Zusammenfassung. Dieselben Kräfte die in den Tonkristallen die Plättchen zusammenhalten, wirken in den Ebenen wo die Kristalle einander parallel berühren. Zusammenziehend wirkt hauptsächlich die Madelungkraft zwischen den Kationen und der Substitutionsladung. Spaltend, die Hydratationsenergie und der osmotische Druck. Die Madelungkraft verursacht eine zweite Schwelle, zwischen 1 und 3 nm, welche bei einwertigen Kationen überschritten wird und bei zweiwertigen nicht. Bei grösseren Distanzen überherrscht die Abstoszung. Bei grossen starren unebenen Mineralen ist die durchschnittlich grosse Distanz eine Gegebenheit. Die Wirkung der Kationen lässt sich durch Valenz und Grösze erklären, sie beeinflussen das physische Verhalten fast ausschliesslich durch die Menge des adsorbierten Wassers.

Quellung ist die Anlagerung von Wasser an Ton, die zu einer Vergrösserung des Volumens führt. Wenn die Plättchen in dichter Packung liegen, wie es innerhalb der Kristalle und Mizellen der Fall ist, muss diese Anlagerung die Trennung der Blätter veranlassen. Ob es nun bei Zutretenden Wasser zur Quellung kommt, hängt von der Bilanz der zusammenziehenden und der trennenden Kräfte ab. Die Kräfte die die Minerale transversal zusammenhalten und die erste Aufweitung sind vor allem von den Mineralogen bestudiert worden. Die weitere Wasseradsorption, vor allem in den Doppelschichten, gehört mehr zu dem Gebiet der Kolloidchemiker. Die Pointe vorwegnehmend; fragt man einen Mineralogen was die 2:1 Minerale zusammen hält, wird er antworten - die zwischenliegenden Kationen, fragt man den Kolloidchemiker was die Wasseradsorption verursacht so antwortet er Dasselbe. Diese Doppelfunktion der Kationen verständlich zu machen wäre die erste Aufgabe.

Welche sind diese Kräfte?

Zusammenziehend.

Von kleinen nach grösseren Distanzen des Wirkungsbereichs gehend:

A. van der Waals. Gerade für Mineralogen ist es deutlich dass diese Kraft klein ist, wie könnte man sonst mit Graphitstift schreiben und sich die Hände mit Talkpuder gleitend machen. Der Hauptunterschied zwischen Talk und Muskovit, Pyrophyllit und Biotit ist eben das Fehlen der Substitution bei den ersteren.

Ausserdem fällt v.d. Waals sehr stark mit der Distanz ab wie es Fig. 1 zeigt.

Diese Kraft ist hier in Energie umgerechnet und als Kurve II eingetragen.

[†] Landwirtschaftliche Hochschule. De Dreyen 3. Wageningen Niederlande.

Die Energien zwischen zwei Tonplättchen von je ein cm^2 werden hier dargestellt. Negativ bedeutet dass die Platten bei Verringerung der Distanz, $d = \frac{1}{2} D$ in \AA , angezogen werden also Energie verlieren. Positiv bedeutet dass die Platten einander abstoßen also bei Näherung Energie gewinnen.

B. Madelung, oder Gitterkräfte. Diese werden von der Ladung der Schichtebene erzeugt. Jedes Kation ist als Zentrum eines kleinen Kondensators aufzufassen, das zwei halbe negative Ladungen zu sich hin zieht. Auch diese Kraft reicht nicht weit. Biss $d = 10-15 \text{\AA}$. Kurven V, einwertig und VI, zweiwertig, sind nach MacEwan (1954) errechnet.

Weitere anziehende Kräfte können wir vernachlässigen. Die für die Flockung so wichtige Rand-Platte Anziehung ist bei der in trockenen Tonen vorherrschenden Planparallellagerung wohl von sekundärer Bedeutung.

Trennende Kräfte:

A. Hydratation der Kationen. Erste Schwelle. Diese Kraft, Kurve 1, ist so groß, 1000 erg/4 \AA , dass beim Montmorillonit all einzelnen Kristallblätter auseinander getrieben werde, völlige Aufweitbarkeit. Die Distanz lässt sich demnach mittels Röntgendiffraktion messen. Diese Kraft hat nur einen kurzen Bereich, sie endet bei zwei Wasserschichten, $d = 5 \text{\AA}$. Diese fixieren die Ionen genau in der Mitte.

B. Der osmotische Druck der Kationen. Der Montmorillonit weitet sich in einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre bis $d = 5 \text{\AA}$ auf. Legt man einen solchen Ton, der gleich Volumina Feststoff und Wasser enthält, in reines Wasser, dann lässt sich der osmotische Druck wie folgt errechnen;

Austauschkapazität = 1 meq/gram, 1 cm^3 Ton = 2.7 gram also 2.7 meq/cm^3 Ton und 2.7 meq/gram Wasser. Die Lösung wäre 2.7 N und der Druck $2.7 \times 24 \text{ atm} = 65 \text{ atm} = pF 4.8$. Für zweiwertige Kationenbelag die Hälfte also $pF 4.5$.

Der osmotische Ueberdruck mitten zwischen den Schichtebenen gegenüber dem der umringenden Lösung wäre somit der zweite trennende Faktor, er ist als Kurve III für einwertige und als Kurve IV für zweiwertige Kationen eingetragen.

Nach Schofield (1946) lautet die Formel für die Konzentration mitten zwischen den Platten $K_z = 10 / z^2 \beta d^2$, numerisch $\pi_z = 2500 / z^2 \cdot d'^2$ $z = \text{Valenz}$, π in bar, d' in \AA . Der Druck ist dem Quadrat der Halbdistanz umgekehrt proportional.

Die Potential-Halbdistanz Kurve wird in Abb. 2 vorgezeigt, zu beachten ist dass beide Axen logarithmisch sind und dass bei zweiwertigen Ionen die Distanz halbiert wird. Diese Beziehung ist oft nachgeprüft worden, vor allem in der Form wo sie die Beziehung zwischen Dicke der salzfreien Wasserhaut und Salzkonzentration beschreibt. Bestimmt man das Volum dieser Haut dann kann man mit Hilfe der Schichtdicke die spezifische Bodenoberfläche berechnen.

Vergleicht man aber die Form dieser Kurven mit den pF -Kurven von Tonböden dann sieht man bei Na-Tonen noch eine gewisse Uebereinstimmung aber kaum

bei Ca-Tonen.

Aus der Summierung aller genannten Energien muss nun folgen dass die Ionen sowohl Zusammenziehung als Abstossung verursachen können. Um das leichter zu verstehen erst noch ein paar relevante Befunde:

Ca-Montmorillonit zeigt in reinem Wasser immer eine Distanz von 10 \AA auf, also nur eine beschränkte Quellung oder Aufweitung. Na-Montmorillonit zeigt in normaler NaCl-Lösung auch nur eine Aufweitung bis 10 \AA . Erniedrigt man aber die Salzkonzentration bis 0.4 N dann setzt plötzlich die Quellung ein. Wie Norrish (1954) Abb. 3, gemessen hat werden bei dieser Konzentration Distanzen von 10 \AA und gleichzeitig $30-40 \text{ \AA}$ gemessen, dazwischenliegende treten nicht auf. Bei weiterer Erniedrigung der Konzentration verschwindet die 10 \AA -Distanz. Diese beiden Befunde weisen auf eine Schwelle die beim Ca-Montmorillonit-kristall niemals und beim Na-Montmorillonit sprunghaft überschritten wird. Beim Ca-Mm ist offensichtlich $\text{Madelung}_{D=0} < \text{Hydratation}$ aber

$\text{Madelung}_{D=10} > \text{osmotischer Druck}$.

Beim Na-Mm; $\text{Madelung}_{D=0} < \text{Hydratation}$, $\text{Madelung}_{D=10} < \text{Osmosis}$.

Erklärung: Wenn das Gitter aufgeweitet ist durch die Hydratation der Kationen, dann werden diese eben von ihren Hydratationshüllen mitten zwischen den Platten festgehalten, Abb. 4. Ist der osmotische Wert dann grösser wie die Madelungkraft dann folgt eine weitere Quellung, wobei zu bemerken ist dass sobald die Ionen nicht mehr in der Mitte festgehalten werden, die Madelungkraft mit zunehmender Distanz schnell degeneriert nämlich durch eintretende Polarisierung und gegenseitige Abstossung der Kationen, Abb. 5. Bei Belag mit einwertigen Ionen ist sowohl der osmotische Druck höher ($2 \times$) als die Abstossungskomponente grösser.

Die Madelunganziehung erzeugt also zwei Schwellen, die erste liegt bei Distanz=0 und wird eventuell von der Hydratation genommen, die zweite liegt oberhalb von 10 \AA und wird eventuell von dem osmotischen Druck überschritten.

Wenn man summiert, Abb. 6, dann sieht man dass die von MacEwan errechneten Energien die richtige Grössenordnung haben, und mehr wäre auch nicht zu erwarten. Die Madelungkraft fällt etwas zu gross aus. Ausserdem muss man bedenken dass die Kristalle einander nicht genau überdecken, Abb. 7, sodass über $1/3$ bis $1/4$ der Fläche die doppelte Distanz plus die Dicke des Plättchens, bei Montmorillonit also bei $D=10 \text{ \AA}$, also 30 \AA vorherrscht. Bei dieser Distanz wird immer die Abstossung vorherrschen.

Ob die Kationen nun binden oder trennen hängt also ausser von der Valenz und dem Salzgehalt auch von der Distanz ab. Dort wo die Kristalle oder Mizellen einander planparallel berühren herrschen dieselben Kräfte vor wie innerhalb der Kristalle beim Ca-Ton also Anziehung. Auf diese Weise lässt sich zwanglos die Wasserstabilität und die Form der pF-Kurve der Ca-Tone erklären. Innerhalb der

Aggregate herrscht bei dem geringen Porienvolumen und der Plattenform notwendigerweise Prallellagerung also Anziehung vor. Mit einwertigen Ionen belegte Tone dispergieren dagegen in reinem Wasser spontan. Wird aber bei Zutritt von Wasser eine Scherkraft auf die Aggregate ^{aus Ca-Ton} angewendet, dann kann die Schwelle überschritten werden wobei die sekundären Bauten wieder Dispergieren. Diese mechanische Auftrennung, ^Uworbei später mehr, kann bis zur Mizellengrösse gehen, wie es aus der engen Beziehung zwischen Fliessgrenze und Tongehalt folgt. Die Energie zur Ueberschreitung der Schwelle kann auch von der eingeschlossenen Luft bei schneller Benässung geliefert werden, der sogenannten Luftprennung. Abhängig von dem Trocknungsgrad und dem Tongehalt kann die Luftprennung zu unerwünscht kleinen Aggregatdimensionen führen, wie es Abb. 8 indirekt zeigt.

Kommt man aber von der Suspensionsseite also von den grossen Distanzen her, dann muss folglich die zweite Schwelle ^eüberschritten werden bevor eine stabile Struktur entstehen kann. Um die Schwelle zu überschreiten muss in diese Richtung Wasser entzogen, die Distanz verringert werden.

Am schönsten zeigen das die Kalium-Tone z.B. K-Aue, Abb. 9, erst zwischen pF 5 und -6 hört das rückquellen auf. Beim Ca-Ton tritt bei der feinsten Dispersion (Ca-Ton aus Na-Ton ohne ^{Attraktion} Trocknungsstufe) sofort eine Beschränkung der Rückquellung auf, Rand-Platte zusammen mit der grösseren Reichweite der Madelungskraft sind dafür verantwortlich. Die mechanische Suspension des getrockneten Tones braucht Wasserentzug bei pF 4.5 um die Rückquellung zu beschränken. Abb. 10. Wir kommen auf den Einfluss der Grobheit zurück.

Wir haben uns biss jetzt auf Montmorillonit beschränkt. Erstens weil dieses Mineral vonwegen der intrakristallinen Quellung ^{sich} besonders für das Studium des Quellungsvorgangs eignet, und zweitens weil es auch ^ewegen dieser Quellung das tonigste der Tonminerale ist. Wir haben uns ausserdem auf den Einfluss der Valenz der Kationen beschränkt. Wir werden uns jetzt zu den spezifischen Einflüssen wenden.

Spezifische Einflüsse. Zu diesen gehört

A. Der Einfluss des Ionendurchmessers.

B. Der Einfluss der Tonminerale, Ladungsdichte und Ladungsdistanz.

Wie Abb. 11, Tabelle 33 Scheffer & Schachtschabel, zeigt, nimmt die Hydratationsenergie mit dem Ionendurchmesser ab, dagegen die Polarisierbarkeit stark zu, das heisst für uns, mit dem Durchmesser nimmt die Aufweitungsenergie ab und die Zusammenziehung zu.

Für reinen Montmorillonit lässt sich das illustrieren an der Salzkonzentration bei welcher die starke Quellung und Formveränderung einsetzt. Wie Abb. 12 ³ und ^{en} zeigt ist diese Konzentration 0.5 N bei Na- und 0.025 N bei K-Belag.

Ich möchte darauf hinweisen dass der Wassergehalt bei pF 1 auch bei Ca-Mm viel grösser ist als das Produkt von spezifischer Oberfläche und Distanz. Er liegt

Er liegt meist über 100 %. Selbst bei einem mitquellenden Hohlraum von 30 % kommt man bei 10 Å Distanz nicht über die 73 % Wasser. Wahrscheinlich bleibt das Gerüst zwar intakt, treten aber lokal grössere Dehnungen auf, worauf Emmerson in 1962 hingewiesen hat. Aus der Litteratur z.B. Barshad 1955 folgt dass bei noch grösseren Ionendurchmessern es beim Montmorillonit bei einer Aufweitung bleibt; Rb-belag in Wasser 6 und Cs 5 Å.

Magnesium. Als zweiwertiges Kation verhindert das Mg die unbeschränkte Quellung. Der in Verhältniss zum Ca grössere Wassermantel und die kleinere Polarisierbarkeit verschieben das Gleichgewicht in die Richtung der Quellung. Es bedarf daher weniger Energie um die Schwelle zu überschreiten als beim Ca-Ton. Diese Energie kann sowohl mechanischer als physiko-chemischer Art sein, das will sagen dass der kritische Prozentsatz Na bei Mg niedriger ist als bei Ca-belag.

B. Minerale. Je mehr die Substitution in der Tetraederschicht stattfindet desto geringer wird die Distanz zwischen den Ladungen, bei K schwindet sie von 5 Å beim Montmorillonit auf 2.2 Å beim Illit. Ausserdem nimmt die Ladungsdichte zu von $\frac{1}{2}$ Besetzung biss zur vollen Bestezung und damit die Chance dass bei Berührung der Kristalle oder Mizellen die negativen und positiven Ladungen ihren Gegenüber finden.

Montmorillonit-Smectit. Bei Norrish (1954) zeigte sich dass sein K-Montmorillonit bloss aufweitet, bei Barshad (1955) wird K-Wyoming-bentonit noch diffus, aber K-California-bentonit stoppt bei 7 Å Distanz. Isoliert man einen Montmorillonit aus einem Margalit (strenger Javaner Ton) dann zeigt Abb 13 dass auch hier die Quellung beschränkt ist.

Einfluss der Grobheit. Illit, Fithian. Bei diesem Mineral ist bei internem K-Belag die erste Schwelle höher als die Hydratationsenergie sodass keine interne Aufweitung erfolgt. Meint man aber dass deswegen die Illit-kondensate auch wasserstabil seien kommt man leider betrogen aus. Wegen dieser starken internen Bindung sind die Illitkristalle star und sie können deswegen auch ziemlich gross werden, Fithian bloss 155 m²/gram. Ausserdem kann die Oberfläche gestuft sein, sodass bei Berührung die Zusammenziehungskräfte nur über einen Teil der Oberfläche herrschen. Selbst bei Ausschliessung der Luftsprengung dispergiert K-Fithian noch spontan und zeigt Ca-Fithian bei 10⁻⁴N eine sehr geringe Stabilität. Bodenillite. Da diese meist mit Smectit verunreinigt sind, der durch seine Schmiegsamkeit die mitlere Distanz verringert, zeigen nur die Na Tone unbeschränkte interkristalline Quellung, welche bei 0.032 N einsetzt, Abb. 14. Gelingt es das interne K, durch andere Ionen zu ersetzen dann weiten diese Illite biss \pm 5 Å Distanz auf.

Dass es bei Illit und Muscovit bei K-Belag keine intra-kristalline Quellung gibt ist nur auf die Zusammenziehung zurück zu führen. Gibt es keinen Gegenüber dann formt sich beim Muscovit, die Doppelschicht genau nach den Berechnungen Schofield's, ⁽¹⁹⁴⁶⁾ der ja seine Theorie an den Messungen Derjaguin's und Kussakov's

,Zusammendrückung der Doppelschicht durch Luftblasen, erprobt hat.

Diese Einführung erklärt uns teilweise das Verhalten der festen Phase zum Wasser, was an sich schon wichtig ist, zweitens aber erklärt sie, wie wir noch sehen werden, damit auch die mechanischen Eigenschaften der Tone, dabei von der Annahme ausgehend, dass je dicker die Wasserschicht zwischen zwei Körpern, desto geringer die Bindung. Eine Bedingung für diese Betrachtungsweise ist, dass die Wasserverteilung im Boden homogen sei, also kein Vergleich der Viskosität eines gequollenen Na-Montmorillonits mit der einer Suspension von Ca-Montmorillonit bei gleichem Wassergehalt.

Die Festigkeit der Tonböden wird auf verschiedene Arten erprobt.

I. Regenfall. Eine mechanische Beanspruchung bei völliger Sättigung, manchmal nach Luftsprengung.

II. Befahren und Bearbeiten, Druck und Scherbelastungen bei einer breiten Skala von Wassergehalten.

III. Regenfall auf die durch II veränderte Struktur.

I. Der Regenfall. Dieser wird meist mittels anderer Methoden nachgeahmt, Nassieben oder Rotationsschütteln. Aus den Ergebnissen der Schüttel-methode lässt sich ein Stabilitätsindex gewinnen. Trägt man den Log des Index gegen den Log der Salzkonzentration auf, dann sieht man, Abb 15, dass die Stabilität des Ca-Mm's sich in dem Trajekt von 0.3M biss Wasser bloss um das vierfache verringert. Beim Na und K-Mm läuft der Index von 4 resp. 20 nach 0. Aus dieser Darstellung kann man ablesen bei welcher Molarität der Na- oder K-Mm noch die erwünschte Stabilität hat aber eine tiefere Einsicht kann man nicht daraus gewinnen, es bliebe bei einer Reihe von Tatsachen.

Trägt man aber den Stabilitätsindex gegen den Wassergehalt des Tons bei $p_f 1$ auf, dann erhält man das folgende Bild, Abb. 16. Zwar keine strenge aber doch deutliche Beziehung zwischen \log .Stab. und \log .Wasser, \log Ind. = $6.33 - 2.67 \log W.$ Diese Bild bestärkt die Hypothese dass die Stabilität eine Funktion des Wasser gehaltenes, folglich der Distanz ist. Um die erwünschte Distanz zu behaupten, muss man bei verschiedenem Belag ganz andere Salzkonzentrationen verwenden.

Bei anderen Tönen sieht man dasselbe Bild: grosse Unterschiede bei den Salzkonzentration-Stabilitätsbeziehungen und geringere bei dem Wassergehalt-Stabilitätsverhältniss. Am geringsten sind diese Unterschied bei einem Auegleyboden und einem Marschboden, Abb. 17 und 18. Für den Auegleyboden ist die Gleichung.

$$\log. \text{Index} = 8.6 - 4.4 \log \%H_2O$$

Je höher die spezifische Oberfläche des Tones desto kleiner ist der Faktor für \log Wasser, was auch auf den vorausgesetzten Einfluss der Distanz hinweist. Der Stabilitätsindex schwankt von + 50 für Latosol und 1 für den älteren Marschboden biss 0.025 für den Ca-Kaolinit. Die beiden äussersten zeigen an dass es unmöglich ist um aus der Art der Tonminerale die Stabilität voraus-

zu sagen.

II. Reissfestigkeit und Scherkraft.

Ueber die Reissfestigkeit von Bentonit haben z.B. Dowdy und Larson (1971) gearbeitet. Die Reissfestigkeit von Bentonitfilmen mit verschiedenem Ionenbelag wurde in einem Feuchtigkeitstrajekt bestimmt in dem man erwarten darf dass die Distanzen zwischen den Kristallen noch dieselben sind wie innerhalb derselben, also im Hydratationstrajekt. Trägt man wie die Autoren relative Feuchte oder pF gegen die Reissfestigkeit auf, dann bekommt man wie zu erwarten das folgende Bild, K-oben und Ca unten, Abb. 19. Trägt man aber die Reissfestigkeit gegen den Wassergehalt der Tone auf, dann bekommt man bloss eine Kurve; Na-K-Ca selbst Al sind nicht von einander zu trennen. Selbst in dem Trajekt so geringer Distanzen, 30 % Wasser ist weniger als 10 Å, gibt es keine spezifische oder vielmehr direkte Einflüsse der Ionen auf die Stärke. Der Einfluss der Ionen kommt eben nur in der Menge des adsorbierten Wassers zum Ausdruck, die eben sehr verschieden ist.

Dasselbe zeigt sich wenn man die Scherkraft eintrocknenden Schlamms vergleicht mit der von Kondensaten desselben. Die Kondensate wurden aus Schlammstäbchen, mittels langsamen eintrocknens über gesättigter Kochsalzlösung, hergestellt. Während des Eintrocknens wurde die Scherkraft-Feuchte Beziehung des eintrocknenden Schlamms bestimmt. Nach dem trocknen wurden die Tonstäbchen befeuchtet, wassergesättigt und wieder desorbiert wobei auch die Scherkraft bestimmt wurde. Auf diese Weise wurden vergleichbare Daten der am meisten entgegengesetzten Strukturen erhalten. Wie Abb 21 zeigt sind die pF (=log allseitiger Druck)-Scherkraft Kurven des Margalits sehr verschieden, die Feuchte-Scherkraft Kurven aber fast identisch, sie folgen der Gleichung

$$\tau_f = 9.60 - 3.84 \log \%H_2O$$

Das Resultat ist scheinbar wichtiger als der Weg. Da es von einem Boden unendlich viele Druck(pF)-Feuchte Kurven gibt, ist es vergebliche Mühe nach einer einzigen Druck-Stärke Beziehung zu suchen. Interessant ist es vielleicht, dass, wenn man die Unterwasserstabilität des eintrocknenden Schlamms bestimmt, man auch eine geradlinige Beziehung zwischen log Stabilitätsindex und log Wassergehalt bei pF 1 nach Rückquellen, erhält, Abb. 22. An der trocknen Seite zeigt sich dann der Anfang der Luftsprungung.

III. Regenfall auf diesen bearbeiteten Boden.

Beim Bearbeiten des Bodens vor allem beim Befahren und Rollen, können bei bestimmten Feuchtegehalten so grosse Kräfte auf die Aggregate übertragen werden dass das Scheren bis in die Mizellen geht. Dadurch wird die Bindung innerhalb der Aggregate geschwächt diese werden aber zu viel grösseren Einheiten zusammengepresst, geknetet oder gewälzt. Das Resultat lässt sich an der Scherkraft des Produkts ablesen und an der Aggregatgrösse. Die Beispiele finden sie in Abbn 23 und 24.

bestimmt man die Unterwasserstabilität einer solchen Serie dann erhält man das folgende Resultat, Marschboden Abb. , wo nichts mehr die ursprüngliche Stabilität H aufweist ist die Verknetung folglich total gewesen. Die resultierende zähe Paste quillt beim K-Boden spontan, sodass 80 % die Stabilität 0 aufweist beim Mg- und Ca-Boden hat die Paste noch einen gewissen Widerstand gegen das Schütteln. Dieses Verhalten stimmt mit den Rückquellungsdaten Abb. 9 und 10.

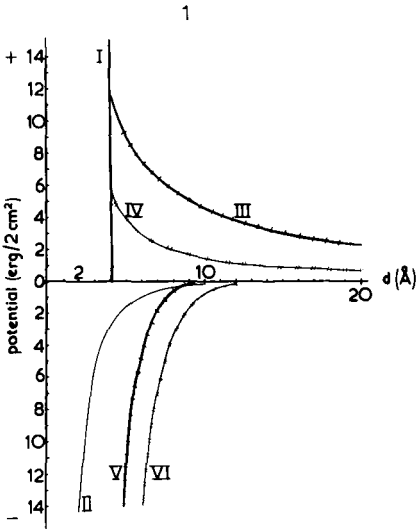
Ein Tonboden wird sich desto leichter verpressen lassen, bei gleicher Wasserspannung, desto mehr Wasserhäute = Gleitflächen es pro Durchmesser gibt und je weniger Hindernisse gegen die Strömung, z.B. Humus, Staub- und Sandkörner. Je höher dieser Verpressbarkeitsfaktor desto dünner darf die einzelne Wasserhaut werden, also desto höher das pF wobei das Verpressen noch zu geschlossenen Körpern führt. Da man in der Landwirtschaft unter dieser Grenze bleiben muss, verschiebt sich die Bearbeitungsgrenze bei schweren Böden auf pF 3 hin und bei Montmorillonitböden bis zu pF 4.

Schrifttum

- Barshad, I. 1955. Adsorptive and swelling properties of clay-water system. Proc. First Nat. Conf. on clays and clay technology. p. 70-78. Div. Mines San Francisco
- Dowdy, R.H. & Larson W.E. 1971. Tensile strength of montmorillonite as a function of saturating cation and water content. S;S;S;A;P; 35. p. 1010-1014.
- Emerson, W.W. 1962. The Swelling of Ca-Montmorillonite due to water adsorption. 2. Water uptake in the liquid phase. Journal Soil Sci. 13. p. 40-46.
- Koenigs, F.F.R. 1961. The mechanical stability of clay soils. etc. Versl. Lanbouwk. Onderz. Nr 67-7.
- 1963. The puddling of clay soils. Neth. J. Agr. Sci. Vol II Spec. Iss No 2.
- & Brinman R. 1964. Influence of partial sodium and magnesium saturation on the structural stability of clay soils. 8 Int. Bodenk. Kong. Bukarest .
- Mann, M.A.M. & Gazalli, M.Z. 1976. The mechanical stability of clay soils II. Med. Fac. Landbouwk. Rijksuni. Gent 41/1 .
- MacEwan, D.M.C. 1954. Short range electrical forces between charged colloidal particles. Nature 174, 39-40.
- Norrish, K. 1954. The swelling of Montmorillonite. Faraday Soc. Disc. No 18. 120-134.
- Schiffeld R.K. 1964. Ionic forces in thick films of liquid. Trans. Faraday Soc. 42 B. p. 219-225.

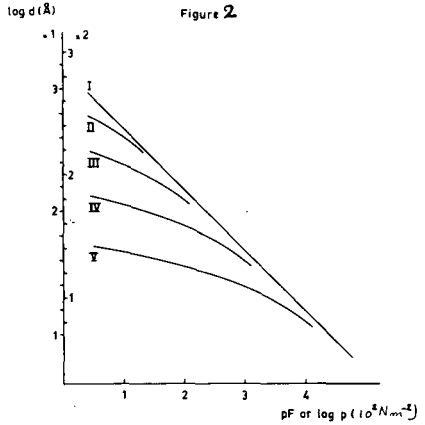
1. Teilpotentiale gegen Halbdistanz

I, Hydratation; II v.d.Waals Anziehung
 III, osmotische Quellung $V=1$
 IV, idem, $V=2$; V, Madelung $V=1$
 VI, Madelung $V=2$.



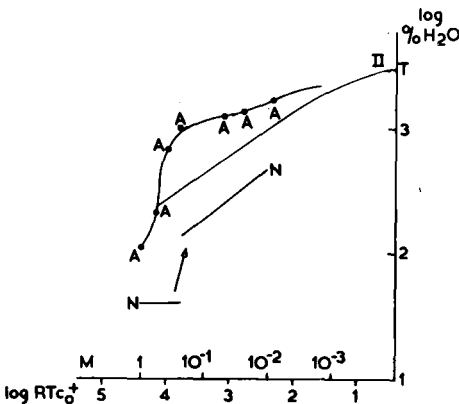
2. Osmotische Quellung -Saugspannung

I, 10^{-4} M; II, 10^{-4} M; III, 10^{-3} M;
 IV, 10^{-2} M; V, 10^{-1} M.



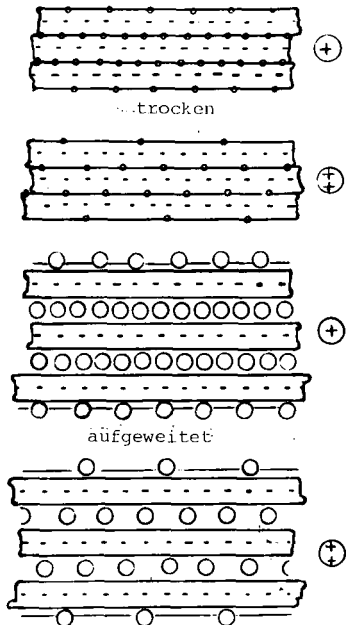
3.

Wassergehalt pF 1 des Na-Montmorillonits
 gegen Molarität
 A, Messung an Aggregaten; II, theoretisch
 Schofield; N, aus Distanzmessungen, Norrish.



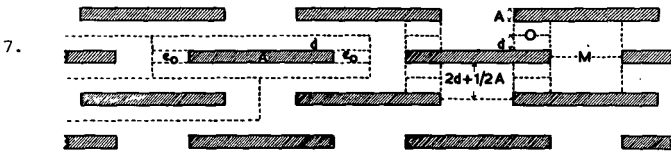
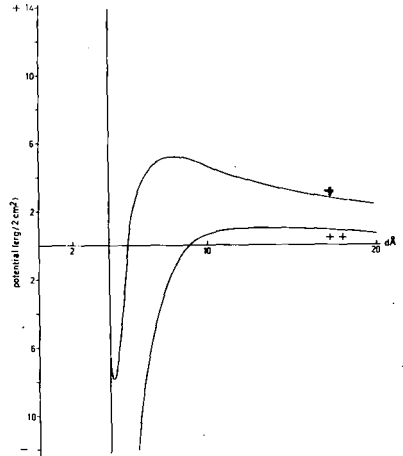
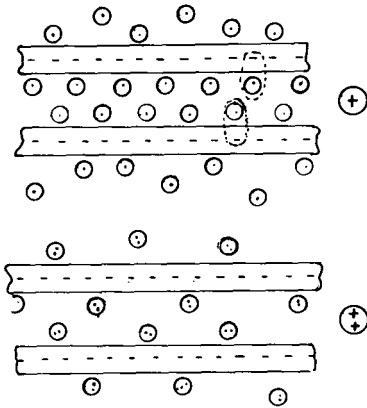
4.

Querschnitt durch aufweitenden
 Montmorillonit (schematisch)



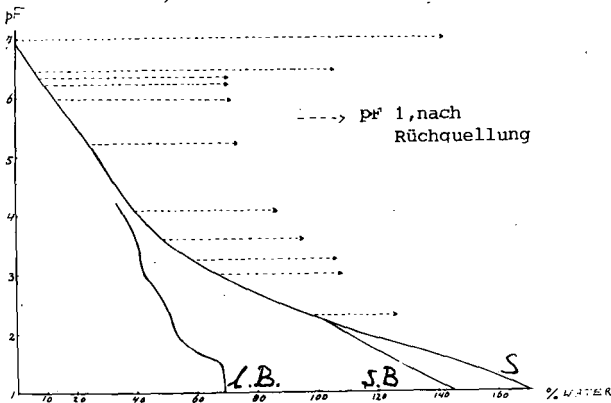
5. Anfang der osmotischen Quellung.

6. Gesamtpotential-Halbdistanz.

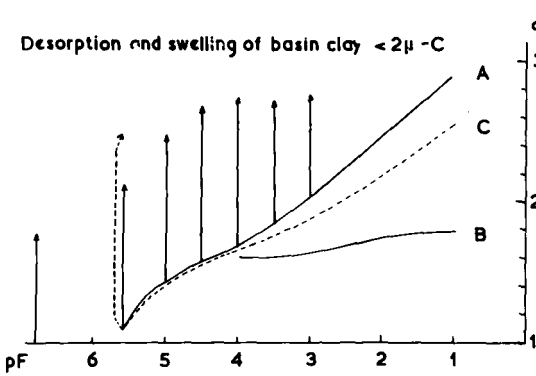


8. Ca-Margalit, Desorption und Rückquellungsdaten.

S, verknetet und aufgeschlämmt; s.B., schnelle Benetzung
l.B., langsame Benetzung

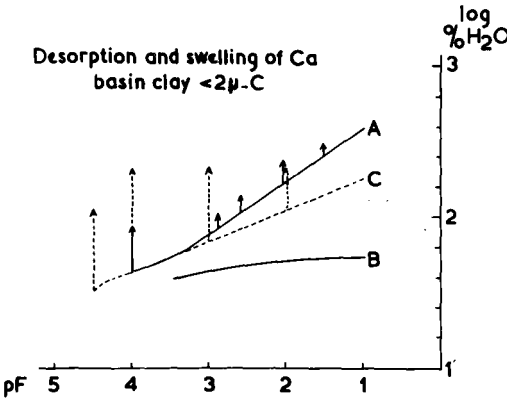


Desorption and swelling of basin clay <math> < 2\mu - C </math>



9. Desorption und RÜckquellung des K-Auetoens.
 A=K-Suspension aus Na-Susp.
 B=Kondensate
 C=B, verknetet und aufgeschlämt
 Spitze der Pfeile = Wassergehalt bei pF 1 nach Rückquellung.

Desorption and swelling of Ca basin clay <math> < 2\mu - C </math>



10. Desorption und Rückquellung des Ca-Aue tons.
 A=Ca-Suspension aus Na-Suspension
 B=Kondensate
 C=B, verknetet und aufgeschlämt.

Tabelle 33

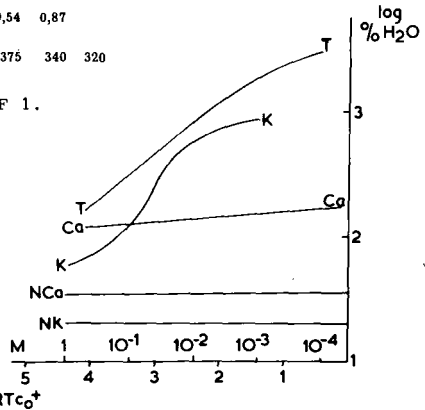
Durchmesser der nicht hydratisierten Kationen in Kristallen nach V. M. Goldschmidt, Polarisierbarkeit nach L. Pauling und Hydratationsenergie nach E. Glueckauf

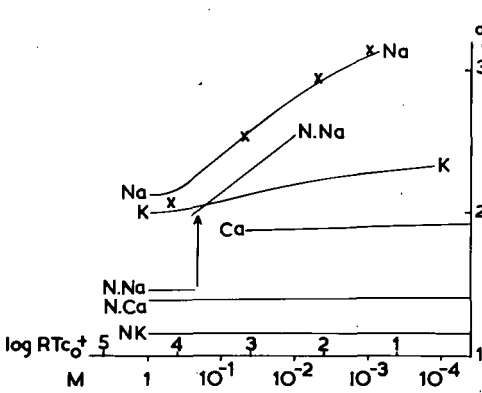
	Li	Na	K	NH ₄	Rb	Cs	Mg	Ca	Sr	Ba
Ionen-durchmesser (Å)	1,56	1,96	2,66	2,86	2,98	3,30	1,56	2,12	2,54	2,86
Polarisierbarkeit (cm ³)	0,025	0,17	0,80	—	1,42	2,35	0,10	0,54	0,87	
Hydratations-energie (kcal/Mol)	120	100	85	85	80	75	430	375	340	320

12. Wassergehalt des Montmorillonits bei pF 1.

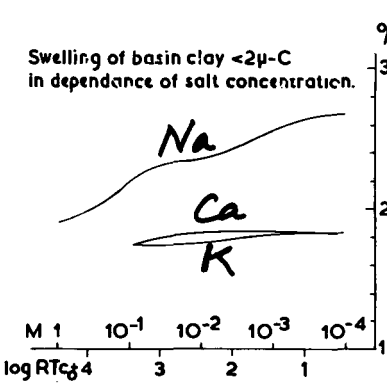
T=theoretisch, V=1.

N aus Distanzmessungen Norrish's



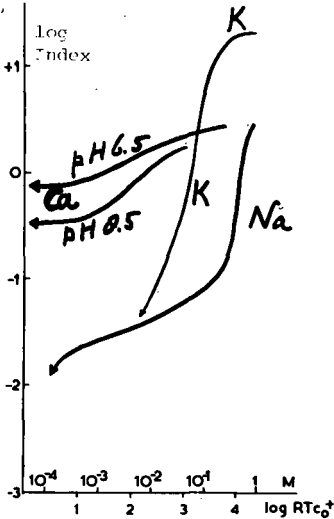


13. Wasseradsorption des Margalit, $2\mu\text{-C}$, bei pF 1 gegen Molarität. X, theoretisch, V=1; N, aus Distanzmessungen Norrish's an Montmorillonit.

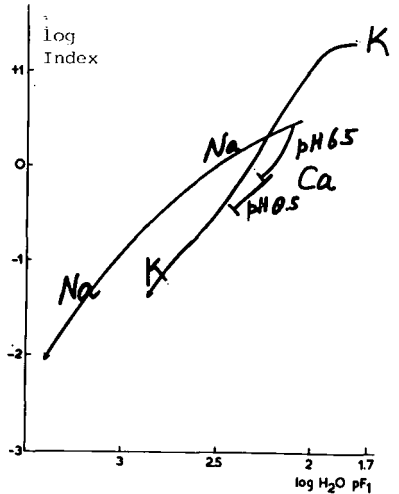


14. Wassergehalt des Auetons $2\mu\text{-C}$ bei pF 1, gegen Molarität

15. Log Stab. Index-Molarität bei Montmorillonit.

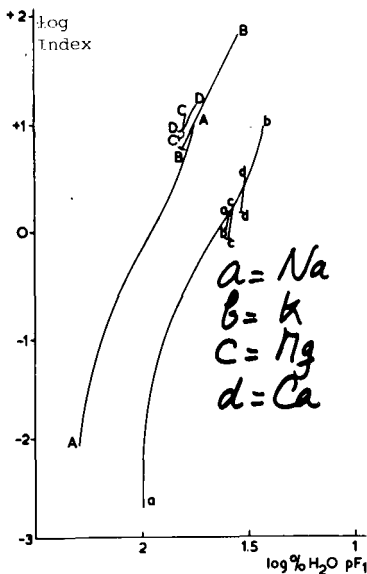
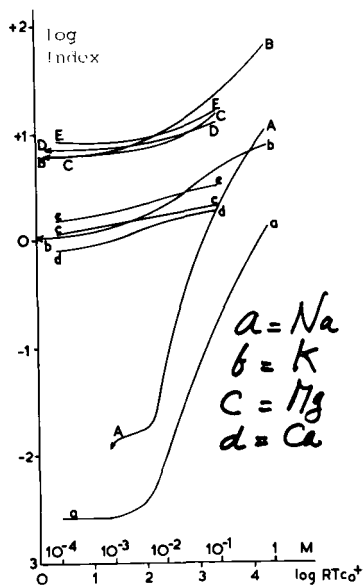


16. Log Stab. Index gegen Wasserhalt bei pF 1, bei Montmorillonit.



17. Log Stab.Index -Molarität.
 gross, Aueboden; klein, Marschboden.

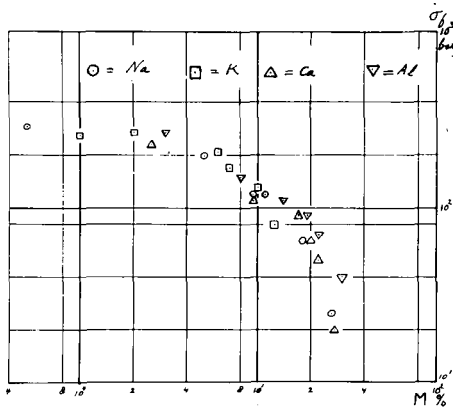
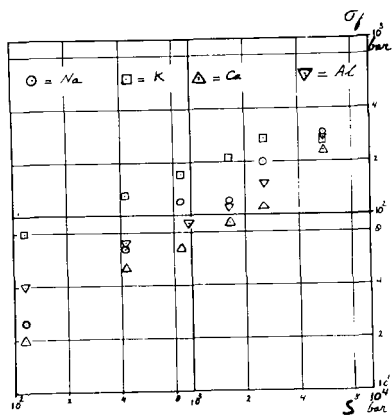
18. Log Stab.Index -Wassergehalt pF 1.
 gross, Aueboden; klein, Marschboden.

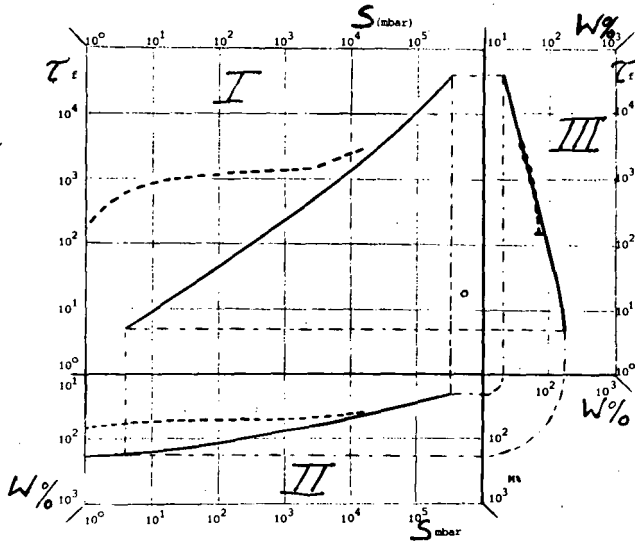


nach Dowdy & Larson

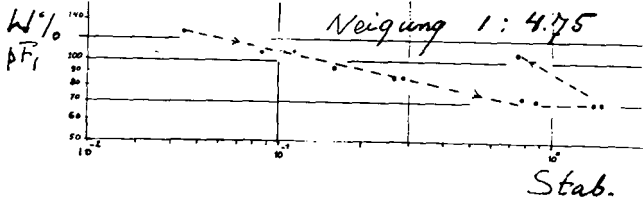
19. Zugfestigkeit Bentonits gegen Saugspannung.

20. Zugfestigkeit von Bentonit gegen Wassergehalt.





21. Margalit, Ngale
 I, Scherkraft τ_f gegen Saugspannung, S.
 II, Wassergehalt, W % - S.
 III, Wassergehalt-Scherkraft.
 — = eintrocknende Aufschlammung;
 - - - Kondensate



22. Margalit.
 Wassergehalt βF_i , nach Rückquellen, W, gegen Stabilitätsindex. S (siehe Abb. 8)

23. Marschboden

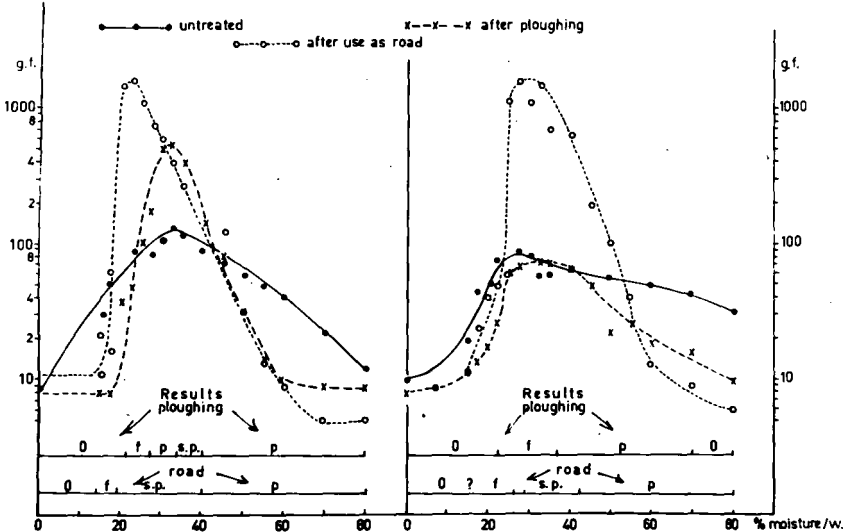
24. Aueboden.

Widerstand in Gramkraft eines Spatels, gegen Wassergehalt.

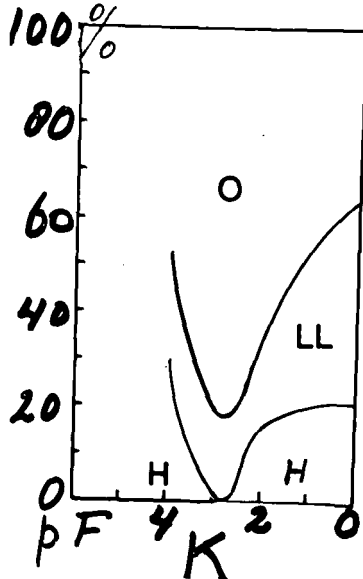
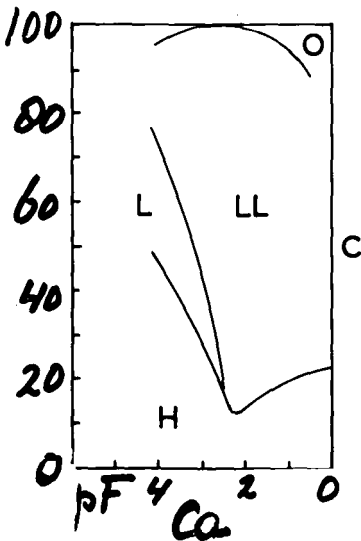
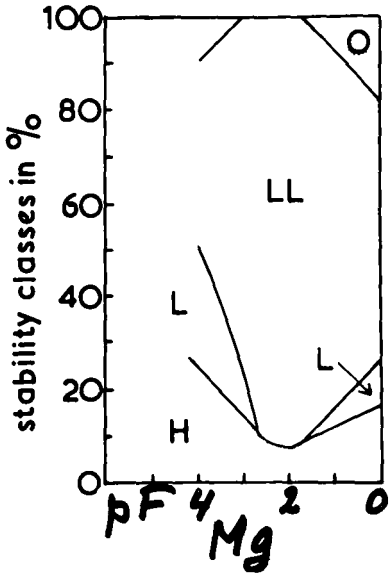
0 = kein e Verkleinerung, f = verkleinert, p = verknetet, s.p. stark verknetet

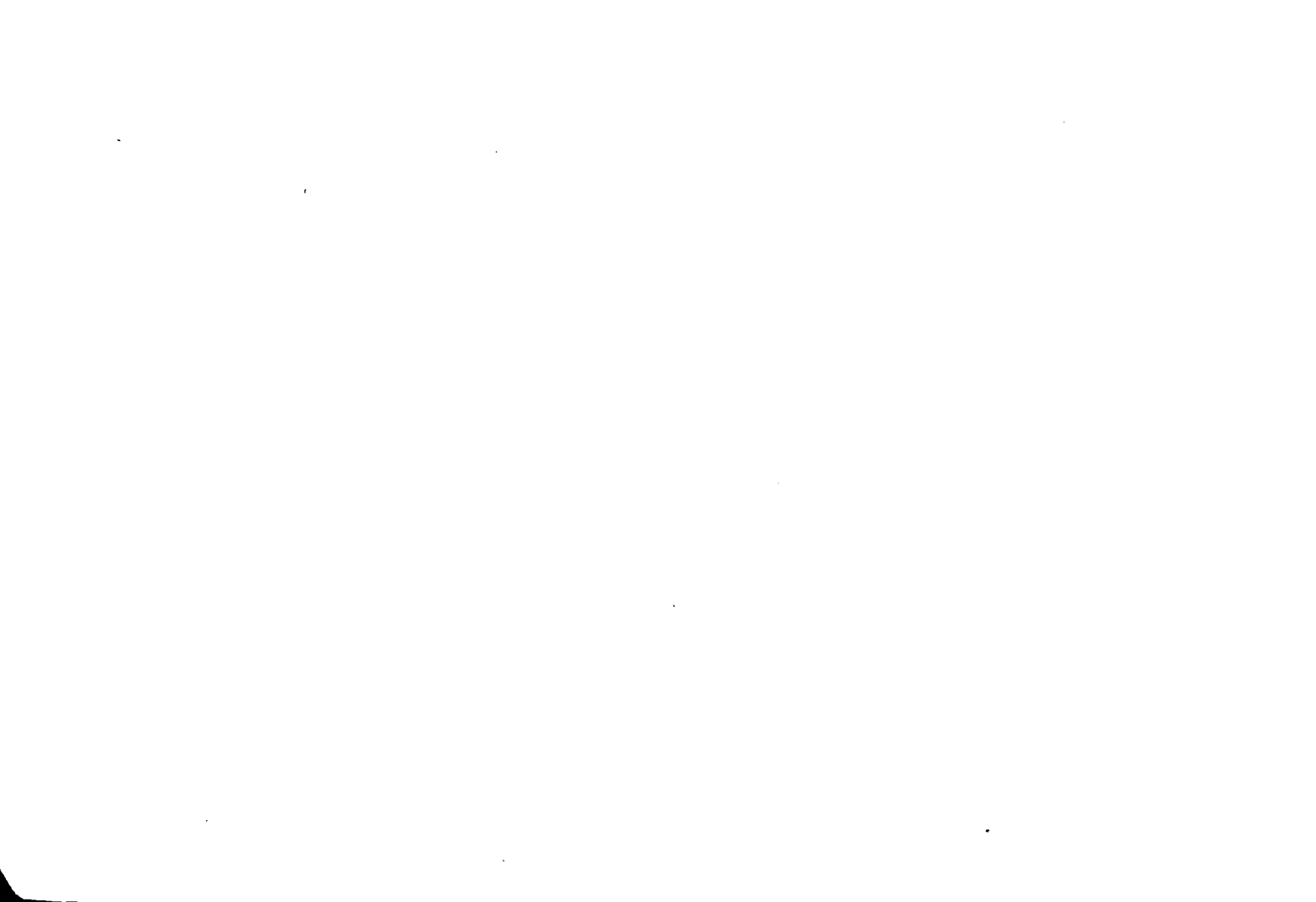
40% < 2 μ 0,8% humus

50% < 2 μ 4% humus



25,26,27. Unterwasserstabilität des Marschbodens nach Befahren.
H=hoch, unveränderte Stabilität; L,niedrig; LL,sehr niedrig;
O,keine Stabilität.







Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit

von

Sommer, C.⁺

1. Einleitung

Die Befahrbarkeit und die Bearbeitbarkeit sind keine physikalischen Eigenschaften eines Bodens, wie z. B. die Bodendichte ρ_t (g/cm^3) oder die Scherfestigkeit τ (N/cm^2). Dies leitet sich nicht nur aus der Tatsache ab, daß es keine physikalischen Definitionen für diese Bodeneigenschaften gibt und bislang auch keine allgemein eingeführten Methoden vorhanden sind, sie zu bestimmen. Hinzu kommt, daß die Befahrbarkeit und die Bearbeitbarkeit nicht nur vom betrachteten Boden selbst abhängen. Bodeneigenschaften, Kraft- bzw. Spannungseinleitung und Zielsetzung des Befahrens bzw. der Bearbeitung bestimmen die 'Befahrbarkeit' bzw. die 'Bearbeitbarkeit'.

So ist es für die Definition der Befahrbarkeit nicht unwichtig, ob es darum geht, ein Gelände zu durchqueren (militärischer Aspekt), oder ob die Frage lautet, welches Ausmaß an Spuren zuzulassen ist (landwirtschaftlicher Aspekt). Kraft- bzw. Spannungseinleitung erfolgen in beiden Fällen über das Fahrwerk.

Für die Definition der Bearbeitbarkeit steht bezüglich der Zielsetzung häufig die Frage nach dem gewünschten Zustand, in den der Boden zu bringen ist, im Mittelpunkt. Das einzusetzende Werkzeug gibt dabei die Kraft- bzw. Spannungseinleitung vor.

Da mineralogische Aspekte zum Einfluß der Kraft- bzw. Spannungseinleitung auf die Befahrbarkeit und die Bearbeitbarkeit bislang wenig untersucht worden sind, kann im folgenden nur die Bedeutung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften auf die Befahrbarkeit bzw. die Bearbeitbarkeit, wie sie sich nach der Literatur insbesondere aus landwirtschaftlicher Sicht darstellt, angesprochen

⁺ Institut für Pflanzenbau und Saatgutforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL)

werden.

2. Zur Befahrbarkeit

2.1 Definition und wichtige physikalische Bodeneigenschaften für die Befahrbarkeit

In Abb. 1 sind einige Ansätze für die Definition der Befahrbarkeit sowie die Bodenkenngrößen herausgestellt, die die physikalischen und physikalisch-mechanischen Bodeneigenschaften besonders nachhaltig beeinflussen.

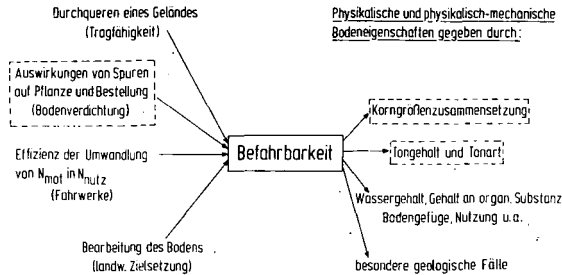


Abb. 1: Definition und wichtige physikalische Bodeneigenschaften für die Befahrbarkeit

Für die pflanzliche Produktion stehen bei der Frage nach der Befahrbarkeit eines Bodens die Auswirkungen der Fahrspuren auf Bestellung, Pflanzenentwicklung und Ertrag im Vordergrund. Über die Fortschritte, die bei der Bearbeitung des Problems 'Bodenverdichtung' erzielt worden sind, geben BARNES u. a. 1971 ausführlich Auskunft. Die Beurteilung von Bodenverdichtungen durch den Fahrverkehr auf landwirtschaftlichen Nutzflächen wird häufig auf der Basis der Werte für "optimales Porenvolumen" durchgeführt, CZERATZKI 1978, die aufgrund zahlreicher Feldversuche für die drei Hauptbödenarten vorliegen. Im Falle der Bodenbearbeitung gilt als zusätzliche Randbedingung, daß der Bodenzustand nicht nur das Befahren, sondern eben auch das Bearbeiten zulassen muß.

Für den landwirtschaftlichen Einsatz des Schleppers steht bei der Frage nach der Befahrbarkeit eines Bodens die Effizienz der Umwandlung der Motorleistung N_{mot} in Gerätenutzleistung N_{nutz} im Vordergrund, STEINKAMPF, ZACH 1974.

Als wichtige Kenngrößen zur Charakterisierung des Verhaltens eines Bodens gegenüber äußeren Beanspruchungen (Befahren) können gelten:

III

- Druckfestigkeit, SCHOLLANDER 1972
- Zusammendrückbarkeit, SOEHNE 1952
- Verdichtbarkeit, KEZDI 1970
- Scherfestigkeit (innere Reibung und Kohäsion), SOEHNE 1952
- Eindringwiderstand, sh. GILL (Kap. 7.8) 1967

2.2 Bodenphysikalische Untersuchungen zur Befahrbarkeit eines Bodens

Die genannten Kenngrößen werden durch die Korngrößenzusammensetzung eines Bodens, durch dessen Tongehalt und Tonart sowie durch den Wassergehalt, den Gehalt an organischer Substanz und durch das Bodengefüge am nachhaltigsten beeinflusst, GILL (Kap. 2) 1967. Die Aussagen über den Einfluß dieser Bodeneigenschaften auf sein mechanisches Verhalten hängen häufig sehr stark von der benutzten Untersuchungsmethode ab. Als Beispiel seien die Proctor-Kurven (behinderte Seitendehnung, Porenwasser kann nicht entweichen) in Abb. 2 angeführt, nach denen die Verdichtbarkeit in folgender Reihenfolge abnimmt:

Sand > Schluff > Ton > fetter Ton

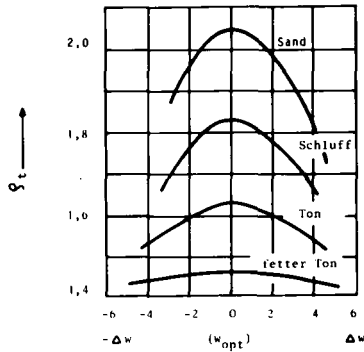


Abb. 2: Proctorkurven, symmetrisch zur Achse $w = w_{opt}$ aufgetragen (n. KEZDI 1970)

IV

Die Verdichtungskurven (behinderte Seitendehnung, Porenwasser kann entweichen) in Abb. 3 weisen den Tonboden gegenüber dem Schluffboden als empfindlicher aus, da er bei gleichem Belastungsintervall - auch bei etwa gleicher Ausgangsporenziffer - eine geringere Endporenziffer (bei 8 daN/cm²) annimmt. Die Kornpackung und die Ausfüllung der Zwischenräume ist dafür maßgebend, SOMMER 1975.

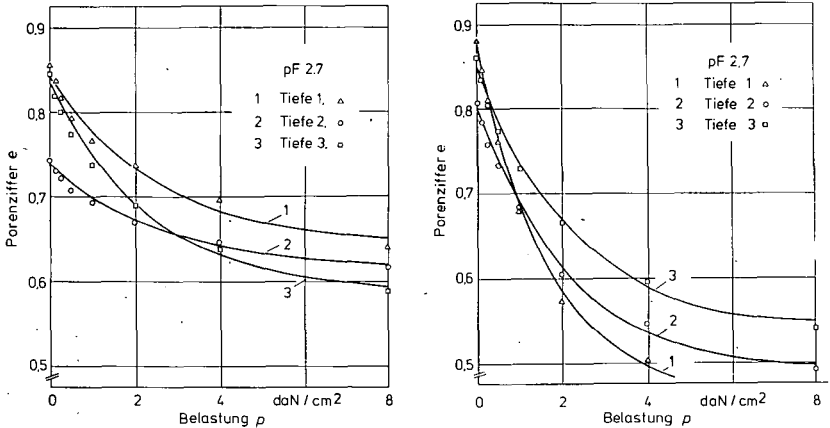


Abb. 3: Verdichtungskurven für einen Schluffboden (links) und einen Tonboden (rechts)

Ein Beispiel für den Einfluß des Bodengefüges und des Anteils der organischen Substanz zeigen die Scherdiagramme eines Humuspodsocks, Abb. 4

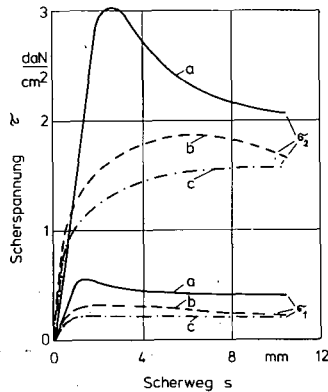


Abb. 4: Scherdiagramme eines Humuspodsocks

- a natürliche Lagerung
 - b gesiebt < 2 mm, 16,5 % organ. Substanz
 - c gesiebt < 2 mm, organ. Substanz zerstört
- $\sigma_1 = 0.19, \sigma_2 = 2.27 \text{ daN/cm}^2$

Aus den Scherdiagrammen bei verschiedenen Normalspannungen σ_1 erhält man die Scherfestigkeitsgeraden, Abb. 5. Das Bodengefüge und der Anteil an organischer Substanz beeinflussen die Kohäsion (τ_{\max} bei $\sigma = 0$) den Winkel der inneren Reibung (Anstieg der Geraden).

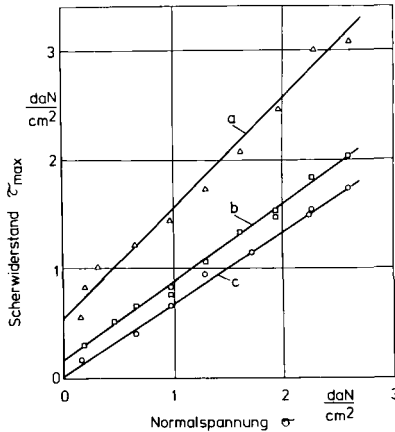


Abb. 5: Scherfestigkeit eines Humuspodsols
a, b, c, sh. Abb. 4

Böden mit fast gleicher Kornverteilungskurve zeigen nach der Untersuchung einer Reihe physikalischer Kennwerte, die die Befahrbarkeit nach 2.1 beeinflussen, häufig unterschiedliche Eigenschaften. Der Nachweis des Einflusses verschiedener Tonminerale gelang u. a. für folgende Kennwerte:

Kennwert	Tonmineral Montmorillonit-Illit-Kaolinit	Lit.-Quelle
Drucksetzung	←———— 1)	SKEMPTON 1944
Winkel der inneren Reibung	————→	GIBSON 1953
Kohäsion	←————	SKEMPTON 1953
Verformungsarbeit	————→	ENDELL 1934

1) nimmt in Pfeilrichtung zu

Aus landwirtschaftlicher Sicht werden durch das Befahren eines Bodens folgende, das Pflanzenwachstum besonders beeinflussende, Parameter betroffen:

- Bodendichte
- Bodenfeuchte
- Luftkapazität (Poren $> 30 \mu$)

CZERATZKI 1978 hat nach einer Literaturdurchsicht folgende Richtwerte für 'optimales Pflanzenwachstum' zusammengestellt, Tab. 1.

Bodenart	Dichte des trockenen Bodens ρ_s [g/cm ³]	Bezugsgröße: Gesamtvolumen		Bezugsgröße: Volumen d. Festsubstanz	
		Poren = anteil n [Vol %]	Luftkapazität bei 0,1 bar $\Delta \rho_L$ [Vol %]	Poren = ziffer e [1]	Anteil der Grobporen $\Delta \rho_{>30\mu}$ [1]
Sand	1,60	40	15	0,67	0,25
Lehm	1,45	45	10	0,82	0,18
Ton	1,20	47	12	0,89	0,23

Tab. 1: 'Optimale' Dichte bzw. Porenanteil oder Porenziffer (n, CZERATZKI)

Auch wenn solche Angaben nur statische Mittelwerte sind, können sie bei vorsichtiger Anwendung zur Beurteilung der Befahrbarkeit eines Bodens herangezogen werden. Ein praktikables Verfahren für die Bestimmung der Befahrbarkeit ist daraus jedoch bislang nicht abgeleitet worden.

Wie sich die Luftkapazität - bestimmt über den Anteil der Poren $> 30 \mu$ - nach mehrmaligem Befahren eines Schluffbodens ändert, geht aus Abb. 6 hervor. In Abhängigkeit von der Porenziffer e nimmt das Volumen der Poren $> 30 \mu$ bezogen auf das Volumen der Bodenfestsubstanz von 0x, über 2x bis 6x befahren immer weniger ab, erreicht aber in diesem Beispiel Grenzwerte, die nach Tab. 1 das Pflanzenwachstum negativ beeinflussen müssen.

VII

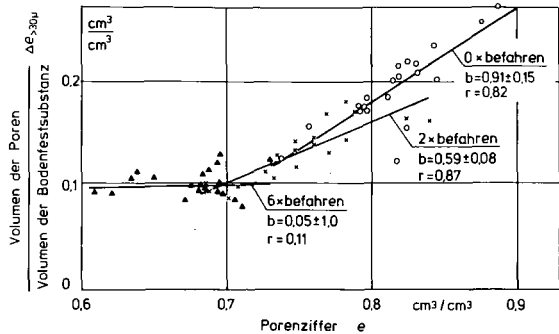


Abb. 6: Anteil der Grobporen als Funktion der Porenziffer bei 'Multi-Pass' (Bod. 74/76, Tiefe 40 - 45 cm, Regressionskoeffizient b , Korrelationskoeffizient r)

2.3 Ansätze für die Klassifizierung eines Bodens hinsichtlich seiner Befahrbarkeit

Am weitesten ist wohl das WES (Waterways Experiment Station)-Verfahren für militärische Zwecke, sh. GILL 1967, und das Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Waldböden nach SCHOLLANDER 1972 entwickelt worden. Ersteres beruht auf der Ermittlung eines 'Vehicle Cone Index', der Bodeneigenschaften über den 'Cone Index' und Fahrzeugeigenschaften über den 'Mobility Index' berücksichtigt, Abb. 7. Grundlage der Druckfestigkeitsbestimmung *in situ* bei dem zweiten Verfahren ist nicht der Eindringwiderstand eines Penetrometers, sondern der Plattendruckversuch.

CI - Wert (Cone Index) des Bodens

CI₁₀₀ - Wert nach proctorähnlicher Verdichtung

RI - Wert (Remolding Index) $RI = \frac{CI_{100}}{CI}$

RCI - Wert (Rating Cone Index) $RCI = CI \cdot RI$
(wenn $RI < 1$)

MI - Wert (Mobility Index) des Fahrzeugs

RCI - Wert
MI - Wert } VCI - Wert (Vehicle Cone Index)
aus Diagrammen: stellt den geringstmöglichen RCI eines Bodens dar, auf dem ein bestimmtes Fahrzeug 50 mal fahren kann, ohne stecken zu bleiben

Abb. 7: Befahrbarkeit nach dem WES-Verfahren

Auch wenn z. B. das Penetrometer in letzter Zeit für landwirtschaftlich orientierte Untersuchungen verstärkt eingesetzt wird, BECHER 1978, SOMMER, ZIEMER 1978, STAFFORD (Postersession ISTRO 1979), SOANE 1973, und damit Ansätze für die Klassifizierung eines Bodens hinsichtlich seiner Befahrbarkeit durchaus gegeben erscheinen, so bedarf es doch weiterer Anstrengungen, bis ein praktikables Verfahren zur Verfügung stehen kann.

3. Zur Bearbeitbarkeit

3.1 Zielsetzung und für die Bearbeitbarkeit wichtige physikalische Bodeneigenschaften

Die Frage der Bearbeitbarkeit eines Bodens ist eng mit der Zielsetzung verbunden, die der Bodenbearbeitung zugrundeliegt, Abb. 8. Die Tiefbearbeitung, die Grundbodenbearbeitung und die Saatbettbereitung setzen unterschiedliche Geräte voraus und stellen nicht zuletzt damit auch unterschiedliche Anforderungen an die Bearbeitbarkeit eines Bodens.

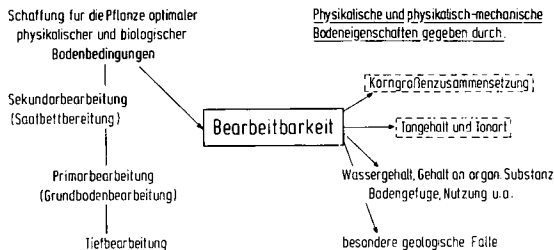


Abb. 8: Zielsetzung und wichtige physikalische Bodeneigenschaften für die Bearbeitbarkeit

Als wichtige Kenngrößen zur Charakterisierung des Verhaltens eines Bodens gegenüber äußeren Beanspruchungen (Bearbeiten) können gelten:

- Scherfestigkeit, PLOETTNER 1973
- Schneidewiderstand, KRAUSE 1973
- Druckfestigkeit, PERDOK 1976
- Aggregatstabilität, CZERATZKI 1958
- Zugwiderstand, FLORESCH, CANARACHE 1973
- äußere Reibung und Adhäsion, BACHTIN 1974
- Atterberggrenzen, RENGER 1974
- Strukturzerfallsneigung, SCHAFFER 1960

Der Einfluß der Ionen in der Bodenlösung auf die genannten mechanischen Eigenschaften von Tonböden ist darin begründet, daß sich je nach Art und Mengenanteilen der vorhandenen Ionen verschiedene Koagulationsgrade, also auch unterschiedliche Strukturen, verschiedenen große Verformungswiderstände und verschiedenen große Saugspannungen ergeben, PREGL u. a. 1969. So ist der Einfluß verschiedener Tonminerale u. a. auf folgende Kennwerte nachgewiesen worden:

Kennwert	Tonmineral		Lit.-Quelle
	Montmorillonit	Illit-Kaolinit	
Ausrollgrenze	←————— ¹⁾ —————→		WHITE 1955
Fließgrenze	←—————		GRIM 1950
Plastizitätszahl	←—————		WHITE 1947
	Kationenbelag $\frac{\text{Na Ca Al}}{\quad \quad \quad}$ →		
Quellung	←—————		SAMUELS 1950
	Kationenbelag $\frac{\text{Na Ca Al}}{\quad \quad \quad}$ →		
Drucksetzung	←—————		SKEMPTON 1944
Penetrometerwiderstand	←—————		GRIM 1959

1) nimmt in Pfeilrichtung zu

3.2 Ansätze zur Bestimmung der Bearbeitbarkeit landwirtschaftlich genutzter Böden

Aus der Literatur sind eine Reihe von Ansätzen zur Bestimmung der Bearbeitbarkeit bekannt. Sie werden im folgenden zusammengestellt und mit einigen Stichworten skizziert.

- Korrelationsmatrix mit 15 physikalisch-mechanischen Eigenschaften von 58 landwirtschaftlich genutzten Böden Schottlands (SOANE 1972)

Atterberggrenzen und Gehalt an organischer Substanz werden für die mechanischen Eigenschaften besonders herausgestellt; Angaben zielen mehr auf die Charakterisierung von Böden und weniger auf deren Bearbeitbarkeit ab.

- Charakterisierung der Bearbeitbarkeit eines Bodens nach dem Zugkraftbedarf (FLÖRESCU, CANARACHE 1973)

Entwurf eines Atlas "Zugkraftbedarf" für Rumänien aufgrund des parabolischen Zusammenhangs zwischen Zugkraftbedarf und Bodenfeuchte

- optimaler Zeitpunkt für die Tiefenlockerung tonreicher Böden (RENGER 1974).

Ziele der Tiefenlockerung: schnellere Abfuhr der Niederschläge, Verbesserung des Lufthaushalts, Erhöhung des Speichervermögens für pflanzenverfügbares Wasser und Verbesserung der Durchwurzelbarkeit können nur erreicht werden, wenn der Wassergehalt des Bodens zum Zeitpunkt der Lockerung unterhalb der Ausrollgrenze liegt.

- 'Upper-Tillage-Limit' für die Bearbeitbarkeit eines Bodens im Frühjahr (KOENIGS 1976)

Eine modellmäßige Untersuchung von Bodenserien mit ansteigendem Wassergehalt läßt einen kritischen Wassergehalt für die Bearbeitbarkeit des Bodens bestimmen.

- Krümelung und Zusammendrückbarkeit als Grundlage eines Tests für die Bearbeitbarkeit von Böden (PERDOK 1976)

Vergleich der Ergebnisse von Modelluntersuchungen mit Bodenaggregaten (2,8 - 4 mm) und der unter Freilandbedingungen ermittelten Bearbeitbarkeit von Böden.

- Aggregatgrößenverteilung als Maß für die Bearbeitbarkeit von Böden

- photographisch (SPOOR 1976)

- Siebanalyse, Standardmethode, deren Erfolg von der Beantwortung der Frage nach der 'optimalen' Krümelung abhängt (SOEHNE 1954, KNITTEL 1976, ZACH 1977)

4. Schlußbemerkung

Auch wenn bei den angesprochenen Ansätzen entscheidende physikalisch-mechanische Bodeneigenschaften - oder auch eine Auswahl solcher - berücksichtigt wurden, so ist es bislang noch nicht möglich, praktikable Verfahren zur eindeutigen Definition und zur leichten Bestimmung der Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit für die landwirtschaftliche Praxis bereitzustellen. Der erfolgversprechendste Ansatz für die Befahrbarkeit scheint in dem WES-Verfahren zu liegen. Für die Bearbeitbarkeit jedoch fehlt eine Gesamtanalyse. Aber selbst wenn es gelänge, eine Theorie, einen empirischen Ansatz oder gar ein Gerät zu entwickeln, das die Befahrbarkeit bzw. die Bearbeitbarkeit eines landwirtschaftlich genutzten Bodens bestimmen ließe, dann bliebe immer noch das Problem zu lösen, das z. B. nach wie vor bei der Beurteilung von Bodenverdichtungen besteht. Die statischen Werte für das 'optimale Porenvolumen' sind zwar gute Richtwerte, können aber allein, ohne Einbeziehung des Bodenwasserhaushalts und ohne Berücksichtigung der wachstumsabhängigen Anforderungen der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand kaum das Problem lösen helfen. Und dies eingedenk der eingangs dargestellten Tatsache, daß neben Bodeneigenschaften die Spannungseinleitung und die Zielsetzung einen maßgeblichen Einfluß haben.

Für die Bodenphysik und die Bodenmechanik - und für Sonderfälle auch die Mineralogie - stellt sich deshalb die Aufgabe, Kennwerte für die Befahrbarkeit und die Bearbeitbarkeit zu erarbeiten, die praktische Fragestellungen lösen helfen.

Literaturhinweise

- BACHTIN, P.U.; PRIDOROGIN, V.K.: Gleitreibung und tangentielle Kräfte der Klebrigkeit des Bodens an Stahl aus-gelaugter Böden und typischer Schwarzerden.- Pochvedenie (1974), Nr. 5, S. 102-110.
- BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.J.; VANDEN BERG, G.E.: Compaction of agricultural soils.- ASAE Monograph 1971.
- BECHER, H.H.: Saugspannungsabhängiger Eindringwiderstand von Modellböden.- Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 25, S. 35-36 (1977).

- CZERATZKI, W.: Zur Problematik der Krümelstabilitätsmessung.- Tag.-Ber. der dtsh. Akad. Landw. Wiss. Berlin (1958), S. 85-97.
- CZERATZKI, W.: Bodenphysikalische Kenngrößen im Ackerbau.- In Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau. Herausg. Ruhr-Stickstoff AG Bochum, 8. Aufl. 1978.
- ENDELL, K. u.a. zitiert in: GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 61).
- FLORESCU, C.I.; CANARACHE, A.: Draft requirement and soil properties as related to planning of mechanised agriculture.- Proc. 6. Intern. Confer. on Soil Tillage (ISTRO), Wageningen 1973.
- GIBSON, R.E.: zitiert in GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 235).
- GRIM, R.E.: zitiert in: GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 209).
- GRIM, R.E.; BRADLEY, W. F.; VARGAS, M.: zitiert in GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S.263).
- GILL, W.R.; VANDEN BERG, G.E.: Soil dynamics in tillage and traction.- Agricultural Research Service No. 316 (1967).
- KEZDI, A.: Handbuch der Bodenmechanik.- VEB Verlag Berlin (1970), S. 259.
- KNITTEL, H.; STANZEL, H.: Untersuchungen des Bodengefüges mit Penetrometer und Rammsonde.- Z. Acker- und Pflanzenbau 142 (1976), S. 181-193.
- KOENIGS, F.F.R.: Determination of the upper tillage limit for spring tillage by a lab test.- Proc. 7. Conf. on Soil, Tillage (ISTRO), Uppsala 1976.
- KRAUSE, R.: Der Verdrängungsvorgang um Untergrundwerkzeuge in trockenem Sand.- Diss. TU Braunschweig 1973.
- PERDOK, U.D.: Bewerkbaarheid en berijdbaarheid van grond.- Landbouwkundig Tijdschrift/pt nr. 6 juni 1976.
- PLÖTNER, K.: Zur Ermittlung wichtiger Bodenparameter in der Landtechnik.- Wiss. Ztschr. Uni Rostock. 22. Jhrg. 1973, H. 1, S. 55-66.

- PREGL, O.; GHOBADIAN, A.: Der Einfluß des Ionenbelages auf die mechanischen Eigenschaften eines Tonbodens.- Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung 10. Jhr. (1969), S. 33-46.
- RENGER, M.: Bodenkundliche Kriterien für die Auswahl von Verfahren der Tiefenbearbeitung auf meliorationsbedürftigen Standorten.- Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 24 (1974).
- SAMUELS, S.G.: zitiert in GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 242).
- SCHAFFER, G.: Die Strukturzerfallsneigung der Ackerkrume in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Bodens.- Arbeiten d. Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim, Bd. 6, 1961.
- SCHOLLANDER, J.: Druckfestigkeit von Waldböden.- Proc. 4th Int. Conf. ISTVS, Stockholm 1972.
- SKEMPTON, A.W.: zitiert in GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 254).
- SKEMPTON, A.W.: zitiert in GRIM, R.E.: S. 234.
- SÖHNE, W.: Die Kraftübertragung zwischen Schlepperreifen und Ackerboden.- Grdlgn. d. Landtechn H. 3, 1952.
- SÖHNE, W.: Die Verformbarkeit des Ackerbodens.- Grdlgn. d. Landtechn H. 3, 1952.
- SÖHNE, W.: Krümel- und Schollensiebanalyse als ein Mittel zur Beurteilung der Güte der Bodenbearbeitung.- Landt. Forschung 4 (1954), S. 88-98.
- SOANE, B.D.: Techniques for measuring changes in the packing state and cone resistance of soil after the passage of wheels and tracks.- Journal of Soil Science, Vol. 24, No. 3 (1973), S. 311-323.
- SOANE, B.D.: The characterization of some scottish arable topsoils by agricultural and engineering methods.- Journal of Soil Science Vol. 23, No. 1 (1972), S. 93-104.
- SOMMER, C.; ZIEMER, K.: Zur meßtechnischen Erfassung des Eindringwiderstandes von Böden.- Meßtechn. Briefe 14 (1978), H. 3, S. 58-61.

- SOMMER, C.: Über die Verdichtungsempfindlichkeit von Ackerböden.- Grdlg. d. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 1 S. 14-23.
- SPOOR, G.; GODWIN, R.J.; TAYLOR, J.C.: Evaluation of physical properties of cultivated layers for the comparison of different tillage treatments.- Proc. Int. Soil Tillage Conf. (ISTRO), Uppsala 1976.
- STAFFORD, J.V.: The bush recording soil penetrometer.- Manufactured by: Findlay, Irvine LTD. Bog Road, Penicuik, Scotland.
- STEINKAMPF, H.; ZACH, M.: Leistungsbedarf und Krümelungseffekt von gezogenen und zapfwellengetriebenen Geräten zur Saatbettbereitung.- Landbauf. Völkenrode 24 (1974), H. 1, S. 55-62.
- WHITE, W.A.: zitiert in GRIM, R.E.: Applied clay mineralogy.- McGraw-Hill 1962 (S. 215).
- ZACH, M.: Untersuchungen zum Einsatz verschiedener Bestellkombinationen für die Getreidebestellung.- KTBL-Schrift 212 (1977), S. 77-87.

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Referate aus dem Arbeitskreis

Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten

Zur Situation der Bodennutzung und deren Beurteilungsmethodik
in einem Trinkwassertalsperrengebiet

von
Fittschen, A. *

1. Einleitung

Im Arbeitskreis "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft werden derzeit "Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren" erarbeitet. Dabei geht es in besonderem Maße darum, die Bedeutung des Bodenabtrags und der Abschwemmung genügend zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sollte ein Teil der vom Arbeitskreis erstellten Beurteilungskriterien auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in einem konkreten Beispielgebiet angewendet werden (vgl. FITTSCHEN, 1979). Ausgewählt wurden dafür Teile des Wasserschutzgebietes der am Abfall der Hochflächen des Bergischen Landes zur Siegburger Bucht gelegenen Wahnbachtalsperre. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf den Kriterien Hangneigung und Bodenart.

Das Einzugsgebiet der Wahnbachtalsperre (zur Gebietsbeschreibung siehe HÜTTER, SUCH, BERNHARDT, 1975) ist geprägt durch einen für den Einzugsbereich von Trinkwassertalsperren außergewöhnlich hohen Anteil an Siedlungen und landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Bei der Betrachtung von Tabelle 1 (siehe Anhang) wird deutlich, mit welchem Anteil die landwirtschaftliche Nutzung und speziell auch die Ackernutzung im Einzugsbereich einer Trinkwassertalsperre vertreten sein kann.

* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstr. 3, D-6300 Gießen

Da man an solch einer vorgegebenen Struktur zumindest kurzfristig nur wenig ändern kann und auch massive Einschränkungen angesichts der Entschädigungspflicht kaum finanzierbar wären, sind eine intensive Beschäftigung mit Beurteilungskriterien und Empfehlungen für landwirtschaftlich genutzte Flächen und auf den Einzelfall abgestellte, also möglichst wenig pauschale Regelungen gerechtfertigt und geboten.

Für die Untersuchungen wurden Teilgebiete im unmittelbaren Einzugsbereich des Stausees gewählt, dessen Nutzungsartenverteilung in Tabelle 1 in Klammern aufgeführt ist. Schwach geneigte landwirtschaftlich genutzte Hochflächen - voneinander durch Siefen (regionale Bezeichnung für tief eingeschnittene wasserführende Geländekerben) getrennt - prägen das Gelände (SUCH, 1974). Die Neigung nimmt zu den Siefen und zur Talsperre hin stark zu. Die Talsperre ist von einem Waldstreifen unterschiedlicher Breite umgeben, die Siefen sind - zumindest in ihren mittleren und unteren Abschnitten - ebenfalls bewaldet.

An den Rändern der Siefen und der Talsperre treten die Tonschiefer- und Grauwackeschichten des Grundgebirges zutage. Ansonsten ist das Untersuchungsgebiet von Löß bzw. Lößlehmen überdeckt, kleinere Flächen von Sandlöß und Flugdecksand.

2. Kartenauswertung und Geländearbeit unter Heranziehung der Beurteilungskriterien

Die geländemorphologische Abgrenzung mit Hilfe der Hangneigungsstufen ließ sich an Hand der Deutschen Grundkarte mit Höhenlinien (1:5000) vornehmen. Die Bodenart, die Nutzung und der neueste Stand des Verlaufs von Wegen und Feldgrenzen wurden im Gelände aufgenommen (Juli 1978). Als Unterlage dienen die Neuordnungskarte der Flurbereinigung Inger (1:5000), die an die Stelle der durch die Flurbereinigung veralteten Grundkarten trat, und die Grundkarten des von dieser Neuordnungskarte nicht erfaßten Gebietes.

Die Einteilung der Flächen in die Bodenartengruppen A,B,C,D (vgl. Tabelle 2, Anhang) zur Beurteilung der Abtragsanfälligkeit blieb auf die vorrangig interessierenden Ackerflächen beschränkt. Für diese Ermittlung der Bodenartengruppen war die Bodenkarte auf der Grundlage der Reichsbodenschätzung nicht verwendbar, da ihr eine alte, nicht übertragbare Einteilung der Bodenarten zugrunde liegt. Die Kartierung der Nutzungsarten, die an sich nicht zu den "Beurteilungskriterien..." des Arbeitskreises gehören, erschien für die genaue Kenntnis des Gebiets hinsichtlich Erosions- und Abschwemmungsgefährdung erforderlich. Darüber-

hinaus wäre sie für eine Formulierung von Empfehlungen ohnehin Voraussetzung - allerdings unter Einbeziehung der gesamten Fruchtfolge.

Die ermittelten Nutzungsarten und Bodenartengruppen wurden auf eine Karte (1:5000) übertragen, deren Grundstrukturen (Umrisse der Talsperre und der Ortschaften, Wege und Bachläufe) den Blättern der Grundkarte und der Flurbereinigungsneuordnungskarte unter Zuhilfenahme von Luftbildern und den Beobachtungen im Gelände entnommen wurden. Auf einer zweiten entsprechenden Karte sind die im Gebiet auftretenden Neigungsstufen in den Abstufungen 0-3 %, 3-9 %, 9-17 %, 17-36 %, >36 % dargestellt, so daß bei gleichzeitiger Betrachtung beider Karten Bodenart, Nutzung und Hangneigungsstufen miteinander in Verbindung gebracht werden können.

3. Diskussion der Ergebnisse

3.1. Bodenarten

Insgesamt ist ein starkes Vorherrschen der Bodenartengruppe A festzustellen, C tritt im gesamten Gebiet nicht auf. Ähnliches dürfte wohl für zahlreiche landwirtschaftlich genutzte Standorte im Mittelgebirge zutreffen, was die im Wahnbachtalsperrengebiet gemachten Feststellungen in gewisser Hinsicht übertragbar macht.

Im Bereich der Lößüberdeckung (auf den Hochflächen) findet sich fast ausschließlich die Bodenartengruppe A (1U,s1U,uL,suL), zu einem erheblich geringeren Anteil B, letzteres aufgrund eines gegenüber A erhöhten Tongehaltes (utL); in der nach Westen vorgelagerten Flugsandzone vorherrschend D (1S,1̄S), teilweise - hier jedoch wegen einer im Vergleich zu D höheren Bindigkeit - auch B (sL,̄sL).

Auf den Karten der Reichsbodenschätzung weisen bis auf wenige Ausnahmen die in Frage kommenden Durchschnittsprofile am unteren Kartenrand die in den Beurteilungskriterien angegebene Mindestmächtigkeit bei den verschiedenen Hangneigungen (1 m bzw. 0,60 m) auf. Flachgründigere Böden scheinen im Untersuchungsgebiet nicht ackerbaulich genutzt zu werden.

Beim Kartieren wurden einige Beobachtungen gemacht, die für die Thematik von Bedeutung und daher in diesem Zusammenhang erwähnenswert sind:

So waren starke Verschlammungen der Bodenoberfläche, z.T. schwache Erosionserscheinungen auf Äckern festzustellen; Ablagerungen von Bodenmaterial und Fließspuren auf asphaltierten Wegen weisen auf Materialtransport auf in Fallrichtung verlaufenden Wegen, aber auch quer über parallel zu den Höhenlinien verlaufende Wege hin. Auch Grünlandflächen sind betroffen:

Auf Standweiden waren stellenweise starke Narbenver-

letzungen, z.T. deutliche Abrisse zu beobachten, besonders auf den den Siefen vorgelagerten Flächen, in die sich die Siefen rückwärts einschneiden.

3.2. Gefällestufen

Die Verteilung der Neigungsstufen wurde durch Abgreifen der Höhenlinien ermittelt. Die Auswertung veranschaulicht die in der Gebietsbeschreibung bereits angesprochenen Verhältnisse: Die Neigungsstufe 0-3 % ist auf kleine Flächen auf den Höhenrücken begrenzt. Daran schließt meist die Neigungsstufe 3-9 % an. Zum Waldgürtel hin treten vorrangig die Neigungsstufen 9-17 % und 17-36 % auf. Auf den den Siefen vorgelagerten Flächen ist ein starker kleinräumlicher Wechsel von Neigungsstufen zu beobachten, der die besondere Gefährdung dieser Flächen hinsichtlich Abtrag verdeutlicht.

Die Ermittlung der Hangneigung zwischen - wie mittlerweile im 2. und 3. Entwurf gefordert wird - abtrags- und abschwemmungsbehindernden Randgrenzen wäre allein aus Karten nicht möglich gewesen. Dazu wäre eine Zuhilfenahme von Luftbildern und eine Überprüfung der tatsächlichen Wirkung auf das Abtragsgeschehen von Wegen, Gräben, bewachsenen Randstreifen etc. im Gelände erforderlich gewesen.

Bei der von uns vorgenommenen Unterteilung des Untersuchungsgebietes nach Neigungsstufen zeigte sich, daß zusammenhängende Acker- oder Grünlandflächen teilweise in mehreren Neigungsstufen, z.B. 0-3 %, 3-9 %, 9-17 % liegen. Daraus ergibt sich, gerade auch in Anbetracht der im Gelände vorherrschenden konvexen Hangform, die Frage, ob ein einziger Mittelwert für die Neigung zwischen abtrags- und abschwemmungsbehindernden Randgrenzen für solche Flächen hinreichend repräsentativ ist, oder ob nicht flachere oder steilere Teilstücke getrennt beurteilt werden müßten.

Bei der Ermittlung von Randgrenzen muß auch berücksichtigt werden, daß Grünland zwar abtrags- aber nicht unbedingt auch abschwemmungsbehindernd wirkt. Die unterhalb von Ackerflächen und vielfach übergangslos an sie angrenzenden Grünlandstücke können daher nicht immer als Randstreifen angesehen werden.

Betrachtet man lediglich die hier untersuchten Kriterien "Hangneigungsstufe" und "Bodenartengruppe" unter der Annahme, daß sich durch die übrigen Kriterien keine Veränderungen ergeben, so zeigt sich folgendes für die Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzung im Wahnbachtalsperrengebiet:

Die Flächen mit den Bodenartengruppen A/B/D würden bis zur Neigung 9 % in die Bewertungsklassen "sehr günstig" und "günstig" eingestuft, in denen Ackerbau ohne größere Einschränkungen vertretbar ist; in die Bewertungsklasse "mittel", in der Ackerbau unter Genehmigungsvorbehalt möglich ist, würden Flächen mit

den Bodenartengruppen B/D und der Neigungsstufe 9-17 % eingeordnet. Dies würde nach den Empfehlungen des 2. Entwurfs bedeuten, daß die waldnahen Lagen größtenteils aus der ackerbaulichen Nutzung genommen werden müßten, da dort meist eine Neigung über 9 % und die Bodenartengruppe A vorliegt, und daß der Ackerbau auf die Höhenrücken begrenzt werden müßte.

4. Zusammenfassung

Abschließend seien nochmals einige wesentliche Erfahrungen, die sich aus der Arbeit im Wahnbachtalsperrengebiet ergeben, zusammengefaßt:

- Erforderliches Unterlagenmaterial sind die Grundkarte mit Höhenlinien (1:5000), neuester Grundriß, evtl. eine passende Ergänzung wie die Neuordnungskarte der Flurbereinigung, ferner Luftbilder, die eine vorläufige Ermittlung der Randgrenzen ermöglichen, die dann im Gelände näher zu überprüfen sind. Die Verwendung der Bodenkarten auf der Grundlage der Reichsbodenschätzung ist problematisch, da die Bodenarten dort nach einer alten, nicht übertragbaren Einteilung unterschieden werden und am unteren Kartenrand nur Durchschnittsprofile erläutert werden.

- Daraus ergab sich als notwendige Geländearbeit die bodenkundliche Kartierung im Maßstab 1:5000; die Geologische Karte 1:25 000 und die Bodenkarten auf der Grundlage der Reichsbodenschätzung ermöglichten eine Vororientierung.

-Hinsichtlich der Hangneigung zwischen abtrags- und abschwemmungsbehindernden Randgrenzen sollte darauf geachtet werden, daß der ermittelte Wert das gesamte Hangstück hinreichend charakterisiert.

5.Literatur

ARBEITSKREIS "BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND WASSERSCHONGEBIETEN" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft: Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren.

1. Entwurf (1977, unveröffentlicht)

2. Entwurf (1978, unveröffentlicht)

3. Entwurf (Bearbeitung: A.Fittschen, K.Mollenhauer und B.Wohlrab; 1979, unveröffentlicht)

FITTSCHEN, A. (1979): Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren - unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse im Wahnbachtalsperrengebiet, Diplomarbeit, Gießen, (unveröffentlicht)

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER I.V. (1978): Fachgruppe Wasserchemie, Phosphor - Wege und Verbleib in der BRD. Vom Wasser, Verlag Chemie, Weinheim.

HÖTTER, F.-G., SUCH, W., BERNHARDT, H. (1975): Umfassende Maßnahmen zur Sanierung und zum Schutz einer Trinkwassertalsperre. Wasserwirtschaft, 65. Jahrgang, H.5, Stuttgart.

SUCH, W. (1974): Vorausschauende Planung und Sicherstellung der Trinkwasserversorgung im Großsiedlungsraum Bonn-Siegburg. Brunnenbau-Bau von Wasserwerken-Rohrleitungsbau, 25. Jahrgang, H.6,7, Bonn.

Kartenmaterial:

AMT FOR FLURBEREINIGUNG UND SIEDLUNG IN SIEGBURG, Neuordnungskarte Flurbereinigung Inger 17621, Maßstab 1:5000, Stand 1.12.1975 (unveröffentlicht)

GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW, Geologische Karte, Blatt 5109 Lohmar, 1:25 000 1978; mit Erläuterungen

LANDESVERMESSUNGSAMT NRW, Deutsche Grundkarte mit Höhenlinien, 1:5000 die Blätter 2590/5634, 2592/5634, 2590/5632, 2592/5632, 2590/5630, 2592/5630, 2588/5632, 2588/5630.

Bodenkarten auf der Grundlage der Reichsbodenschätzung, 1:5000 2590/5634, 2592/5634, 2590/5632, 2592/5632, 2590/5630, 2592/5630

6. Anhang

Tabelle 1: Prozentualer Anteil der verschiedenen Flächennutzungsarten im Einzugsgebiet der Wahnbachtalsperre an der Gesamtfläche; in Klammern die Verhältnisse des gesamten "unteren" Einzugsgebiets (unmittelbarer Einzugsbereich der Talsperre) (aus GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER I.V. 1978)

Wald	25,6 %	(30,8 %)
Wasser	2,9 %	(10,2 %)
Dorffläche	4,0 %	(5,7 %)
Wege/Straßen	4,7 %	(4,0 %)
Acker	17,7 %	(14,5 %)
Grünland	45,1 %	(34,7 %)

Tabelle 2: Bodenartengruppen (nach der vom AK "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" hinsichtlich Erodierbarkeit vorgenommenen Einteilung)

A	U, 1' U bis \bar{U} , sU, s1U, uL, u1S, suL, uS;
B	utL, t' -tL, stL, s- \bar{s} L, 1- $\bar{1}$ S (>30 % U);
C	T, s' - \bar{s} T, 1T;
D	S, t' - \bar{t} S, 1' - $\bar{1}$ S (<30 % U).

Zur Verwendung der Universal Soil Loss Equation
im Rahmen von Beurteilungskriterien und Empfehlungen
zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwasser-
talsperren

von

K. Mollenhauer *

Dem Arbeitskreis "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (zur Tätigkeit des Arbeitskreises vgl. u.a.: DGB/WOHLRAB, 1976; WOHLRAB, 1977; MOLLENHAUER, 1977; WOHLRAB und MOLLENHAUER, 1976; MOLLENHAUER, 1978) liegt derzeit der 3. Entwurf der "Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren" (Bearb.: FITTSCHEN, MOLLENHAUER und WOHLRAB, 1979) vor. Für diesen Entwurf und für die darin erstellten Beurteilungskriterien und Empfehlungen wurde, aufgrund von Anregungen aus dem Arbeitskreis, die Universal Soil Loss Equation (Bodenabtragsgleichung; siehe: WISCHMEIER and SMITH, 1978; vgl. auch: WEGENER und SCHMIDT, 1978) herangezogen. Mit ihr sollten diejenigen Faktoren, die den Bodenabtrag und die Abschwemmung bewirken und die daher in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren angesichts der Gefahr der Verschmutzung von Oberflächengewässern von besonderer Bedeutung sind, besser erfaßt und Konsequenzen für die Bodennutzung genauer quantifiziert werden.

Die Bodenabtragsgleichung lautet:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Darin stellt A den jährlichen Bodenabtrag von einer Fläche dar, R die erosive Wirkung der Niederschlagsverhältnisse; K beinhaltet eine Reihe von Bodeneigenschaften (Bodenart, Gehalt an organischer Substanz, Aggregatgröße und Durchlässigkeit) und gibt die Erodierbarkeit des Bodens an, L und S sind geländemorphologische Faktoren (Hanglänge und Hangneigung), C steht für die Bewirtschaftungs-

* Institut für Mikrobiologie und Landeskultur der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstr. 3, D-6300 Gießen; privat: Graveneggstraße 6, D-6400 Fulda.

weise (Nutzungsart, Fruchtfolge, Bodenbedeckung) und P für evtl. angewendete Bodenschutzmaßnahmen (z.B. Konturbodenbearbeitung).

Die Anwendung der Bodenabtragungsgleichung im 3. Entwurf zu den Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren erfolgte auf die Weise, daß die Gleichung nach der Hanglänge L hin aufgelöst wurde, L also mit Hilfe der übrigen Parameter errechnet wurde.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang, daß die Bodenabtragungsgleichung nicht unter mitteleuropäischen Verhältnissen entstanden ist. Vor ihrer uneingeschränkten Anwendung muß sie erst noch auf hiesige Verhältnisse hin geeicht werden. Arbeiten dazu sind im Gange (vgl.: BECHER, SCHÄFER, SCHWERTMANN, WITTMANN und SCHMIDT, 1977; BADER, SCHWERTMANN und ROGLER, 1979). Eine vorläufige Anwendung im Rahmen der Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren erscheint aber dennoch möglich, zumal dabei ohnehin stark pauschalierend vorgegangen wird.

Zur Quantifizierung der für die Errechnung von L notwendigen übrigen Parameter der Gleichung war eine Reihe von Schätzungen und Annahmen zu machen, die teilweise in Anlehnung an WEGENER und SCHMIDT (1978) vorgenommen wurden. Für A wurde ein jährlicher Bodenabtrag von (geschätzt) 5 t je ha und Jahr als unter dem Gesichtspunkt des Trinkwasserschutzes maximal zulässig unterstellt; für K wurden für 4 verschiedene Gruppen von Bodenarten jeweils mittlere Verhältnisse für die in den K-Faktor eingehenden Parameter angenommen (auf deren Basis dann die K-Werte selbst einem von WEGENER und SCHMIDT, 1978, in Anlehnung an WISCHMEIER erstellten Nomogramm entnommen werden konnten); bei der Hangneigung S mußte unberücksichtigt bleiben, daß in der Mehrzahl mehr oder weniger unregelmäßige Hangformen, also wechselnde Neigungswinkel im Verlauf eines Hanges, vorliegen. Der Niederschlagsfaktor R wurde für die Verhältnisse in der Bundesrepublik, und zwar speziell für als Standorte für Trinkwassertalsperren typischerweise in Frage kommende Mittelgebirgslagen und deren Niederschlagscharakteristika geschätzt. Für die Faktoren C und P (Bewirtschaftungsweise und Bodenschutz) wurden Bedingungen angenommen, wie sie sich aus einigen landwirtschaftlichen Nutzungsarten unterschiedlichen Intensitätsgrades ergeben; in Anlehnung an WEGENER und SCHMIDT (1978) wurden C·P-Werte geschätzt.

Das Ergebnis der Berechnungen waren Hanglängen, hier in der Gestalt von maximal zulässigen Hanglängen, für verschiedene Hangneigungen, Nutzungsarten und Bodenartengruppen.

Aus der Bodenabtragungsgleichung wurde auf diese Weise eine Hanglängenempfehlung für die landwirtschaftliche Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren abgeleitet, die neben die übrigen Empfehlungen zur Bodennutzung tritt. Der Empfehlung zur Hanglänge soll - nach den Vorstellungen des vorliegenden 3. Entwurfes - durch entsprechenden Flächenzuschnitt (insbesondere bei Flurbereinigungsmaßnahmen) bzw. durch Erhaltung oder Anlage von abtrags- und abschwemmungsbehindernden Randgrenzen Rechnung getragen werden.

Der 3. Entwurf der Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren stellt diese Art der Anwendung der Bodenabtragungsgleichung und die dabei ermittelten Ergebnisse zunächst zur Diskussion. Zu erörtern und ggf. zu verändern sind besonders noch die Annahmen und Schätzungen, die für die einzelnen Parameter der Gleichung gemacht wurden. Darüber hinaus stellt sich vor allem die Frage, ob mit dem Bodenabtrag (insbesondere mit dem im Entwurf - zur Anwendung in der Gleichung - als unter den Gesichtspunkten des Gewässerschutzes maximal zulässig betrachteten Abtrag A) indirekt auch die für die Situation in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren ebenfalls bedeutsame Abschwemmung gelöster Stoffe ausreichend berücksichtigt und charakterisiert wurde, in welchem Maße dies auf der Basis der Bodenabtragungsgleichung möglich ist, ob also die Hanglängenempfehlungen auch im Hinblick auf die Abschwemmung gelöster Stoffe vertretbar sind. Gesondert zu betrachten ist bei der Bewertung von Bodenabtrag und Abschwemmung allerdings auch die Frage, ob und in welcher Höhe dadurch ausgelöste Stofffrachten auch bis in die zu schützenden Gewässer gelangen, was von der Lage der von Bodenabtrag und Abschwemmung gelöster Stoffe betroffenen Nutzflächen zum Gewässersystem abhängt.

Literatur

- BADER, S., U.SCHWERTMANN und H.ROGLER, 1979: Erosivitätswerte (R-Werte n. Wischmeier) verschiedener Gebiete Bayerns. - Vortrag auf der Jahrestagung 1979 der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Freiburg.
- BECHER, H.H., R.SCHAFER, U.SCHWERTMANN, O.WITTMANN und F.SCHMIDT, 1977: Bestimmung der Erosionsanfälligkeit nach Wischmeier an hopfengenutzten Böden in der Hallertau. - Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 18.Jg., Seite 339 - 349, Berlin und Hamburg.
- DGB/WOHLRAB, B., 1976: Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Zone II von Schutzgebieten für Grundwasser. - Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 17.Jg., Seite 221 - 228, Berlin und Hamburg.
- FITTSCHEN, A., K.MOLLENHAUER und B.WOHLRAB (Bearbeitung), 1979: Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren. - 3.Entwurf (Juni 1979) des Arbeitskreises

- "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. - Nicht veröffentlicht.
- MOLLENHAUER, K., 1977: Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten. 2. Teil: Bericht über die fünfte Sitzung des Arbeitskreises "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 6. September 1977 in Bremen. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 25, H. II, Seite 656 - 659, Göttingen.
- MOLLENHAUER, K., 1978: Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren. - Bericht über die sechste Sitzung des Arbeitskreises "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft am 2. Oktober 1978 in Gießen. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 27, Seite 163 - 167, Göttingen.
- WOHLRAB, B., 1977: Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten. 1. Teil: Kurzbericht über die bisherige Tätigkeit des Arbeitskreises "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 25, H. II, Seite 651 - 656, Göttingen.
- WOHLRAB, B. u. K.MOLLENHAUER., 1976: Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten für Grundwasser und Trinkwassertalsperren. Bericht über die vierte Sitzung des Arbeitskreises "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" am 4. Oktober 1976 in Göttingen. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Bd. 23, Seite 215 - 220, Göttingen.
- WEGENER, H.-R. und F.SCHMIDT, 1978: Bodenerosion durch Wasser. - Entwurf für die 3. Auflage der Kartieranleitung der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik Deutschland und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover). - Noch nicht veröffentlicht.
- WISCHMEIER, W.H. and D.D.SMITH, 1978: Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. - U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No. 537, Washington D.C.
-

MITTEILUNGEN
DER
DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

NACHRICHTEN

Gemeinsame Tagung von KOMMISSION V
zusammen mit dem
ARBEITSKREIS für GEOMORPHOLOGIE
18. bis 20. September 1978
Andernach

In Band 27 der "Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch."
waren die Kurzmitteilungen dieser Tagung erschienen.

Jetzt liegen die vollständigen Vorträge in Form
eines Tagungsbandes "Relief und Boden"

als Supplementband 33 der Zeitschrift für Geomorphologie
vor.

Preis DM 102,-- (Symposiumspreis; Ladenpreis 136,--)

Verl. Gebr. Borntraeger, Verlagsbuchhandlung

Johannesstr. 3 A, D-7000 STUTTGART

Kommission I, II und III
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

Hannover/Kiel/Stuttgart, im Oktober 1979

- Die Vorsitzenden -

A n k ü n d i g u n g

Am 25. und 26. September 1980 veranstalten die Kommissionen I, II und III der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Hannover eine gemeinsame Sitzung zum Thema:

"Dynamik gelöster Stoffe in Böden".

Innerhalb dieser Sitzung sollen folgende Schwerpunkte im Vordergrund stehen:

1. Transport von gelösten Stoffen
2. Physiko-chemische Wechselwirkungen (Ad-/Desorption, Lösung/Fällung)
3. Sorptions- und Desorptionsprozesse von Organismen, Enzymen und Bioziden an Phasengrenzflächen

Wir bitten die Interessenten, bis zum 1.5.1980 auf dem nachfolgenden Vordruck Nachricht zu geben, ob Sie an der Tagung teilnehmen.

Referate zu dem aufgeführten Thema bitten wir ebenfalls bis zum 1.5.1980 bei den jeweiligen Kommissionsvorsitzenden anzumelden.

Als Zeitspanne (einschließlich Diskussion) für ein Referat sind 20 Minuten vorgesehen.

Für Kommission I
gez. M.Renger

Für Kommission II
gez. G.Brümmer

Für Kommission III
gez. J.C.G.Ottow

Kommission I:
Dr.M.Renger
Nds.Landesamt für
Bodenforschung
Postfach 510153
3000 Hannover 51

Kommission II:
Prof.Dr.G.Brümmer
Inst. für Pflanzen-
ernährung u.Bodenkunde
Olshausenstr.40/60
2300 Kiel

Kommission III:
Prof.Dr.J.C.G.Ottow
Institut für Bodenkunde
und Standortslehre
Emil-Wolffstr.27
7000 Stuttgart 70

Betr.: Sitzung der Kommissionen I, II und III der DBG in Hannover am 25./26.9.1980

Ich beabsichtige an der Sitzung teilzunehmen: ja / nein

Ich beabsichtige ein Referat mit folgendem Thema zu halten
(2 Exemplare der Kurzfassung sind beigefügt):

(Angaben bitte in Blockschrift oder Maschinenschrift)

Name und Anschrift:

ARBEITSKREIS "BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND WASSERSCHONGEBIETEN" DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT.

Bericht über die siebente Sitzung des Arbeitskreises am 13. Sept. 1979 in Freiburg.

Am 13. Sept. 1979 fand in Freiburg die siebente Sitzung des Arbeitskreises "Bodennutzung in Wasserschutz- und Wasserschongebieten" der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft statt. Dem Arbeitskreis war dazu der 3. Entwurf (Juni 1979) der "Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren" zugegangen.

Gemäß der Tagesordnung wurde zunächst über die Anwendung von Beurteilungskriterien in einem Trinkwassertalsperrengebiet berichtet (vgl. Beitrag von A. Fittschen in den Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Referateband zur Jahrestagung 1979 der DBG), die noch auf der Basis des 1. Entwurfes vorgenommen worden war.

Der nun vorgelegte 3. Entwurf unterscheidet sich in Form und Inhalt deutlich von den beiden Vorläufern. Insbesondere wurde zur Berücksichtigung des in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren besonders zu beachtenden Bodenabtrags die Universal Soil Loss Equation (Bodenabtragungsgleichung; nach Wischmeier u.a.) herangezogen, über deren Verwendbarkeit in diesem Rahmen vor dem Arbeitskreis berichtet wurde (vgl. Beitrag von K. Mollenhauer in den Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Referateband zur Jahrestagung 1979 der DBG). In der Form unterscheidet sich der 3. Entwurf von seinen Vorläufern u.a. dadurch, daß auf die bislang übliche Übersichtstafel zugunsten von Tabellen und textlichen Ausführungen verzichtet wurde.

Die Diskussion des Arbeitskreises befaßte sich u.a. mit

- der Verwendbarkeit von Unterlagen der Bodenschätzung für die Beurteilung von Standorten in Schutzgebieten
- der Brauchbarkeit der im 3. Entwurf vorgenommenen Hanglängenempfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis und die daraus entstehenden Konsequenzen bei Flurbereinigungsverfahren

- Einzelfragen hinsichtlich der Bewertung der verschiedenen Faktoren der Bodenabtragungsgleichung
 - dem Grundkonzept für die Wahl der Nutzungsarten in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren
 - Problemen der Umsetzung der Empfehlungen in Schutzgebietsverordnungen und der Möglichkeit, zur Erleichterung dieser Umsetzung von vorneherein flächenmäßig zusammenhängende Bewertungsklassen zu kartieren
 - der Möglichkeit einer Heranziehung der Empfehlungen zur Bodennutzung bereits zur Planung einer Trinkwassertalsperre
- und weiteren Einzelfragen.

Außerdem wurden die laufenden Arbeiten des DVGW zu Schutzgebietsfragen erörtert und auf die Notwendigkeit weiterer Zusammenarbeit hingewiesen.

Die weitere Tätigkeit des Arbeitskreises wird sich so gestalten, daß eine kleine Gruppe von Arbeitskreismitgliedern nun die Endfassung der Beurteilungskriterien und Empfehlungen zur Bodennutzung in Schutzgebieten von Trinkwassertalsperren erstellt und bis zum Herbst 1980 vorlegt. Es wird daher um baldige Stellungnahmen zum 3. Entwurf, spätestens bis zum 31. Januar 1980, an das Institut für Mikrobiologie und Landeskultur der Justus-Liebig-Universität Gießen, Senckenbergstr. 3, 6300 Gießen (Prof. Dr. B. Wohlrab) gebeten.

K. Mollenhauer, Gießen

Betr.: Aufnahme einer Mitteilung über eine neue Ausgabe der
"Bibliographie paläopedologischer Arbeiten"

Neue Bibliographie paläopedologischer Arbeiten der Kommission für
Paläopedologie der INQUA.

Im Auftrage der Kommission für Paläopedologie der INQUA gab A.RUELLAN unter Mithilfe zahlreicher Kollegen vieler Länder bzw. Erdteilregionen 1974 eine Bibliographie paläopedologischer Arbeiten heraus, die ca. 2300 Titel der meisten bis 1971/72 erschienenen paläopedologischen Publikationen enthält und damit eine wertvolle Sammlung für jeden, der sich mit paläopedologischen Problemen beschäftigt, darstellt. Eine Fortsetzung dieser Bibliographie wird - wiederum im Auftrag der Kommission für Paläopedologie der INQUA und in Zusammenarbeit von Fachkollegen zahlreicher Länder bzw. Ländergruppen - von A.BRONGER herausgegeben und soll ein möglichst vollständiges Verzeichnis paläopedologischer Arbeiten der Jahre 1972 bis 1978/79 enthalten. Für die Bundesrepublik Deutschland wird der Herausgeber selbst die Liste - gegliedert nach Teildisziplinen der Paläopedologie - der Publikationen zusammenstellen. Da die endgültige Fassung der Bibliographie möglichst Ende 1980 vorliegen soll, werden alle Kollegen, die in dem genannten Zeitraum paläopedologische Arbeiten publiziert haben, gebeten, eine Liste ihrer Arbeiten bis spätestens 31.Mai 1980 an:

Dr.A.Bronger, Geographisches Institut der Universität Kiel
Olshausenstr. 40-60, 2300 Kiel
zu senden:

Die paläopedologischen Arbeiten im 2. Teil der Bibliographie sollen nach Stichworten gegliedert werden wie Sandböden, Lössböden, Organische Böden, Alluviale Böden, Bodensedimente; Stratigraphie von Paläoböden; Untersuchungsmethoden von Paläoböden: Chemische Untersuchungsmethoden, Physikalische Untersuchungsmethoden, (Ton) Mineralogische Untersuchungsmethoden, Mikromorphologische Untersuchungsmethoden; Datierung von Paläoböden: ¹⁴C-Methode, andere Isotopen-Methoden, paläomagnetische Methoden, andere Datierungsmethoden; Chronologie von Böden, Paläoböden des Holozäns, pleistozäne Böden, tertiäre Böden, prätertiäre Böden; Fauna in Paläoböden (insbes. Mammalia, Mollusca), Flora von Paläoböden (insbes. Palynologie); Paläoböden und Frühgeschichte der Menschen und seiner Kulturen; Böden und Paläoklima; Nomenklatur und Klassifikation von Paläoböden. - Für Vorschläge weiterer Stichworte ist der Herausgeber dankbar. Die zugehörnden Stichworte sollten nach Möglichkeit bei jeder Arbeit genannt werden.

Auf der Freiburger Tagung wurden die Mitglieder um Anregungen zu künftigen Tagungen gebeten. Ich rege die Einrichtung von poster-sessions an.

Begründung: Die Zahl von drei, teils vier Parallelsitzungen führt den einzelnen Tagungsteilnehmer entweder zur Beschränkung auf die Sitzung jeweils nur einer Kommission: das wird auf den Kommissionstagungen geboten; oder man muß beim Wechsel von Sitzung zu Sitzung zahlreiche Kollisionen in Kauf nehmen. Durch Übernahme von ein Drittel bis zwei Drittel aller Themen aus den Vortragssitzungen in poster-Sitzungen könnte man Parallelsitzungen teilweise oder ganz vermeiden. Die Erfahrungen, die ich bei der Bodenzoologen-Tagung 76 in Uppsala gemacht habe, zeigen, daß das geht.

Ausführungsvorschlag: Experimentelle Themen über begrenzte Einzelfragen werden im poster angeboten; die Überblicksarbeiten, diskutierende Themen usw. werden mündlich vorgetragen. Die poster bekommen einen oder mehrere Räume, wo sie während der ganzen Vortragstagung hängen, und in Abschnitten zu ca. fünfzehn bis dreißig Themen eine eigene Präsentationszeit (in der der Autor verpflichtet ist, bei seinen posters zu sein; außerdem kann er Sprechzeiten oder Tagungsadresse angeben).

Vorbereitung: Zur nächsten Tagung (1981) werden poster-Präsentationen nur angeregt. Mit der Einladung werden Empfehlungen zur Präsentation (wie sind Kurztexte, Fotos, Graphiken zu machen und einzusetzen? Angaben zu Platz und Zeit, die zur Verfügung sein werden,) verschickt. Zur Tagung Uppsala 76 bekamen alle Teilnehmer mit einem ersten Rundbrief einen zweiseitigen Sonderdruck einer Zeitschriftenpublikation, in dem dargestellt wurde, was eine poster-session ist. Zur übernächsten Tagung kann dann eine poster-Präsentation statt eines mündlichen Vortrages mehr oder weniger bindend nahegelegt werden.

Viele Themen lassen sich mit posters sehr gut oder besser vorführen als in einem Referat und so gut oder besser diskutieren. Nur wo die Diskussion (der Spezialisten) unbedingt von breitem Interesse ist, ist poster-Vorführung nicht angebracht.

Betr.: Farbdias von Tagungsprofilen der DBG - Tagung in Freiburg

Für die Bodenprofile der Tagungsexkursionen A und B und Profil C 1 sind reproduzierbare Farbdias angefertigt worden.

Diese Dias können zum Einzelpreis von DM 1.50 ohne Rahmen frei Haus abgegeben werden. Bei Bestellung der ganzen Serie können wir 10% Rabatt geben.

Von jedem Profil sind vorhanden:

- Landschaftsaufnahme bzw. Übersichtsaufnahme des Standorts
- Bodenprofil mit Ausschilderung wie bei den Exkursionen
- Bodenprofil ohne Horizontbezeichnung nur mit Meterstab

Für die Exkursion B sind außerdem zwei Übersichtsaufnahmen über das engere Exkursionsgebiet erhältlich (a) vom Zweiseenblick talabwärts, b) vom Drehkopf talauf zum Zweiseenblick).

Bestellungen bitten wir zu richten an:

Institut für Bodenkunde und Wald-
ernährungslehre der Universität
z. Hdn. Herrn Dr. Fr. Hädrich
Bertoldstr. 17

D 7800 Freiburg

Bestellungen sollten bis spätestens 1. April 1980 eingehen. Bitte geben Sie deutlich an, welche Aufnahme, bzw. welche Profile Sie wünschen.