

Z 81/8

# MITTEILUNGEN

der

## DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

Bd. 8

1968

# MITTEILUNGEN

der

## DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

REFERATE DER JAHRESTAGUNG 1967  
der DBG in MAINZ  
(3.9.1967 - 9.9.1967)

Bd. 8

1968

# INHALT

Seite

## I. Einleitung

1. Scheffer, F.: Auszug aus der Begrüßungsansprache 1

## II. Überblick

2. Mückenhausen, E.: Die Aufgaben der Bodenkunde in Gegenwart und Zukunft 5

## III. Regionale Bodenkunde des Tagungsraumes in Gegenwart und Zukunft

3. Zakosck, H.: Standortkartierungen und -unter-  
suchungen im hessischen Weinbau 9

## IV. Gefügekunde, Bodenphysik, Pedohydrologie Bodenkultur

4. Bailly, F.: Gefügekundliche Auswertung der  
Wasserleitfähigkeit bei verschiede-  
nen Bodentypen aus Löß 11
5. Benecke, P.: Ergebnisse von Durchlässigkeits-  
messungen 21
6. Hase, D.: Wasserbilanzen von Lößdecken als  
Funktion unterschiedlicher Grund-  
wasserstände(Raum Niedersachsen) 25
7. Hartge, K.H.: Die Ermittlung der Wasserspannungs-  
kurve aus der Körnungssummenkurve  
und dem Gesamtporenvolumen 29

		<u>Seite</u>	
8.	Kramer, W.:	Untersuchungen über die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit von Bodenproben natürlicher Lagerung mit der Doppelmembran-Druckapparatur	33
9.	Lorenz, J.:	Die Messung der Wärmeleitfähigkeit des Bodens als Mittel kontinuierlicher Bodenfeuchtemessung	43
10.	Paschai, A.:	Verockerung oder künstliche Raseneisenbildung und deren Ermittlung durch das Redoxpotential	47
11.	Paschai, A.:	Das Redoxpotential als ein Verfahren zur Ermittlung des Dränbedarfs in Schleswig-Holstein	57
12.	Renger, M.:	Verbesserung des Wasser- und Lufthaushalts von Parabraunerden aus Löß durch Tiefumbruch	67
13.	Schendel, U.:	Über einige Probleme des Bodenwasserhaushaltes aufgrund von hydrologischen Untersuchungen in einem kleinen Niederschlagsgebiet der Altmoräne Schleswig-Holsteins	69
14.	Schmid, G.:	Entstehung, Eigenschaften und Ertragsleistung anthropogener Kalkparabraunerden aus Löß	85
15.	Schulte-Karring, H.:	Technische Voraussetzungen für eine wirksame Untergrundlockerung	99
16.	Sunkel, R.:	Auswirkungen eines Grabenausbaues auf die landwirtschaftliche Nutzung	113
 V. Humus, Kompost			
17.	Bosse, J.:	Strukturverbesserung und Bodenerhaltung durch Müllkomposteinsatz in erosionsgefährdeten Hanglagen des Weinbaus	119

		<u>Seite</u>
18.	Haider, K. und Martin, J.P.:	Die Bildung von Huminsäuren durch Bodenmikroorganismen 133
19.	Kick, H.:	Die Bedeutung der städtischen Siedlungsabfälle für die Humus- versorgung der Böden 125
20.	Salfeld, J. Chr.:	Untersuchungen zur Klassifizierung der organischen Bodensubstanz 133
21.	Söchtig, H.:	Zur Charakterisierung von Humus- stoffen durch Gelfiltration 137

## VI. Bodenpflanze

22.	Finck, A.:	Grenzwerte der Mineralstoffgehalte in Pflanzen und ihre Auswertung für den Düngerbedarf 141
23.	Friedrichsen, J. und Finck, A.:	Untersuchungen zur Toxizität von Aluminium und Mangan auf sauren Böden 143
24.	Harms, H.:	Über die quantitative Bestimmung der Aufnahme von Phenolcarbonsäuren durch die Wurzeln von Weizenkeim- pflanzen 159
25.	Jungk, A.:	Einfluß von pH-Wert und Stickstoff- angebot auf das Ionengleichgewicht in der Pflanze 163
26.	Schlichting, E.:	Die Beeinflussung der Nährstoffauf- nahme durch Huminstoffe 165
27.	Wilms, W.:	Einfluß von Antibiotika und Amino- säure - Antimetaboliten auf Wachstum und Manganaufnahme von Haferkeim- pflanzen 169

## VII. Boden-Tonmineralogie

Seite.

28. Gebhardt, H.: Flockungsverhalten definierter Tonsuspensionen aus Lagerstätten und Böden - I. Flockungsschwellenwerte und Flockungsvolumen 177
29. Kalk, E.: Mineralogische Untersuchungen an Nordsee-Schlickten 187
30. Papenfuß, K.H.: Der Mg-Haushalt tonreicher Böden in Abhängigkeit von Tonmineralbestand und Umwandlung 191
31. Schwertmann, U.: Der Einfluß von organischer Substanz auf die Bildung von Eisenoxiden 193
32. Tributh, H.: Die Bedeutung der erweiterten Fraktionierung bei tonmineralogischen Untersuchungen 195

## VIII. Bodengenetik und -systematik

33. Baden, W.: Stellung von Moor und Anmoor in einer Systematik der Böden Deutschlands und ihre zeitgemäße Nutzung 201
34. Banse, H.J. und Graff, O.: Tonverlagerung in den Unterboden entlang von Regenwurmröhren 223
35. Benzler, J.H.: Anthropogene Oberflächenformen in der Marsch 227
36. Blum, W.E.: Bodenentwicklung auf Karbonatgesteinen im südlichen Oberrheingraben - Ein Beitrag zur Systematik der Rendzina-Reihe 229
37. Blume, H.P.: Zum Mechanismus der Marmorierung, Konkretionsbildung und Naßbleichung in Stauwasserböden 241

		<u>Seite</u>	
38.	Schroeder, D. und Brümmer, G.:	Zur Genese und Klassifizierung der Marschen	243
39.	Brümmer, G. und Schroeder, D.:	Prozesse der Marsch-Genese	247
40.	Gracanin, Z.:	Höhenlage, Aufbau und bodensyste- matische Stellung der Streifenböden in den Allgäuer und Lechtaler Alpen und Engadiner Dolomiten	251
41.	Lüders, R. :	Entstehung und Eigenschaften von Bö- den in Hanglagen - ein Beispiel aus der Kreide-Löß-Landschaft des nördli- chen Harzvorlandes	273
42.	Roeschmann, G. :	Besonderheiten der Ton- und Eisenver- lagerung in Parabraunerden aus Sandlöß südwestlich von Bremen	277
43.	Wichtmann, H. :	Beobachtungen zum Karbonathaushalt von Lehm Böden und ihre Bedeutung für Fragen der Bodensystematik	283

## IX. Bodengeographie und -kartierung

44.	Akalan, J.:	Erosion in der Türkei und die Probleme des Bodenschutzes	291
45.	Ganssen, R.:	Schema der Böden und Bodennutzung in typischen Bildungsräumen der Erde	293
46.	Schaffer, G.:	Der Beitrag der Bodenkunde für die natur- räumliche Gliederung der Landschaft	299

## X. Paleopedologie und Pedochronologie

Seite

47. Diez, Th.: Die spät- und postglaziale Bodenentwicklung auf hochkalkhaltigen Flußsedimenten des Alpenvorlandes (dargestellt an einer Bodenentwicklungsreihe der Lechterrassen) 307

## XI. Ausbildung, Beratung

48. Schwerdtfeger, G.: Bodenkunde an Ingenieurschulen 311

## Auszug aus der Begrüßungsansprache

Scheffer, F. +)

Nach der Begrüßung der zahlreich erschienenen Gäste, so des Herrn Altrektors und des Herrn Kanzlers der Johannes-Gutenberg-Universität, des Herrn Staatssekretärs Dr. Broicher, des Oberbürgermeisters der Stadt Mainz und insbesondere des Herrn Direktors des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz Dr. Schottler mit den Mitarbeitern Oberlandesgeologe Dr. Stöhr und Dr. Becker, der Dozenten Dr. Zakosek und Dr. Beckel und der Gäste aus dem Ausland wandte sich Prof. Scheffer den Aufgaben der Bodenkundlichen Gesellschaft auf der Tagung in Mainz zu.

"Als wir vor 2 Jahren den nächsten Tagungsort wählten, hatten wir - geleitet von wissenschaftlichen Überlegungen - das Land Rheinland-Pfalz vorgeschlagen, da dieses Land in bodenkundlicher und geologischer ebenso wie in landwirtschaftlicher Hinsicht eine Fülle von diskussionsfähigen Problemen bietet. Mit besonderer Freude darf ich der Versammlung mitteilen, daß unsere Anfrage an die zuständigen Regierungsstellen mit so großem Entgegenkommen beantwortet wurde, wie ich es in meiner langjährigen Tätigkeit nicht überall beobachten konnte.

So erfreulich die Tatsache auch ist, daß die Bodenkunde an den deutschen Hochschulen immer mehr Beachtung gefunden hat, so weiß ich, daß noch viele Wünsche unerfüllt geblieben sind. Vor allem sollte es unsere Aufgabe sein, das Forschungsgebiet weiter auszubauen und noch stärker zu verankern und auch an allen Regierungsstellen Anerkennung zu erwirken. Wenn im letzten Jahr der Wunsch unseren Mitgliedern vorgetragen wurde, für die Bodenkunde eine ähnlich geschlossene vertiefte Ausbildung wie in benachbarten Fächern, z.B. der Geologie, mit einem Abschlußexamen einzuführen, so sollte auch dieser Vorschlag dem Ausbau und der Sicherung unserer Forschung dienen, er war aber auch aus dem Gefühl der tiefen Verantwortung für unseren Nachwuchs gestellt worden, allen denjenigen zur Seite zu stehen, die sich unserer Wissenschaft voll und ganz widmen wollen, zumal im In- und Ausland in den letzten Jahren die Nachfrage nach Bodenkundlern immer lebhafter geworden ist. Wir sind z.B. heute nicht in der Lage, Bodenkundler dem Ausland in geeigneter Zahl zur Übernahme von Entwicklungsaufgaben zur Verfü-

---

+ ) Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

gung zu stellen. Erfreulicherweise habe ich vor kurzer Zeit erfahren, daß die Universität Hamburg sich zur Zeit um die Besetzung eines neu gegründeten Lehrstuhls für Bodenkunde bemüht. Die hochverehrten Kollegen der hiesigen Universität werden verstehen, daß auch wir das Interesse der Naturwissenschaftlichen Fakultät in Mainz um die bodenkundliche Forschung mit größter Dankbarkeit verfolgen und daher gern allen Förderern unserer Wissenschaft den verbindlichsten Dank aussprechen.

Auf der letzten Tagung in Aachen war ein zentrales Thema - nämlich "Böden mit Tonverlagerung" - in den Mittelpunkt aller Ausführungen auf der Vortrags- tagung wie auch auf den Exkursionen gestellt worden. Es handelt sich dabei um ein weltweites Problem, mit dem sich viele Forscher der ganzen Welt seitdem intensiver befaßt haben, und das in der Grenzstadt Aachen daher das besondere Interesse der benachbarten Länder Niederlande, Belgien, Luxemburg und Frank- reich fand. Die damals gehaltenen Vorträge sind inzwischen in den "Mitteilungen der DBG" Band 4 erschienen.

Auf der diesjährigen Tagung in Mainz haben wir die 7 Kommissionen gebeten, über neuere Forschungsergebnisse auf den verschiedensten Gebieten berichten zu lassen, die wir - so hoffen wir - auf der folgenden Tagung in einem neuen Schwerpunkt zusammenfassen werden. Beachtliche Fortschritte sind in den letz- ten Jahren wohl vor allem dadurch erzielt worden, daß alle Arbeitsgebiete den Weg gegangen sind, aus dem Stadium der beschreibenden Wissenschaft heraus- zutreten, auf gesicherter Grundlage die kausalen Zusammenhänge über Entste- hung, Entwicklung und Weiterentwicklung des wandelbaren dynamischen Systems Boden zu erforschen und auf diesen Erkenntnissen aufbauend die Bodentypen ihrer Dynamik entsprechend klarer zu erfassen und einzuordnen. In diesem Sinne sind die in Europa entwickelten russischen, französischen und deutschen Boden-Klassi- fikationen, so insbesondere die Systeme von KUBIENA und MÜCKENHAUSEN auf- gebaut und ständig weiter als genetische natürliche Systeme mit eingehender Ber- rücksichtigung der entwicklungs-geschichtlichen Zusammenhänge entwickelt wor- den. Die neuerdings von den USA vorgeschlagene Bodenklassifikation stellt die morphologischen Gesichtspunkte sehr stark in den Vordergrund, so daß wir wohl alle fühlen, daß die Differenzen in den Systemen, schon dadurch bedingt, daß die Ausgangskonzeptionen unterschiedlich sind, sehr groß sind. Dennoch glaube ich, daß beide Richtungen zu einer Weiterentwicklung der Bodensystematik für die internationale Zusammenarbeit führen können, auch wenn uns der amerika- nische Vorschlag in vielem noch gar nicht behagen will.

Die viele Jahrzehnte vernachlässigten bodenphysikalischen Untersuchungen, die das Problem Wasser und Luft in den Mittelpunkt ihrer Betrachtungen stellen, sind in erfreulichem Umfange angelaufen und werden in einigen Jahren den Anspruch erheben können, einen größeren Umfang einer Vortragstagung einzunehmen. Vor allem aber hat die kolloidchemische und tonmineralogische Arbeitsrichtung unser bodenkundliches Denken in so glücklicher Weise beeinflusst und dabei auch neuerdings ausgezeichnete Ergebnisse gebracht. Das Wissen um das reversible Aufweitungs- und Kontraktions-Verhalten der Dreischicht-Mineraie, ihre Beeinflussung durch Ionen und organische Moleküle oder das biologisch anmutende Verhalten mancher Tonminerale unter dem Einfluß der verschiedensten ökologischen Faktoren - ich erinnere an die Kalium- und Ammonium-Fixierungsprozesse - hat nicht nur unsere Wissenschaft in einer so hervorragenden Weise bereichert, sondern wird sich gleich günstig auf Nachbargebiete auswirken, die sich mit dem System Boden/Pflanze und damit der Ernährung der Pflanze zu befassen haben. Ich bin daher Herrn Kollegen Prof. Dr. Weiss, München, besonders dankbar, daß er über ein tonmineralogisches Thema "Moderne Aspekte der Tonmineralogie aus der Sicht eines Chemikers" sprechen wird, der uns - so hoffe ich - neue Vorstellungen zu weiterer fruchtbarer Arbeit eröffnen wird.

Wenn für die Vortragstagung kein Schwerpunktthema gewählt wurde, so hat sich bei unseren Exkursionen insofern ein deutlicher Schwerpunkt herausgeschält, als insgesamt 3 Exkursionstage folgenden Fragen gewidmet sind: Es handelt sich um das bodenkartographisch und bodengenetisch wichtige Problem der geologisch und pedologisch mehrschichtigen Böden, die bodentypologisch in die Reihe der sauren Braunerden bis zur Parabraunerde einzuordnen sind und die in den deutschen Mittelgebirgsräumen - und das gilt besonders für unser diesjähriges Exkursionsgebiet - weite Verbreitung haben.

Die bodenmorphologisch so schwierige Deutung dieser Böden beruht in erster Linie auf dem Wechselspiel von Sedimentations- und Bodenbildungs-Prozessen des Spätglazials. Der Grund, weshalb dieses Exkursionsthema sich bei den Vorbereitungen dieser Tagung in Mainz so stark herausgeschält hat, ist einmal darin zu suchen, daß die Kartierungsarbeiten des gastgebenden Landesamtes und der benachbarten Landesämter in letzter Zeit besonders mit diesem Problem in Berührung gekommen sind - andererseits liegt der Grund aber besonders darin, daß wir hier in diesem Raum dem Phenomen der allerödzeitlichen Bimsablagerungen begegnen, das uns eine chronologische Ordnung der spätpleistozänen und jungholozänen Prozesse an der Erdoberfläche gestattet und damit in vieler Hin-

sicht eine Klärung der umrissenen Probleme zu bieten vermag (s. Exkursionsführer Jahrestagung Mainz 1967, Bd. 6 der DBG).

Im Zuge der rapiden Entwicklung auch unserer Wissenschaft ist natürlich unser Blick nach vorn gerichtet, und oft ist man zu wenig geneigt, sich der Wurzeln zu erinnern, denen der fruchttragende Baum seine Früchte verdankt oder zurückschauend die historische Entwicklung unseres Wissenszweiges zu rekapitulieren. Ich habe in meiner Eigenschaft als Präsident dieser Gesellschaft es immer für notwendig gehalten, in der einleitenden Begrüßungsrede das Verdienst derjenigen Männer würdigend in die Erinnerung zu rufen, die durch ihre Leistungen das Ansehen der bodenkundlichen und der uns nahestehenden Forschungszweige gehoben haben.

In diesem Jahr gestatten Sie mir, einige Worte an einen lebenden, zwar entpflichteten, aber desto weiterhin sehr aktiven Kollegen zu richten. Es handelt sich um den Kollegen Prof. KUBIENA, dem wir vor kurzem zum 70. Geburtstag die herzlichsten Glückwünsche aussprechen konnten. Seine ausgezeichneten Veröffentlichungen in Zeitschriften und Büchern sind in die Weltliteratur eingegangen und haben Anerkennung gefunden. Auf dem Gebiete der Mikromorphologie, der mikroskopischen Biologie und mit der Dünnschliff-Technik, die uns ein Hineinschauen in den natürlich gelagerten Boden ermöglicht, hat er eine Entwicklung angebahnt, die uns eine klarere Vorstellung vom Wesen des Bodens und der ablaufenden Stoffwechsel-Vorgänge gewinnen lassen. Immer wieder hat er verstanden, die Jugend für unsere Wissenschaft zu begeistern und zugleich durch seine Tätigkeit im Ausland eine internationale Verständigungsebene vorbereitet. Die Erforschung des Bodens wurde zur mächtigen Leidenschaft, die ihm auch heute in den älteren Lebensjahren noch keine Ruhe gönnt, sondern ihn weiterhin auf Forschungsreisen zwingt. Ich begnüge mich hier mit diesen wenigen Worten der Anerkennung und des Dankes an einen Forscher, den die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft mit Stolz zu ihrem Ehrenmitglied zählen darf.

Möge auch diese Tagung den einzelnen mitstreitenden Forscher im Kampf um die Wahrheit und um neue Erkenntnisse mit gleicher Leidenschaft erfüllen und ihn die hohen Aufgaben fühlen lassen, die die Menschheit in der Welt an ihn stellt."

## Die Aufgaben der Bodenkunde in Gegenwart und Zukunft

E. MÜCKENHAUSEN, Bonn +)

Die Bodenkunde als junge Wissenschaft vermag kaum dem schnellen Entwicklungsfortschritt der übrigen Naturwissenschaften zu folgen. Das liegt vor allem in dem vielgestaltigen Forschungsobjekt selbst begründet, d.h. es gibt eine unübersehbare Zahl von Boden-Individuen mit verschiedenen Eigenschaften. Das Ziel muß sein, wenigstens die verbreitetsten Boden-Individuen im Hinblick auf Aufbau, Entstehung, Eigenschaften und Verbreitung zu erforschen, um daraus ihre Behandlung als Kulturboden, nötigenfalls ihre Verbesserung sowie ihre Nutzung abzuleiten. Aus dieser Zielsetzung ergeben sich zur Zeit für unser Land folgende Aufgaben.

1. Eine Bodenkartierung i.M. 1 : 25 000 nur von ausgewählten Gebieten zwecks Erforschung der Bodengesellschaften in den Bodenprovinzen, d.h. in den bodenkundlichen Landschaften. Für die ganze Fläche sollte man eine Kartierung i.M. 1 : 50 000 anstreben. Eine großmaßstäbliche Bodenkarte i.M. 1 : 5 000 von der landwirtschaftlich genutzten Fläche kann man mit Hilfe der Bodenschätzungsergebnisse erarbeiten. Die Forstwirtschaft benötigt besondere großmaßstäbliche Karten.
2. Zweckgerichtete Untersuchungen des Bodens im Felde, teilweise auch zweckgerichtete Kartierungen, und zwar für die Flurbereinigung, hierbei insbesondere für die Bodenmelioration, ferner für den Wein- und Obstbau, für die Landesplanung und anderes mehr.
3. Spezielle Untersuchungen für die Melioration der Tonböden. Das ist eine

---

+ ) Institut für Bodenkunde, Bonn, Nußallee 13

besonders dringliche Forschungsaufgabe, weil die ackerbauliche Nutzung dieser Böden durch die Maschinenanwendung schwieriger wird.

4. Spezielle Untersuchungen im Zusammenhang mit der Strohdüngung, mit der Anwendung von Herbiziden und Insektiziden, womit teilweise gleichzeitig eine Einschränkung der Bodenbearbeitung verbunden ist, ferner im Zusammenhang mit der starken Bodenpressung durch schwere Schlepper und Maschinen und schließlich im Zusammenhang mit der Anlage von Feldversuchen.
5. Ausbau, aber gleichzeitig auch Begrenzung der Bodensystematik.
6. Anpassung der chemischen Analysen-Methoden an die verschiedenen Böden bzw. Bodentypen und Ausschöpfung der Fortschritte der Chemie.
7. Ausweitung bodenphysikalischer Untersuchungen zur Charakterisierung der Böden bzw. Bodentypen, besonders ihres Wasser- und Lufthaushaltes.
8. Förderung der Forschungsarbeiten auf dem Gebiete der Humuschemie und der Tonmineralogie des Bodens.
9. Stärkerer Einsatz von Isotopen in der bodenkundlichen Forschung.
10. Ausweitung der bodenbiologischen Forschungsarbeit. Daran sollen sich mehr Institute beteiligen als bisher, wobei eine Arbeitsteilung sinnvoll wäre.
11. Arbeiten mit bodengenetischen Modellen, und zwar sowohl mit Bodenprofilen als auch mit Gesteinsmaterial.
12. Planmäßiger Einsatz von Großgeräten, d.h. nach Möglichkeit eine Verteilung der kostspieligen Geräte auf die vorhandenen Institute und Konzentration der entsprechenden Forschungsarbeiten, für welche diese Geräte notwendig sind.
13. Vermittlung etwa des gleichen bodenkundlichen Vorlesungsstoffes an die Studenten, um den Hochschulwechsel zu erleichtern und durch die gleichmäßige Ausbildung eine bessere fachliche Verständigung im Berufsleben zu gewährleisten. Besonderer Wert soll auf die Bodenbeurteilung gelegt werden

unter stärkerer Betonung der Grundlagen der Bodenkunde, nämlich Chemie, Geologie, Mineralogie, Petrologie und Geomorphologie.

14. Aufnahme eines regelmäßigen Kontakt-Studiums für Akademiker, die schon längere Zeit die Hochschule verlassen haben und die Bodenkunde in ihrer Berufsarbeit gebrauchen, wie Acker- und Pflanzenbauer, Kulturbauingenieure, Forstwirte u.a.
15. Regelmäßige Information über die Fortschritte der bodenkundlichen Forschung. Die Fachleute sollten sich in diese Arbeit teilen, d.h. die Spezialisten sollten die Fortschritte auf ihrem Gebiet sorgsam sammeln und jährlich oder alle zwei Jahre über den Fortschritt zusammenhängend berichten. Damit würde den Bodenkundlern die Orientierung über den Forschungsstand des ganzen Fachgebietes wesentlich erleichtert, und der Einseitigkeit würde entgegengewirkt.



Standortkartierungen und -untersuchungen im  
hessischen Weinbau

Heinrich Zakosek <sup>+)</sup>

Vor der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft hat am 8. September 1950 der verstorbene Kollege H. -H. PINKOW bereits über "Zweck und Durchführung der Bodenkartierung in den Weinbaugebieten des Rheingaus" berichtet. Zu der Zeit waren gerade die Gemarkungen Johannisberg, Hattenheim und Eltville großmaßstäblich bodenkundlich aufgenommen und ausgewertet worden. Zwischenzeitlich hat sich die reine Bodenkartierung im Weinbau zu einer Standortkartierung weiterentwickelt und ein großer Teil der Untersuchungsergebnisse hat bereits in der Planung, Beratung und Praxis Eingang gefunden. Die erste zusammenfassende Herausgabe aller bisherigen Ermittlungen erfolgte kürzlich <sup>++)</sup>.

Untersucht wurde der "Standort im engeren Sinne". Die natürlichen Standortfaktoren, Boden, Geländeklima und Rebe wurden getrennt erfaßt ("Standortanalyse") und aus diesen Ermittlungen Wuchsräume in Ganzheitbetrachtung definiert und abgegrenzt. Aufgenommen wurden alle 34 weinbautreibenden Gemarkungen der hessischen Weinbaugebiete (Rheingau, Maingau und Bergstraße). Das untersuchte Gebiet umfaßt alle Weinbau- und die darin gelegenen übrigen LN-Flächen und ist ca. 10.000 ha groß.

Die Untersuchungen selbst fanden in 3 Phasen unter der Federführung des Hess. Landesamtes für Bodenforschung in enger Zusammenarbeit mit dem Hess. Ministerium für Landwirtschaft und Forsten, dem Deutschen Wetterdienst und der Hessischen Lehr- und Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Geisenheim/Rhein statt. Von 1947 bis 1958 erfolgten die großmaßstäblichen

- 
- <sup>+)</sup>  Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9-11  
<sup>++)</sup> ZAKOSEK, H., KREUTZ, W. & BAUER, W., BECKER, H. und SCHRÖDER, E.:  
Die Standortkartierung der hessischen Weinbaugebiete. - Abh. hess. L.-Amt  
Bodenforsch., 50, 82 S., 1 Atlas, Wiesbaden 1967.

bodenkundlichen Spezialaufnahmen. Im Anschluß daran (von 1957 bis 1959) wurden Adaptionsversuche auf allen ökologisch wichtigen Böden angelegt. Im gleichen Zeitraum erfolgte auch die großmaßstäbliche kleinklimatische Aufnahme.

Die Untersuchungsergebnisse ermöglichen zahlreiche wissenschaftliche Aussagen. Von praktischer Bedeutung sind die vorliegenden Kartenwerke vor allem für die Unterlagen- und Sortenauswahl, Einteilung und Vereinfachung der Weinbergslagen, Weinbergsbegrenzung, Flurbereinigung u.a.m. .

Einführung in die Exkursionsgebiete; hier: "Steppenböden und Parabraunerden in Rheinhessen, Rheingau und Taunus". <sup>1)</sup>

Von HEINRICH ZAKOSEK <sup>2)</sup>

An Hand von Diapositiven wurde ein kurzer Überblick über die Böden aus Löß im Exkursionsgebiet (Exkursion B=F) gegeben.

---

1) Zusammenfassende Darstellung: ZAKOSEK, H.: Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im nördlichen Oberrheintal. - Abh.hess.L.-Amt Bodenforsch., 37, 46 S., Wiesbaden 1962 und in Mitt. DBG, Bd.6, S.114-137, Göttingen 1967.

2) Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, Leberberg 9-11

## Gefügekundliche Auswertung der Wasserleitfähigkeit bei verschiedenen Bodentypen aus Löß

F. Bailly, Hannover <sup>†)</sup>

Gefügekundliche Untersuchungen mit Hilfe von Wasserleitfähigkeitsbestimmungen wurden an einer Reihe niedersächsischer Lößböden durchgeführt. Jedem Bodenhorizont wurden 15 Stechzylinderproben ( $\sim 350$  ccm Volumen) in senkrechter, z.T. auch in waagerechter Richtung entnommen, die nach Freikratzen der Oberfläche, Ringverdichtung und 12stündigem Überstauen mit Leitungswasser in einem Haubenpermeameter gemessen wurden (in Anlehnung an die Methoden von HARTGE, 1961 a, 1966).

Die gemessene Wasserleitfähigkeit (WL) (k-Werte in cm/sec) wurde als Häufigkeitsverteilung dargestellt und nach der von HARTGE (1961 b) veröffentlichten Methode rechnerisch in Beziehung gesetzt zum Gehalt des jeweiligen Horizontes an Poren  $> 50 \mu$ . Die Abweichung der k-Werte von den Werten, die sich aus der Regression zwischen k-Wert und Gehalt an Poren  $> 50 \mu$  bei Modellproben ergeben haben, ist ein Maß für die Kontinuität der die WL in erster Linie verursachenden sehr groben Poren. Bei mittlerer Porenkontinuität (PK) enthalten die Proben keine langgestreckten sehr groben Poren in Perkolationsrichtung.

Bereits früher (HARTGE u. BAILLY, 1967) wurde festgestellt, daß zwischen WL, PK und Pseudovergleyung eine Abhängigkeit besteht. Dieses Problem wurde in Zusammenhang mit der Frage, welche Rolle biologisch entstandene sehr grobe Poren dabei spielen, im folgenden näher untersucht.

Bild 1 zeigt aus einer Bodenreihe Parabraunerde - Pseudogley (Hildesheimer Wald) 5 Oberboden-Horizonte ( $A_1$  bis  $A_g$  in etwa 20 cm Tiefe). Die WL-Werte zeigen nur sehr unklare Tendenzen. Statistisch gesichert (X-Test)

---

<sup>†)</sup> Institut für Bodenkunde der Technischen Hochschule, Hannover, Herrenhäuser Straße 2

sind nur die Unterschiede zwischen dem ersten und dem dritten Horizont und zwischen dem dritten und dem fünften. Demgegenüber zeigt die Darstellung der PK, daß mit zunehmender Pseudovergleyung ( $A_1 \rightarrow A_g$ -Horizont) der Anteil der mittleren PK zuungunsten der größeren Kontinuitäten abnimmt. Die Prozesse, die langgestreckte sehr grobe Porenhervorrufen, scheinen demnach hier mit zunehmender Pseudovergleyung an Wirksamkeit abzunehmen.

In Bild 2 ist ein Pseudogley (Calenberger Land) dargestellt, dessen obere Horizonte (A- und B-Horizonte) versauert sind, während die tieferen Horizonte (lößkindelhaltige  $C_g$ -Horizonte) Carbonate enthalten. Die obersten Horizonte zeigen breite WL-Verteilungen, in denen die PK bis in den extrem großen Bereich reicht; bei den mittleren Horizonten liegt das Maximum im Bereich großer bis mittlerer PK, und in den tiefsten Horizonten treten spitzgipfelige Verteilungen im Bereich geringer WL und mittlerer PK auf.

Einen anderen Pseudogley (ebenfalls Calenberger Land) zeigt Bild 3. Dieser Boden ist im Gegensatz zum vorigen tiefgründig entkalkt und versauert. Die WL-Verteilungen sind in allen Horizontttiefen annähernd gleich; es sind bis dicht unter die Bodenoberfläche spitzgipfelige Verteilungen im Bereich rel. geringer WL und mittlerer PK.

Der auffallende Unterschied zwischen diesen beiden Pseudogleyen läßt sich so erklären; Im ersten Fall reichen die Wurzeln der Waldbäume bis in den carbonathaltigen Unterboden; die daraus resultierende Anlieferung relativ nährstoffreicher Streu hat ein starkes Organismenleben im Oberboden zur Folge, so daß auf biologischem Wege zahlreiche langgestreckte sehr grobe Poren gebildet werden. - Im zweiten Fall spielt diese Basenpumpe der Bäume nur eine unbedeutende Rolle; es ist ein wenig belebter Boden, in dem nur in geringem Ausmaß langgestreckte sehr grobe Poren gebildet wurden.

In Bild 3 ist außerdem die WL in senkrechter und in waagerechter Richtung dargestellt worden. Beide WL-Verteilungen sind in allen 3 Horizonten nahezu identisch; es herrscht also Isotropie. Häufiger wird allerdings in Lößböden Anisotropie angetroffen, wobei oft die senkrechte WL größer ist als die waagerechte WL. Diesen Fall zeigt Bild 4, eine Parabraunerde (Griserde-Stadium) bei Einbeck. Annähernde Isotropie ist nur im tiefsten Teil des B-Horizontes (Lamellenfleckenbereich) vorhanden; die höheren Horizonte (außer dem  $A_{p2}$ , der bislang nur senkrecht untersucht werden konnte) sind stark anisotrop.

Die gleichen WL-Verteilungen sind in Bild 5 nochmals dargestellt worden; hier wurden diejenigen Stechzylinderproben, die mit dem Auge erkennbare Regenwurm- oder Wurzelgänge (meist Gänge, die schon rel. dicht unter der Anschnittfläche blind zu enden scheinen) enthalten, mit schwarzen Punkten (senkrechte WL) oder Rechtecken (waagerechte WL) gekennzeichnet. In den B-Horizonten beruht die Anisotropie demnach weitgehend darauf, daß die biologisch stark beeinflussten Proben nicht aussortiert worden sind. Im A<sub>1</sub>-Horizont demgegenüber hätte eine solche Aussortierung nicht zu auch nur annähernder Isotropie geführt, da in dem leichter zerfallenden A<sub>1</sub>-Material die stark beeinflussten Proben mit dem Auge nicht erkannt werden können. Da jedoch die Ursachen, die zur Anisotropie geführt haben, mit Sicherheit in allen Horizonten die gleichen sind, führt jede Aussortierung von derartigen Proben zu einer subjektiven Veränderung des Ergebnisses.

Die anfangs gezeigten WL-Verteilungen (Bild1-3) ebenso wie weitere vorliegende Profiluntersuchungen zeigen, daß biologische Beeinflußung des Gefüges einen deutlichen und vor allem auch von Fall zu Fall unterschiedlichen, charakteristischen Einfluß auf die WL-Verteilungen hat. Die Ausschaltung einzelner Proben ist jedoch, wie gezeigt wurde, willkürlich und würde somit die charakteristischen Verteilungen im Bereich hoher WL und großer PK sinnentstellend verändern. Demgegenüber bietet sich durch gleichzeitige Ermittlung der horizontalen und der vertikalen WL eine brauchbare Möglichkeit zu genauerer Differenzierung biologisch stark beeinflusster Horizonte, wobei detaillierte Aussagen nur bei Darstellung der Ergebnisse in Form von WL-Verteilungen, nicht hingegen bei Verwendung von Mittelwerten möglich sind.

### Zusammenfassung

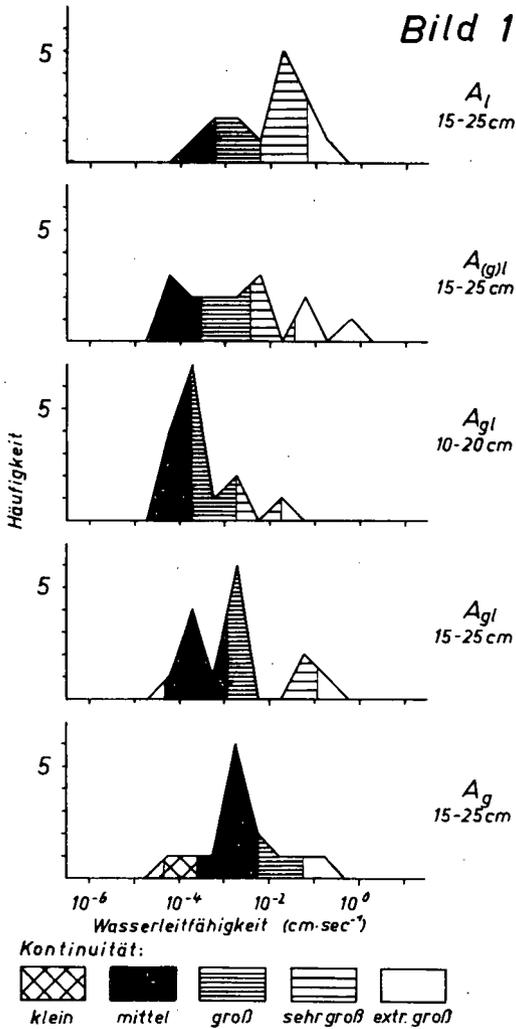
Die Bestimmung von Wasserleitfähigkeit (WL) und Porenkontinuität (PK) an niedersächsischen Lössböden führt zu folgenden Ergebnissen:

1. Biologische Lockerungsvorgänge haben einen starken Einfluß auf WL und PK,
2. Die Böden lassen sich hinsichtlich des Ausmaßes dieser Vorgänge gut mit Hilfe von WL-Verteilungen charakterisieren.

3. Das Aussortieren biologisch stark beeinflusster Proben ist bei ökologischer Zielsetzung der Untersuchung abzulehnen.
4. Die Ermittlung der horizontalen und der vertikalen WL bietet zusätzliche Aussagemöglichkeiten.

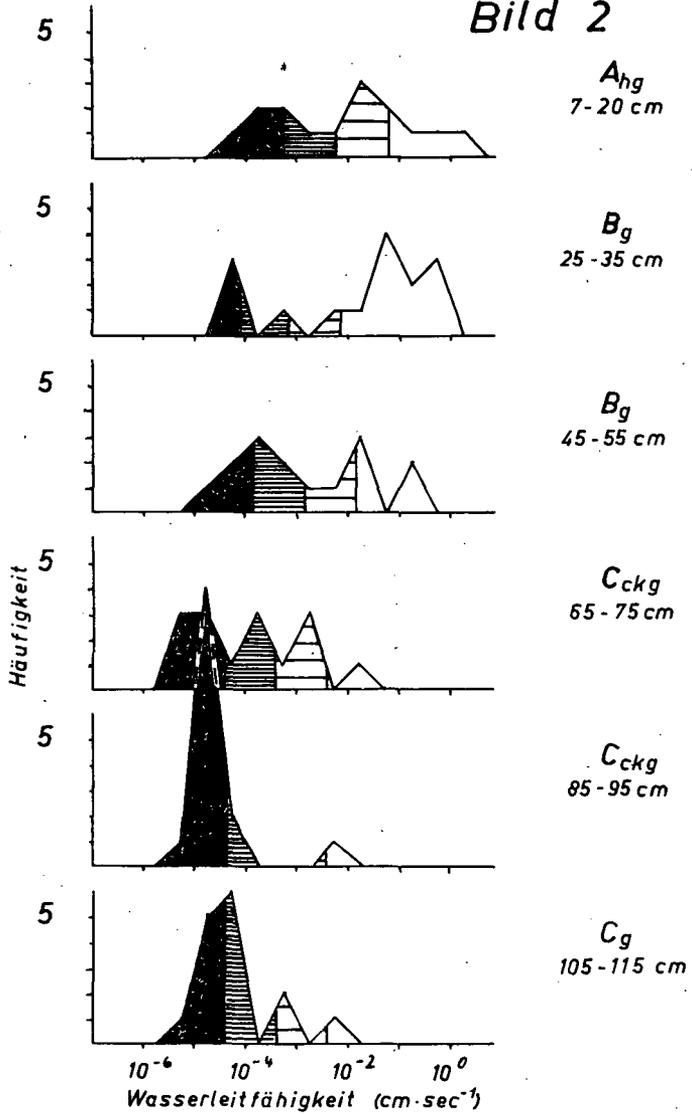
## Literatur

- Hartge, K.H., 1961 a,  
Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben, Z. Kultur-  
technik 2, 103-114
- Hartge, K.H., 1961 b,  
Die Erfassung der Kontinuität der groben Poren aus ihrem Anteil im Bo-  
den und dem Permeabilitätskoeffizienten, Z. Pflanzenern., Düng., Bo-  
denk. 94, 147-154
- Hartge, K.H., 1966,  
Ein Haubenpermeameter zum schnellen Durchmessen zahlreicher Stech-  
zylinderproben, Z. Kulturtechnik 7, 155-163
- Hartge, K.H. und Bailly, F., 1967,  
Beziehungen zwischen Staunässemerkmalen, Wasserleitfähigkeit und  
Porenkontinuität in Löß-Parabraunerden im südlichen Niedersachsen,  
Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 116, 10-25



Wasserleitfähigkeit und Porenkontinuität  
von  $A_1$ - bzw.  $A_g$ -Horizonten einer Boden-  
reihe PARABRAUNERDE - PSEUDOGLEY aus  
Löß (über Buntsandstein). Hildesheimer  
Wald (Wehrstedt)

Bild 2



Kontinuität:



mittel



groß



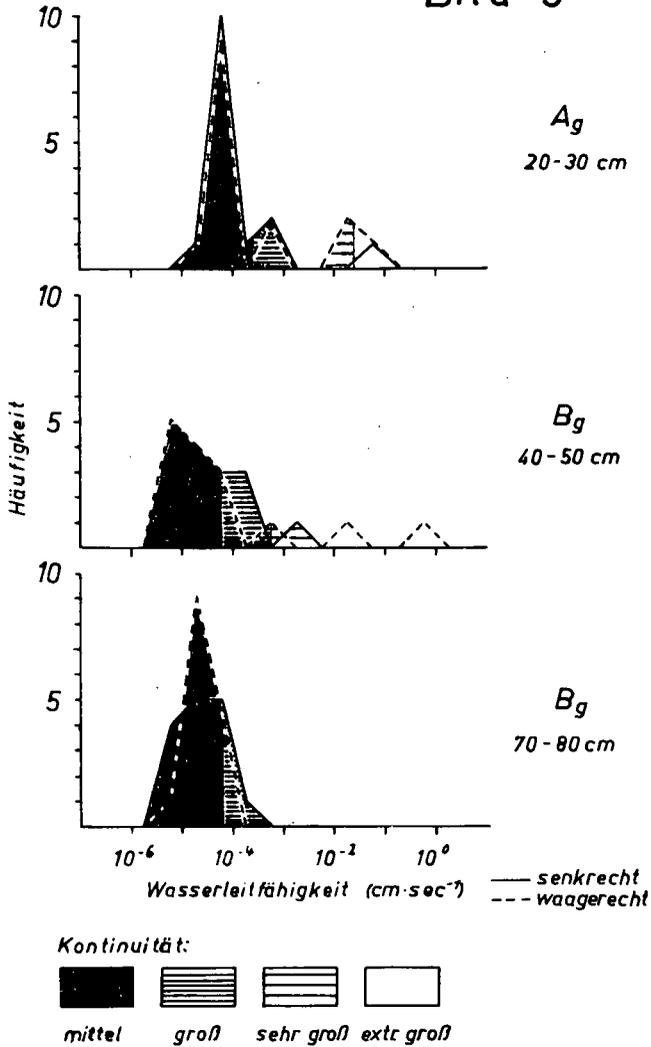
sehr groß



extr. groß

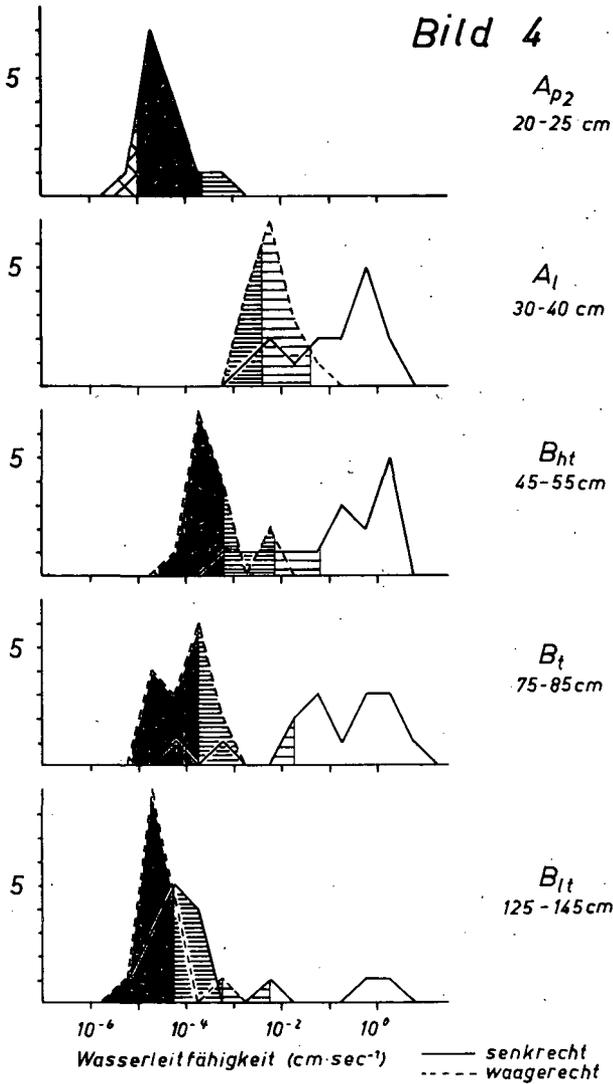
PSEUDOGLEY aus Löß unter Wald (Ihme)

Bild 3



PSEUDOGLEY aus Löß unter Wald  
(Almhorst)

# Bild 4



Kontinuität:



klein



mittel



groß



sehr groß

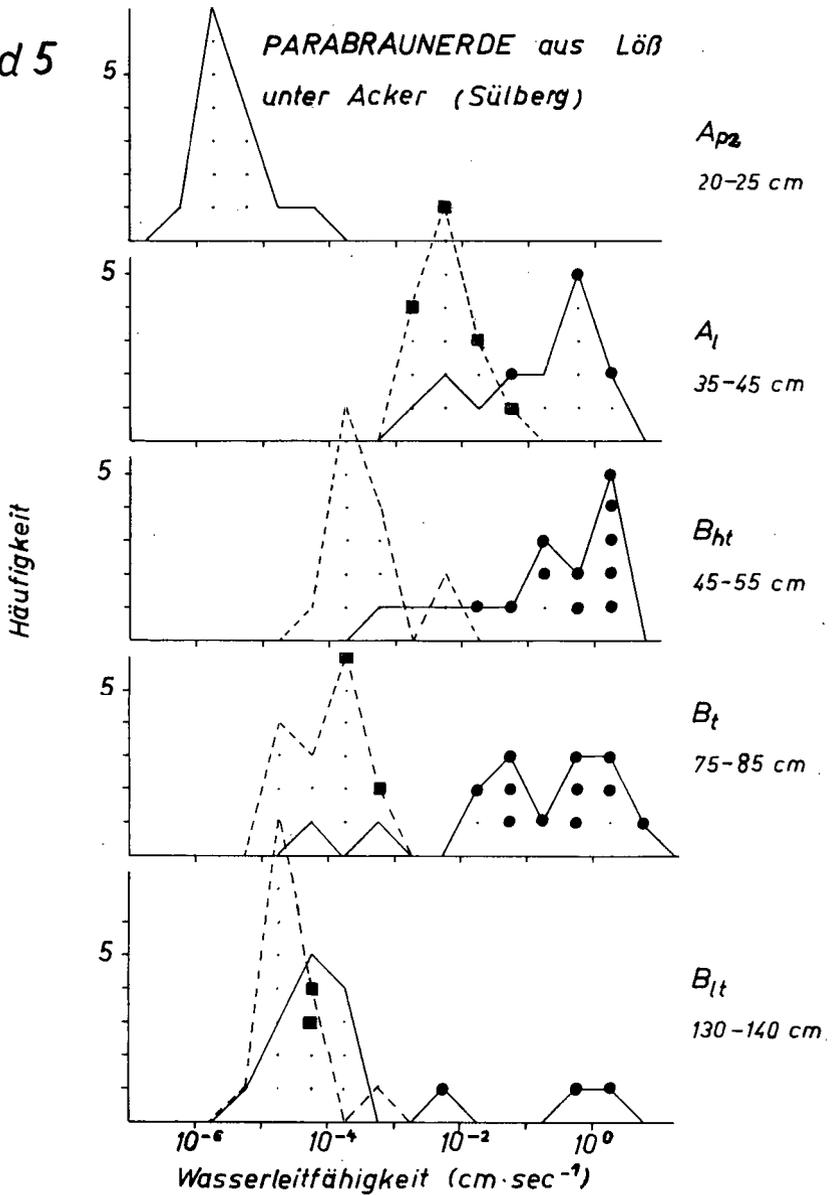


extr. groß

PARABRAUNERDE (Griserde) aus Löß unter  
Acker (Sülberg)

Bild 5

PARABRAUNERDE aus Löß  
unter Acker (Sülberg)





## Ergebnisse von Durchlässigkeitsmessungen

(Kurzfassung eines anlässlich der Jahrestagung des DBG in Mainz 1967 gehaltenen Referates)

P. Benecke +)

Vergleicht man die Einteilung der Kf-Werte in jeweils 5 Durchlässigkeitsklassen bei verschiedenen Autoren, so findet man, daß die Klasse mittlerer Durchlässigkeit etwa um den Mittelwert 20 bis 30 cm pro Tag angegeben wird. Dieser verhältnismäßig guten Übereinstimmung steht gegenüber, daß die Abweichungen bei den Klassen geringer und erst recht sehr geringer Durchlässigkeit groß bzw. zum Teil sehr groß sind. Am weitesten heraus ragt die Einteilung von ZAKOSEK, dessen Klasseneinteilung sich auf eine Untersuchung von Staunäseeböden gründet, während bei allen anderen Autoren ein Zufallskollektiv vorzuliegen scheint. Der Autor macht in seiner Einteilung den Versuch, durch Ausdehnung der Klassen niedriger Durchlässigkeit Anschluß an die von ZAKOSEK getroffene Einteilung zu gewinnen. Der Grund hierfür liegt darin, daß ZAKOSEKs Einteilung den theoretischen Erwartungswerten aufgrund der DARCY-Gleichung entspricht. Als Grund für die Abweichung der übrigen Einteilungen wird auf Gefügeeinflüsse verwiesen und hieran die Feststellung geknüpft, daß mit dem Kf-Wert in den mittleren und höheren Durchlässigkeitsklassen kein absolutes Maß für die Durchlässigkeit erhalten wird. Die gute Übereinstimmung der Mittelwerte (etwa 25 cm pro Tag) ermöglicht jedoch eine Korrektur durch Klasseneinteilungen, die von diesem relativ gut gesicherten Mittelwert ausgehen.

Um die Aussage der Kf-Werte zu untersuchen, wurde ein umfangreiches Material nach Horizonten und innerhalb der Horizonte nach Tongehalt gegliedert und die zugehörigen Mittelwerte nebst Streuungen ermittelt. Es zeigte sich, daß - mit Ausnahme der Horizonte geringer Durchlässigkeit - die Kf-Werte in den verschiedensten Klassen liegen können, wobei nicht selten vier und gelegentlich sogar alle fünf Klassen belegt sind. Das besagt, daß der Mittelwert für den

---

+ ) Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Hann.Münden

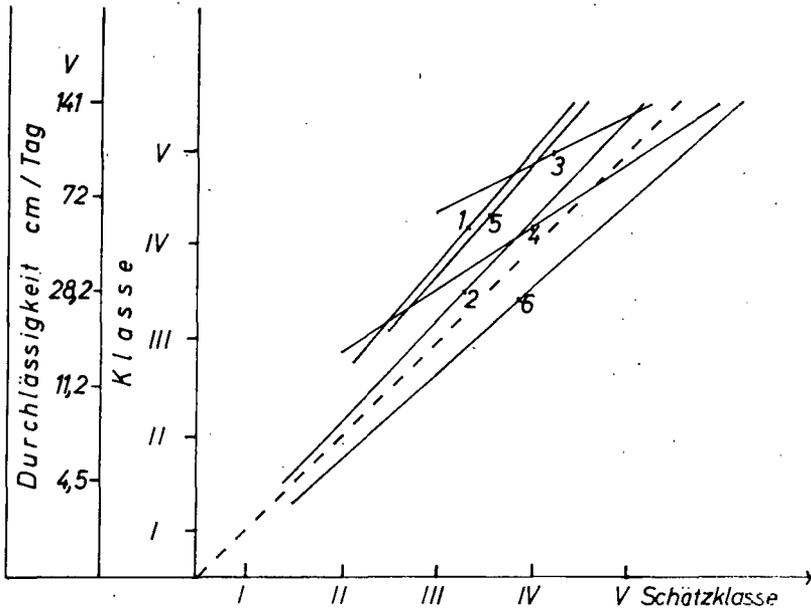
Einzelfall nur recht wenig Verbindlichkeit aufweist oder - anders ausgedrückt - daß Horizontzugehörigkeit und Tongehalt noch keine ausreichenden Kriterien sind, um auf eine bestimmte Durchlässigkeit zu schließen.

Um das Problem weiter einzuengen, wurden die Streuungen innerhalb der Meßreihen untersucht, um auf die für eine bestimmte Signifikanz des Mittelwertes erforderliche Parallelenzahl zu kommen. Das Ergebnis läßt sich als statistische Mindestanforderung definieren, die besagt, daß bei Verwendung von 250 cm großen Stechzylindern im Durchschnitt zehn Horizontparallelen erforderlich sind und daß Meßreihen, bei denen die Streuung der Logarithmen der Einzelwerte größer als 0,5 ist, zu verwerfen sind. Davon dürften voraussichtlich 25% aller Meßreihen betroffen werden. Die Einhaltung dieser Bedingungen gewährt, daß mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % der Fehler des erhaltenen Mittels nicht größer als eine halbe Klassenbreite ist.

Schränkt man das hier verwendete Untersuchungsmaterial nach der eben definierten Maßgabe ein, so erreicht man zwar schon eine beträchtliche Verminderung der Schwankungsbreite, über die die nach Horizontzugehörigkeit und Tongehalt untergliederten Durchlässigkeitswerte streuen. Sie ist aber immer noch weitaus zu groß, um einen Horizont bestimmter Bodenart einen halbwegs sicheren Durchlässigkeitswert zuordnen zu können. Vielmehr scheint eine Verteilung dieser Werte über zwei bis drei Durchlässigkeitsklassen noch die Regel zu sein.

Hier wird nun deutlich, daß für eine sichere Ansprache der Durchlässigkeit weitere Kriterien erforderlich sind. Aus diesem Grunde wurde innerhalb der Gruppen die Korrelation der erhaltenen Kf-Werte mit Schätzklassen durchgeführt. Die Schätzklassen stellen hierbei eine im wesentlichen auf Gefügemerkmalen beruhende Vorausschätzung der Durchlässigkeit dar. Dieser Vergleich war naturgemäß nur dann durchzuführen, wenn genügende Wiederholungen innerhalb einer Gruppe vorlagen. Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Man erkennt, daß bei den regelmäßig durch eine ausgeprägte Gefügeentwicklung gekennzeichneten  $B_t$ -Horizonten die Korrelation am besten ist. Aus welchem Grunde bei  $B_t$ -Horizonten zwischen 17 und 25 % Ton die Durchlässigkeit regelmäßig um eine halbe Klasse zu niedrig geschätzt wurde, ist offen. Das gleiche gilt für G<sub>o</sub>-Horizonte zwischen 25 und 35 %. Die tonreichen Brackmarschen, die ebenfalls meist eine ausgeprägte Gefügeentwicklung aufweisen, sind regelmäßig geringfügig etwas zu hoch geschätzt worden. Schwierig scheint die

Schätzung von  $A_1$ -Horizonten zu sein, bei denen die gemessene Durchlässigkeit häufig um  $1\frac{1}{2}$  Klassen höher war als die geschätzte. Allgemein überwiegt die Tendenz, daß die Sicherheit der Schätzung mit abnehmender Durchlässigkeit wächst.



	Horizont	Tongehalt	n	Neigung	r
1	B <sub>t</sub>	17 - 25	10	1,19	0,89 <sup>xxx</sup>
2	B <sub>t</sub>	> 25	18	1,06	0,84 <sup>xxx</sup>
3	A <sub>l</sub>	8 - 17	9	0,53	0,46
4	G <sub>0</sub>	17 - 25	11	0,64	0,48
5	G <sub>0</sub>	25 - 35	12	1,15	0,59 <sup>*</sup>
6	nb	> 45	10	0,89	0,71 <sup>*</sup>

Korrelation  $kt$ -Werte (horizontale Entn.-Richt.): Schätzklassen

für verschiedene nach Tongehalten gegliederte Bodenhorizonte

Wasserbilanzen von Lößdecken als Funktion unterschiedlicher Grundwasserstände (Raum Niedersachsen)

D. Hase +)

Die Untersuchungen, die in den Jahren 1965-1967 durchgeführt wurden, sollten folgende Fragen klären:

1. Hat ein unterschiedlich hoher Grundwasserstand in mächtigen Lößdecken einen Einfluß auf die Bilanzgrößen - Verdunstung, Grundwasserspende, Bodenfeuchtigkeit - und damit auf den Wasserhaushalt einer Landschaft ?
2. Welche Möglichkeiten der Bilanzierung bieten sich in Böden mit hohem Grundwasserstand an, die eine Verwendung von Lysimetern und Evaporimetern ausschließen?
3. Welchen Einfluß hat ein unterschiedlicher Grundwasserstand bei Lössen auf die Feldkapazität des Oberbodens?
4. Bestimmt der Grundwasserspiegel die Mobilität des Wassers oberhalb des Grundwasserspiegels?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden im südniedersächsischen Raum 9 Lößstandorte nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt:

1. Die ausgesuchten Standorte sollten eine abgestufte mittlere Grundwasserspiegeltiefe zwischen wenigen dm und ca. 10 m unter der Oberfläche aufweisen.
2. Das Lößmaterial sollte oberhalb des Grundwasserspiegels möglichst an allen Vergleichsstandorten das gleiche Gefüge (Porenverteilung) aufweisen.

---

+ ) Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

Es wurden Lößpakete ausgesucht, die aus paraprimären Jungwürmlössen aufgebaut waren.

#### Angewandte Methoden:

1. Über mehr als 2 Jahre hinweg wurde die Veränderung des Grundwasserstandes (mit einer Wassersonde) und die Bodenfeuchte (gravimetrisch) bestimmt. Mit einem Bohrgerät der Firma Atlas Copco konnten Bodenproben bis aus einer Tiefe von 11 m gewonnen werden.
2. Für alle Tiefen bis unter den Grundwasserspiegel wurden die Saugspannungskurven der ungestörten Lößproben ermittelt. Dabei konnten die Stechzylinderproben nach dem Baggern einer Profilgrube oder 15 cm lange Zylinderproben mit Hilfe eines Spezialgerätes zum Atlas Copco genommen werden.
3. Die Wasserbilanzberechnungen wurden auf Grund der Bodenfeuchteänderung, der Grundwasserspiegeländerung und mit Hilfe der Eindringgeschwindigkeit einer tritium-markierten Wasserfront durchgeführt.

#### Darstellung:

Die Werte der Bodenfeuchtigkeitsbestimmungen wurden in einem Saugspannungs-Chronoisoplethen-Diagramm zusammenfassend dargestellt, in das gleichzeitig die Grundwasserspiegelhöhen und der Bereich in dem tritiummarkiertes Wasser nachweisbar war, eingezeichnet sind.

#### Ergebnisse:

Aus den Saugspannungs-Chronoisoplethen Diagrammen wird besonders bei den Profilen mit tiefliegendem Grundwasserspiegel eine eindeutig auf das Grundwasser bezogenen pF-Zonierung erkennbar. Im Jahresablauf schälen sich außerdem Störungszonen heraus, die durch fossile Bodenhorizonte, die als Stauzonen wirken, bedingt sind.

Die Grenze des B-C-Horizontes fällt in diesen Profilen mit der jeweiligen Entkalkungstiefe zusammen, oberhalb der sich der jahreszeitliche Durchfeuchtungswechsel abspielt. Unterhalb dieser Grenze bleibt die oben erwähnte auf das Grundwasser bezogene hochgespannte Feuchtezone durchgehend erhalten.

Auf Grund der Bewegung der tritiummarkierten Wasserfront wird angenommen, daß das eindringende Niederschlagswasser kapillar nach unten auf dem Wege des "downward displacement" abgeführt wird. Nach einem hohen Niederschlagsangebot und schnellem Eindringen des Wassers in tiefere Bodenhorizonte kommt es zu Lufteinschlüssen und damit zur Ausbildung von Luftokklusionsfronten.

Bei Standorten mit hochliegendem Grundwasserspiegel erkennt man in den Diagrammen eine pF-Zonierung, die nicht ausschließlich auf die Grundwasserspiegelhöhe bezogen ist, sondern im wesentlichen durch den wechselnden Befuchtungsgang in Abhängigkeit von Niederschlag und Verdunstung bestimmt ist.

Die unterschiedlichen hydrostatischen Spiegelhöhen in durchgehend perforierten bzw. nur an der Basis perforierten Rohren deuten darauf hin, daß der Bodenraum unterhalb des Grundwasserspiegels nicht voll mit Wasser gesättigt ist, da ein Großteil des dränfähigen Porenvolumens mit Luft gefüllt ist. Daher entsprechen die ermittelten Saugspannungen, nicht mehr den realen Saugspannungen, die eigentlich unterhalb des Grundwasserspiegels gleich Null sein müßten. Es können bei den Feuchteuntersuchungen also nur jeweils scheinbare Saugspannungen ermittelt werden.

Die Bewegung des Wassers, vgl. den Weg der tritiummarkierten Wasserfront, wird in grundwassernahen Standorten dadurch eingeengt, daß der Grundwasserspiegel beim Steigen das Porensystem von unten kapillar aufsättigt und dabei die markierte Wasserfront mit anhebt.

#### Zusammenfassung:

Auf Grund der Ergebnisse kann gesagt werden, daß eine genaue Bilanzierung nur möglich ist, wenn die pF-Zonierung, d.h. die Bodenfeuchtigkeitsverteilung, des Verdunstungsraumes nicht wesentlich von der Kapillarzonierung oberhalb des Grundwasserspiegels beeinflusst wird.

Mithilfe eines Tracers kann in grundwasserfernen Standorten gut und in starken Grundwasser beeinflussten Standorten nur bedingt eine Bilanz aufgestellt werden.



## Die Ermittlung der Wasserspannungskurve aus der Körnungssummenkurve und dem Gesamtporenvolumen

K. H. Hartge <sup>†)</sup>

Die Bestimmung der Wasserspannungskurve ist verhältnismäßig umständlich und wegen der langen Dauer der Gleichgewichtseinstellung zeitraubend.

Aus diesem Grunde wurden wiederholt Versuche gemacht, aus anderen Größen, z. B. dem Anteil einzelner Kornfraktionen, einzelne Punkte auf der Wasserspannungskurve zu berechnen (z. B. Husz, 1967; Andersson, 1959).

Diese Rechnungsweisen führen aber nie zu einer Aussage über den Verlauf der ganzen Kurve. Daher wurde versucht, diesen Kurvenverlauf auf andere Weise zu ermitteln. Hierbei wurde von der Betrachtung des allgemeinen Verlaufs von Körnungskurven ausgegangen. Diese Kurven stellen, wie frühere Untersuchungen gezeigt hatten (Hartge, 1964), bestimmte häufig wiederkehrende Verzerrungen einer Normalverteilung dar. Das bedeutet, daß die Anzahl der verschiedenen Korngrößen gesetzmäßig um den häufigsten Wert streuen.

Da die Poren zwischen diesen Körnern liegen, müssen sie ebenfalls um einen häufigsten Wert streuen.

Wenn aber die Porenverteilung bekannt ist, dann läßt sich auch die Wasserspannungskurve zeichnen. Beim Gegeneinanderauftragen der Poren- und Korndurchmesser, bei denen die betreffenden Summenkurven den 50 %-Wert treffen ( $D_{50}$ -Werte), zeigte sich, daß der Zusammenhang stark vom Gesamtporenvolumen (PV) abhängig war.

Um diesen Zusammenhang näher zu charakterisieren, wurden die Korrelationskoeffizienten berechnet für die  $D_{50}$ -Werte der Körner und der Poren (bei glei-

---

<sup>†)</sup> Institut für Bodenkunde, Hannover, Herrenhäuser Straße 2

chem PV) ( $r = 0,883$ ), die Steigungen der Summenkurven der Poren und der Körnung an ihrer steilsten Stelle ( $r = 0,52$ ) und die Flächen unter den Kurven ( $r = 0,853$ ).

Diese Korrelationen bestätigen die oben erwähnte Vermutung über einen relativ engen Zusammenhang zwischen dem allgemeinen Verlauf der Summenkurve der Körnung und der Wasserspannungskurve. Sie ergeben aber zunächst keine Möglichkeit, aus den 3 Wertepaaren (einer Länge, einem Winkel, einer Fläche) den gesamten Verlauf der Kurven zu berechnen.

Daher wurden Nomogramme hergestellt, bei denen zu jeder Kornkurve eine Wasserspannungskurve gehört. Der Einfluß des PV wurde dadurch berücksichtigt, daß der gesamte Bereich von etwa 35 bis etwa 58 % in Intervalle von 2 - 3 % Breite unterteilt wurde, für die jeweils eigene Nomogramme hergestellt wurden.

Die Ermittlung der Wasserspannungskurve erfolgt nun dadurch, daß die Körnungssummenkurve des zu untersuchenden Bodens in einem bestimmten Maßstab auf durchsichtiges Papier gezeichnet wird. Diese Vorlage wird auf das Nomogramm des entsprechenden PV-Intervalles aufgelegt und die ähnlichste Kornkurve des Nomogramms ermittelt. Die zu dieser Kornkurve gehörige Wasserspannungskurve wird aus dem zweiten Teil des Nomogramms entnommen. Im Bedarfsfall muß bei der Korn- und bei der Wasserspannungskurve zwischen den Kurven des Nomogramms interpoliert werden.

Bisher wurden die Nomogramme für Böden aus Sand, Geschiebelehm sowie für Marschen und Auenböden fertiggestellt. Sie gelten für Böden mit  $< 2\%$  organ. Substanz. Die Nomogramme für Lößböden sind in Arbeit.

Um die Richtigkeit der auf diese Art ermittelten Kurven zu beurteilen, wurde ihr mittlerer Abstand von der experimentell bestimmten Wasserspannungskurve sowie die Richtung der Abweichung an 22 Böden aus Sand und Geschiebelehm und 23 Marschen und Auenböden bestimmt. Es zeigte sich, daß Abweichungen nach oben und nach unten gleich häufig waren und somit keine Tendenz aufwiesen. Man darf daher annehmen, daß die auftretenden Streuungen im wesentlichen zufallsbedingt und nicht durch hier unberücksichtigt gebliebene Faktoren hervorgerufen sind. Die Standardabweichung des mittleren Abstandes betrug bei Böden aus Sand und Geschiebelehm  $s = \pm 1,5$ ; bei Marschen

und Auenböden  $s = \pm 2,0$  (beide in Vol. % Wassergehalt).

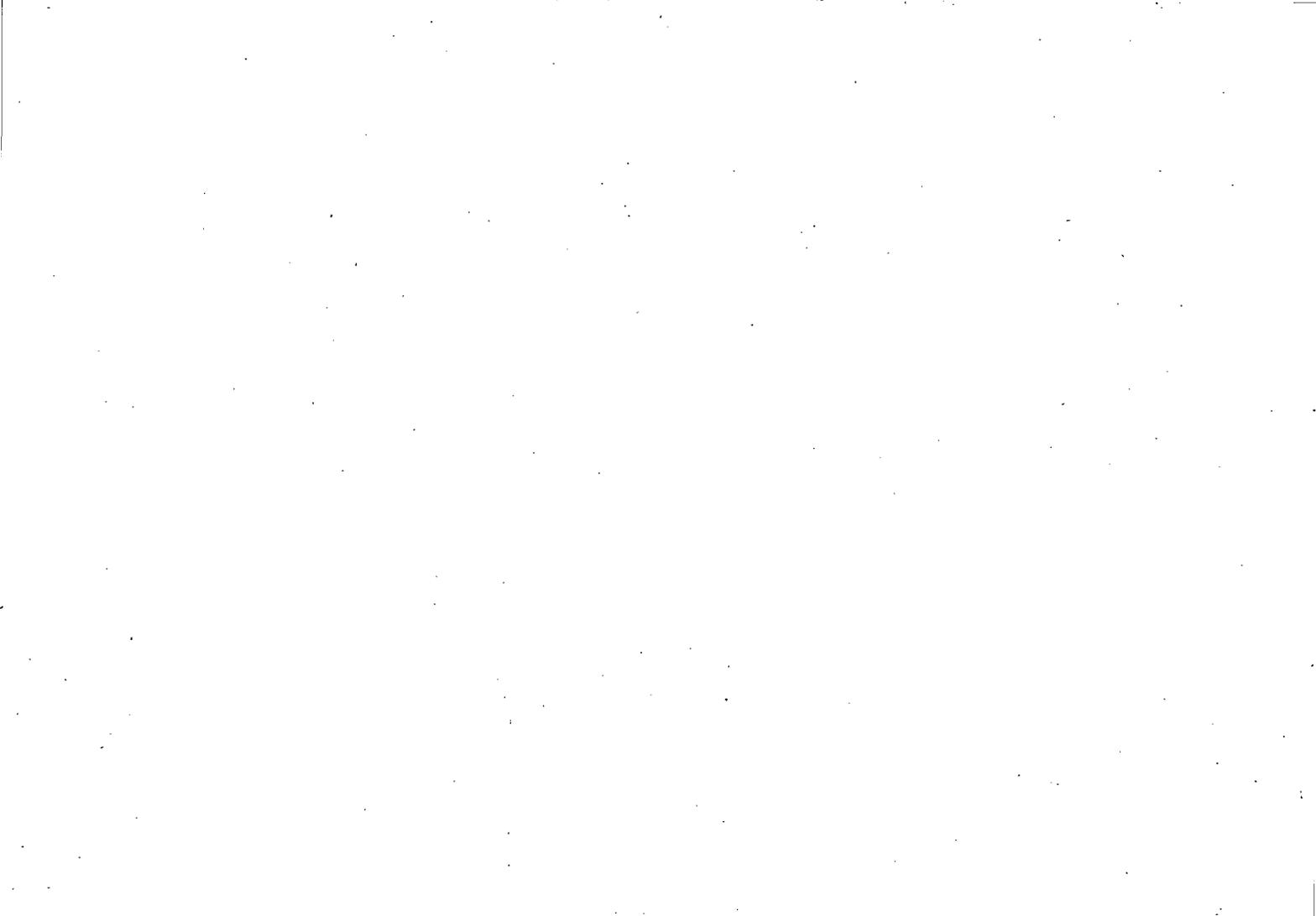
### Schrifttum

Andersson, S., und Wiklert, P., 1959:

Grundförbättring, Jg. 12, 1 - 195

Hartge, K.H., 1964: Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenkunde 107, 1-10

Husz, G., 1967: Z. Pflanzenern., Düngung, Bodenkunde 116, 115 - 125



Untersuchungen über die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit von Bodenproben natürlicher Lagerung mit der  
Doppelmembran-Druckapparat

W. Kramer <sup>+)</sup>

Das Verhalten des Wassers im Boden ist seit langem in vielen Disziplinen der angewandten Naturwissenschaften mit verschiedenen Problemstellungen Gegenstand von Untersuchungen. Die detailliertere Kenntnis über die Bewegung des Wassers bei wechselnder Bodenfeuchte kann besonders in bodengenetischer Hinsicht dazu dienen, Bodenentwicklungsprozesse zu deuten und bodendiagnostische Fragen klären zu helfen; denn in humiden und semihumiden Klimazonen laufen die Bodenbildungsprozesse vorwiegend bei jahreszeitlich ständig wechselnden Bodenwassergehalten ab.

Der vorliegende Beitrag berichtet über Untersuchungen der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit im desorbativen Feuchtegang an 200 cm<sup>3</sup> Stechzylinder-Bodenproben natürlicher Lagerung von vier, in Textur und Gefüge unterschiedlichen Böden nach einer verbesserten, von L.A. RICHARDS und MOORE (3) entwickelten, und von VETTERLEIN (4) bereits modifizierten Methode im stationären Messverfahren.

Die Apparatur (Abb.1) besteht im wesentlichen aus den Druckkapsel-Systemen, einem thermostatisierten Druckbehälter (Arbeitstemperatur + 25<sup>o</sup> C, + 0,2<sup>o</sup> C) und den Überlauf-Messbüretten, mit welchen sich während der Versuche konstante Wassersäulen über den Bodenproben und damit konstante Gradienten aufrecht erhalten lassen (vgl. dazu die Versuchsordnung von VETTERLEIN (4)). Es können drei Proben parallel im Saugspannungsbereich von pF 0 bis pF 4,2 untersucht werden.

---

+) Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

Wesentliche Voraussetzung für Untersuchungen an Bodenproben ist die Kenntnis der Leitfähigkeits-Charakteristik der zu verwendenden Membranen, um deren Einfluß auf das Messergebnis berücksichtigen zu können. Nach Vorversuchen mit Kunststoff- bzw. Cellulosemembranen schieden diese wegen zu geringer Haltbarkeit aus. In Abb. 2 ist die Leitfähigkeits-Charakteristik von drei - in ihren Luftdurchtrittswerten um eine Zehnerpotenz verschiedenen - Glasfilterplatten der Firma Schott und Gen., Mainz mit den Typen (porositäts)-Bezeichnungen D 3, D 4, G 5f dargestellt. Auf der Abszisse ist die hydraulische Leitfähigkeit  $K$  in cm/sec in Abhängigkeit steigender Druckdifferenzen  $\Delta P$  in cm Wassersäule (Ordinate) aufgetragen. Die Filterscheiben sowie die untersuchten Bodenproben wurden vor Versuchsbeginn evakuiert, unter Vakuum wassergesättigt und mit entlüftetem Wasser bei verschiedenen pF-Stufen untersucht.

Die in Abb. 2 dargestellten Kurven zeigen mit zunehmendem hydraulischen Gradienten eine, für jeden Membrantyp unterschiedlich starke Zunahme der Leitfähigkeit bei entsprechend gleichem Gradienten, d.h. bei niedrigeren Druckdifferenzen ist die pro Zeiteinheit durch die Membran transportierte Wassermenge nicht proportional der Druckdifferenzerhöhung. Somit kennzeichnet der Verlauf der Kurven im unteren Teil eine Abweichung vom DARCY-Gesetz  $(1) v = K \cdot i$ , wobei  $v$  die pro Zeit- und Flächeneinheit fließende Wassermenge und  $i$  der Gradient bedeuten.

Aus den Ergebnissen der Leitfähigkeits-Charakteristik der Membranen ließ sich folgern,

1. daß es nur sinnvoll ist, Gradienten anzuwenden, welche die Erfüllung des Darcy-Gesetzes gewährleisten. Als Näherungswerte kann für den Bereich geringer Saugspannungen mit Druckdifferenzen gearbeitet werden, die den halben bzw. den viertel.Wert des in der Apparatur angelegten Druckes in cm Wassersäule entsprechen. Bei höheren Bodenwasserspannungen wurden mit entsprechenden 1/10-Werten eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen erreicht.
2. daß für jede, durch Textur und Gefüge der zu untersuchenden Böden bedingte Permeabilität ein Membrantyp zu verwenden ist, dessen Durchlässigkeit etwa eine Zehnerpotenz größer als die der Bodenprobe ist. Nach KOITSCH (2) läßt sich der Membranwiderstand bereits vernachlässigen, wenn die Membrandurchlässigkeit etwa 50 mal größer als die der Bodenprobe ist.

3. daß die Verwendung gut durchlässiger Membranen durch den Luftdurchtrittswert bei einem bestimmten  $pF$ -Wert (Überdruck in der Apparatur) begrenzt ist. Es müssen in höheren  $pF$ -Bereichen Membranen mit höheren Eigenwiderständen verwendet werden.

Einen unterschiedlichen Einfluß auf die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit hat die Anwendung von Über- bzw. Unterdruck zur Aufrechterhaltung eines hydraulischen Druckgefälles entlang der Bodenprobe.

Aus den Leitfähigkeits-Charakteristika der untersuchten Böden (Abb. 3) ist an der Zunahme der  $K$ -Werte bei Anwendung eines hydraulischen Überdruckes  $+\Delta P$ , bzw. an der Abnahme der  $K$ -Werte bei der Anwendung von Unterdruck  $-\Delta P$  zu entnehmen, daß aufgrund der besseren Permeabilität der Membranen gegenüber der Bodenprobe und der Haftreibungswiderstände unterschiedlich großer Poren in den einzelnen  $pF$ -Bereichen eine Änderung des Porenfüllungsgrades und synchron des Leitungsquerschnittes der Proben eingetreten sein muß, da die Leitfähigkeit eine Funktion des Porenfüllungsgrades und somit der Bodenwasserspannung ist. Die an den Meßpunkten der einzelnen Kurven angegebenen  $pF$ -Werte ergeben errechnete, bei entsprechenden Druckdifferenzen zu erwartende Saugspannungen in der Mitte der Bodenprobe wieder.

So, wie aus den Leitfähigkeits-Charakteristika (Abb. 2 und 3) ein Maß für das Erreichen der Proportionalität zwischen Fließgeschwindigkeit und dem Gradienten abgeleitet werden kann, so läßt sich zeigen, daß der Proportionalitätskoeffizient  $K$  eine echte Kenngröße zur Charakterisierung der Wasserbewegung bei wechselnder Bodenfeuchte bzw. Bodenwasserspannung darstellt, wenn, wie in Abb. 4 und 5 die Veränderung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit (rechte Ordinate) in Form einer Saugspannungs-Leitfähigkeits-Charakteristik in Beziehung zum unterschiedlichen Wassersättigungsgrad des Bodens (Abszisse) gebracht wird.

Weitere Untersuchungen der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit im sorptiven Feuchtegang des Bodens können Aufschlüsse über Hysterese-Effekte sowie über Störungen der Wasserbewegung und des Mikrogefälles durch den Einfluß der Luftokklusion geben.

## Literaturverzeichnis:

1. Darcy, H.: Les Fontaines Publique de la Ville de Dijon.  
Victor Dalmont, Paris 1856.
2. Koitsch, R.: Theorie eines Doppelmembran-Apparates zur Bestimmung der kapillaren Leitfähigkeit von Bodenproben.  
Albrecht-Thaer-Archiv: 47 - 60, (1964).
3. Richards, L.A.: Influence of capillara conductivity and depth of  
Möore, D.C. wetting on moisture retention in soil.  
Trans. Am. Geophys. Union: 33, 531-540 (1952).
4. Vetterlein, E.: Ein Doppelmembran-Apparat zur Bestimmung der kapillaren Leitfähigkeit von Bodenproben.  
Albrecht-Thaer-Archiv: Band 8, 37-45, (1964).

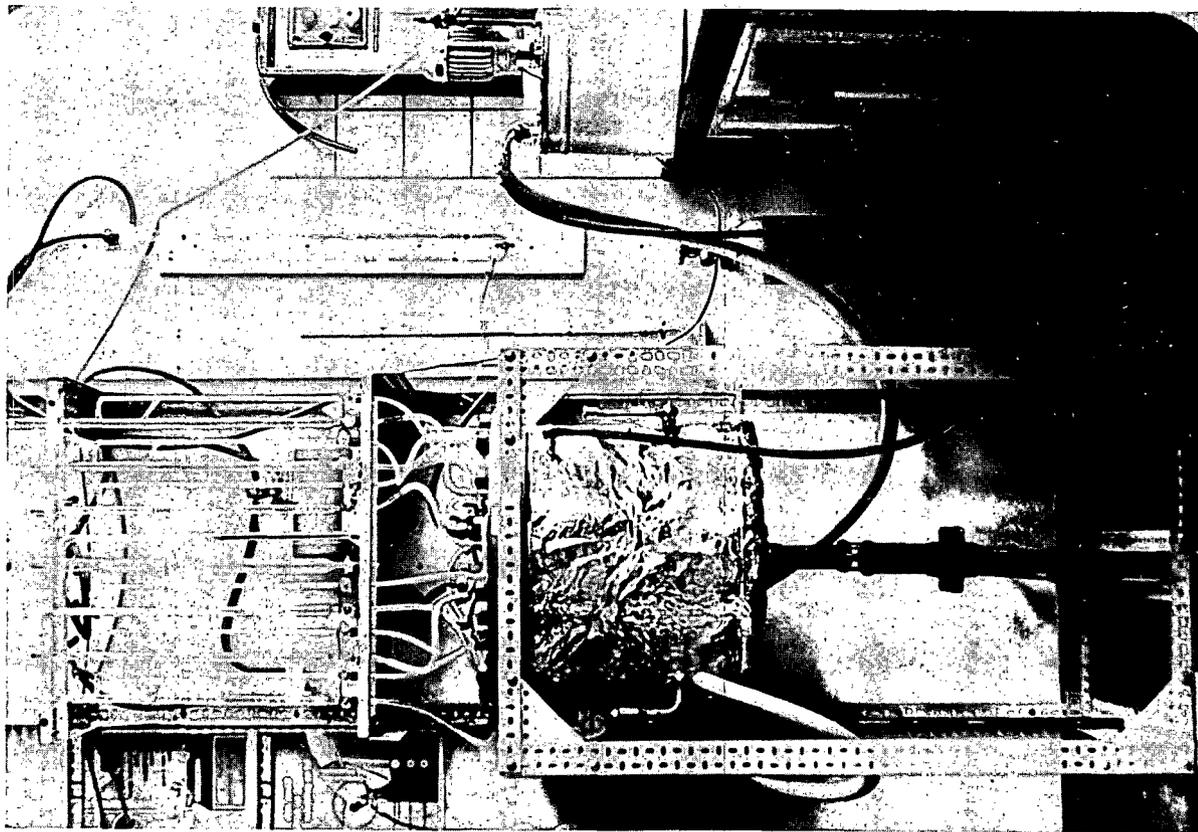
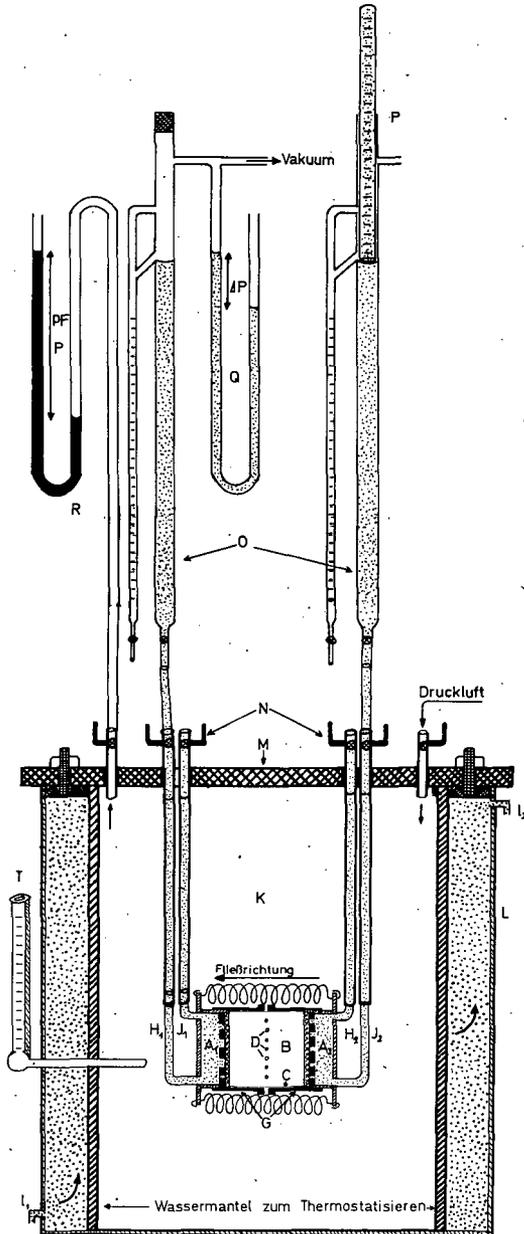
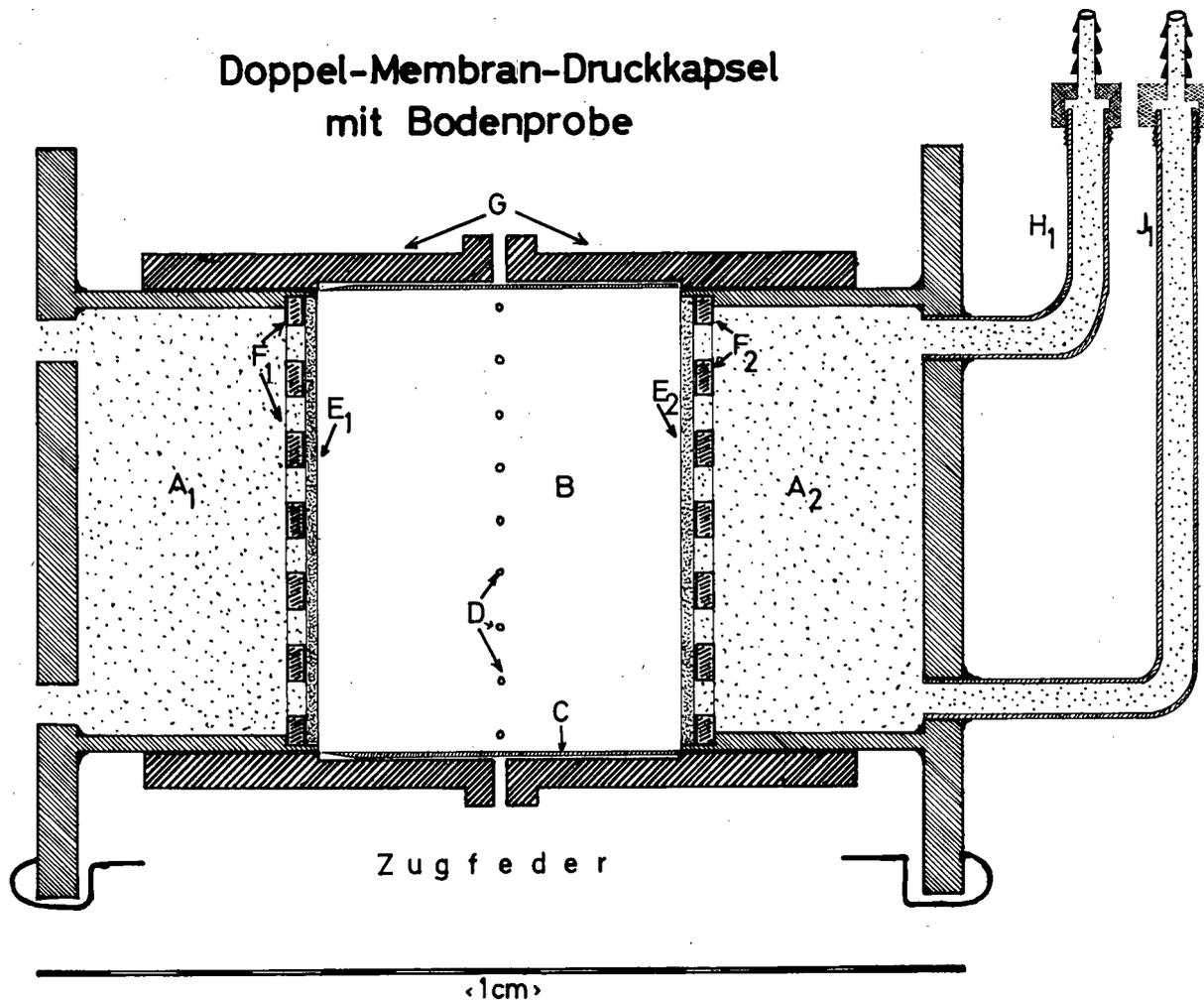


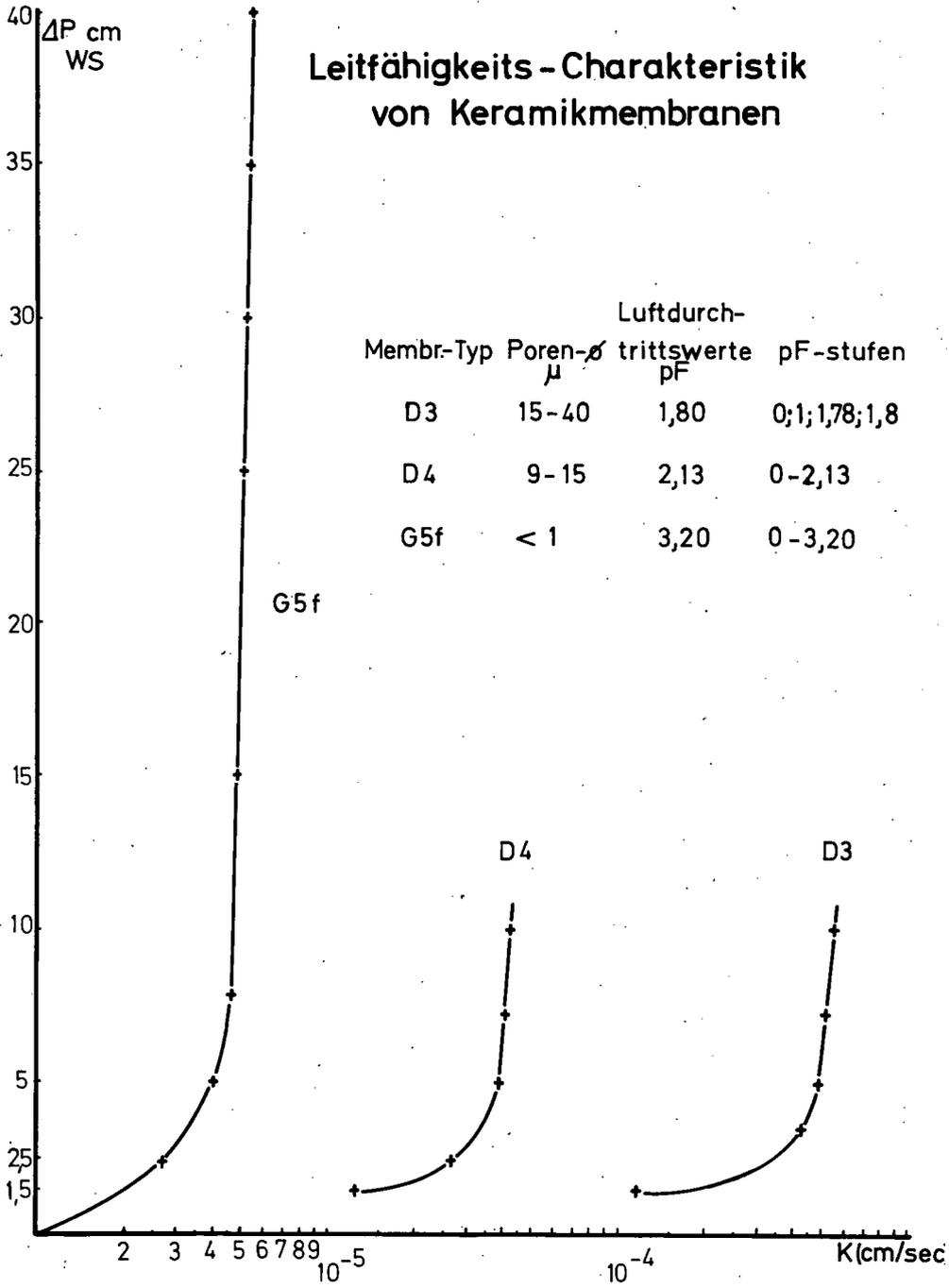
Abb. I  
 Doppelmembran-Druckkapparat  
 schematisch



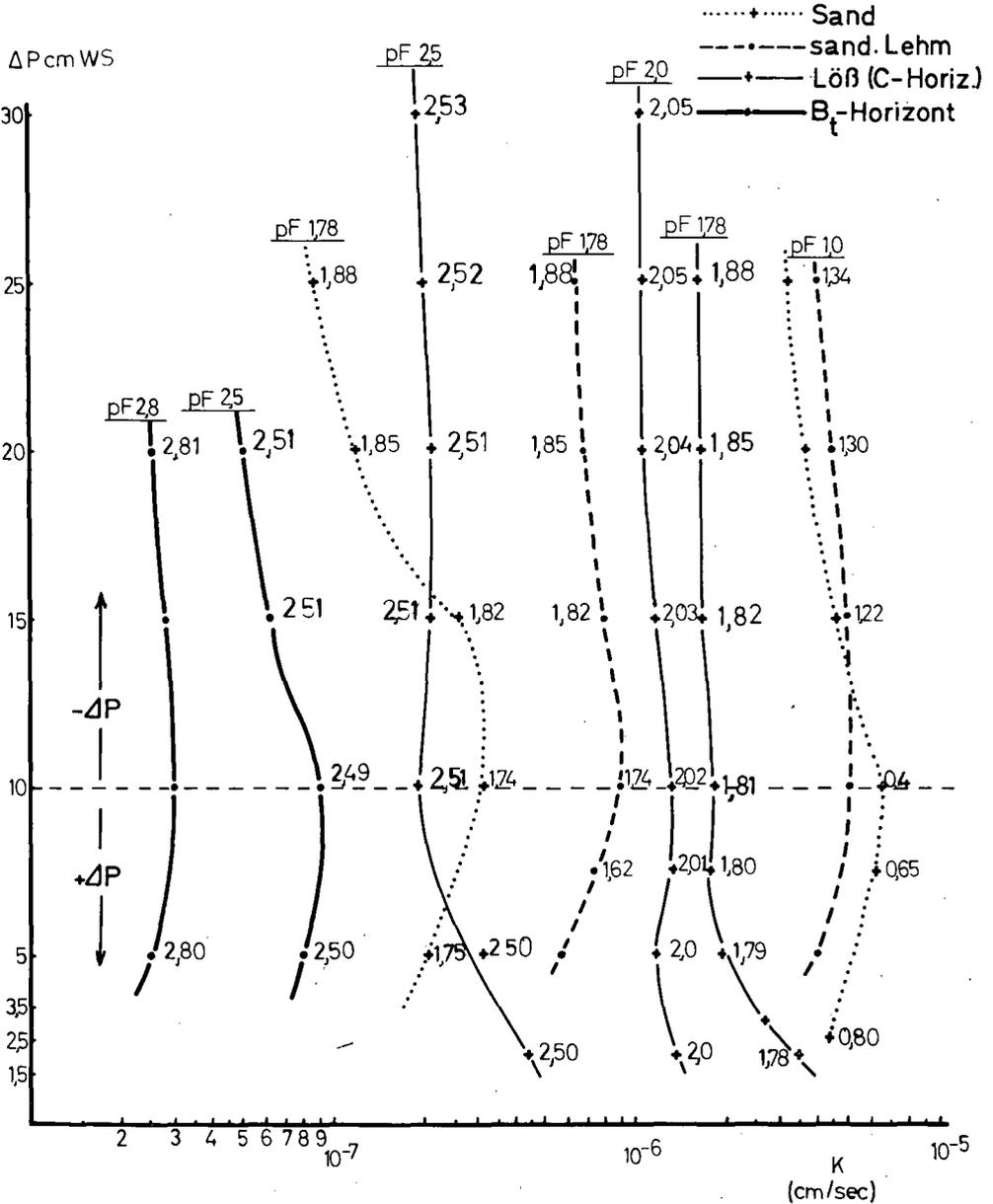
# Doppel-Membran-Druckkapsel mit Bodenprobe



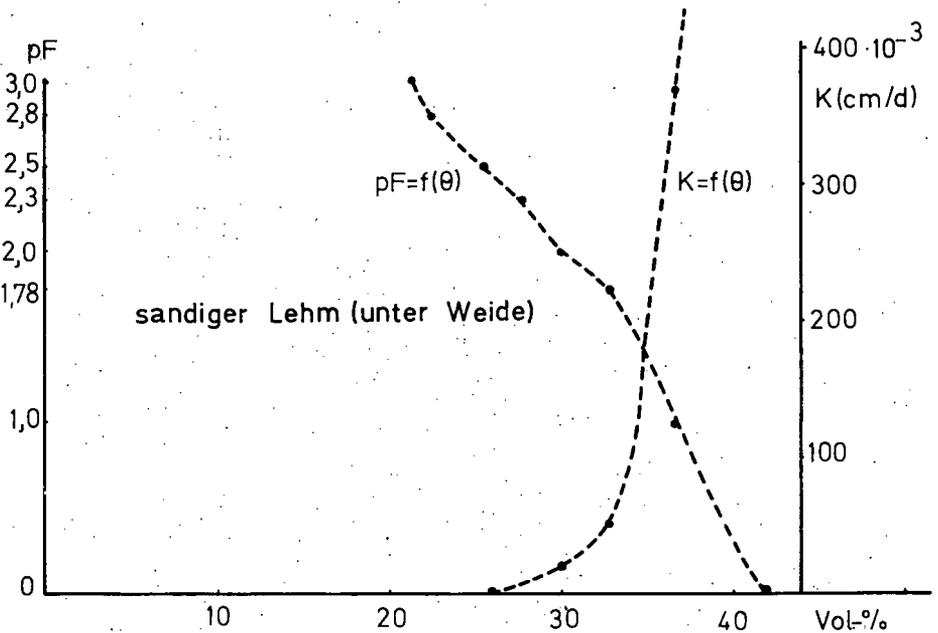
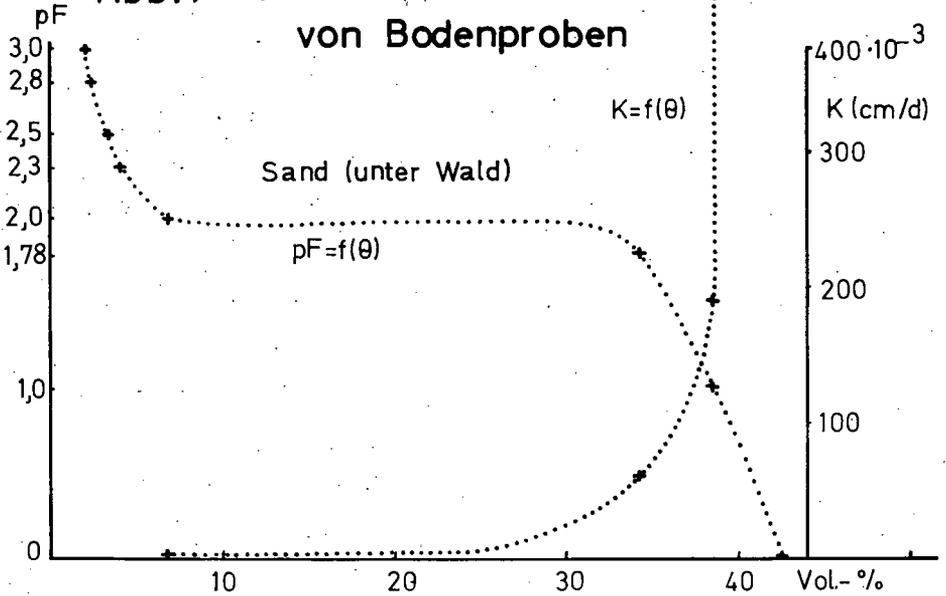
# Leitfähigkeits - Charakteristik von Keramikmembranen

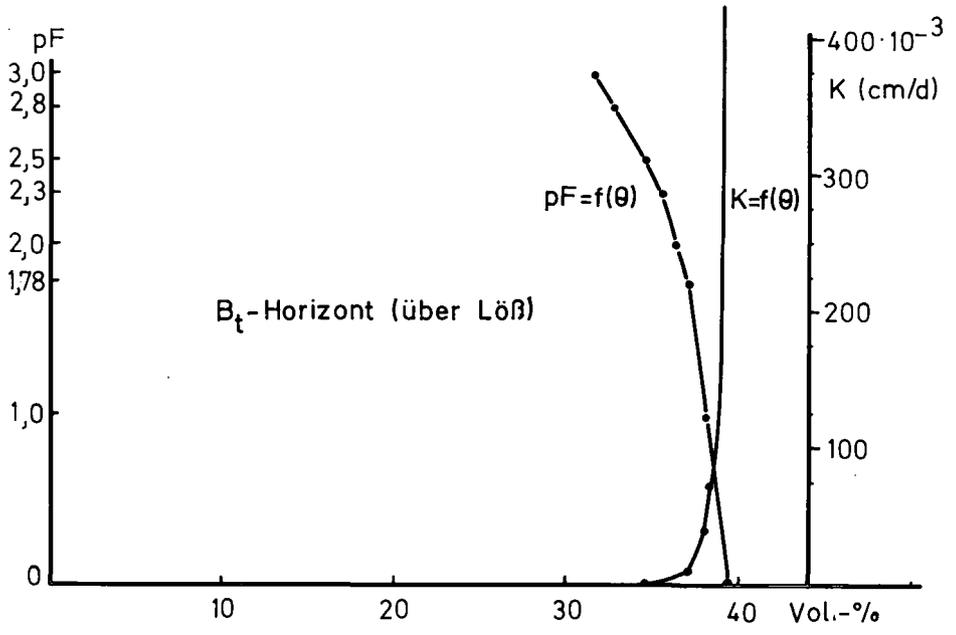
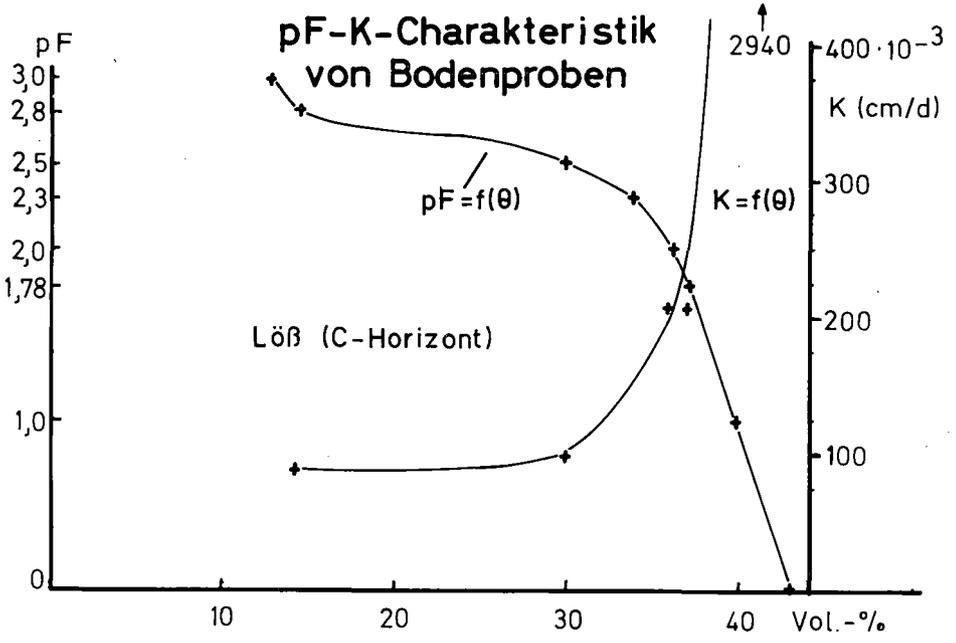


# Leitfähigkeits - Charakteristik von Bodenproben



**Abb. 7 pF-K-Charakteristik von Bodenproben**







## Die Messung der Wärmeleitfähigkeit des Bodens als Mittel kontinuierlicher Bodenfeuchtemessung

J. Lorenz <sup>+)</sup>

Zur Charakterisierung des Wasserzustandes eines Bodens ist entweder eine Wassergehaltsangabe oder eine Saugspannungsangabe erforderlich. Aus der Messung der Saugspannung kann der Wassergehalt berechnet werden oder umgekehrt. Beide Wege sind in unseren Böden nur innerhalb eines kleinen Feuchtebereichs begehbar. Es besteht jedoch nach den bisherigen Erfahrungen berechnete Hoffnung, daß die Messung der thermischen Leitfähigkeit die Möglichkeit bietet, als indirekte Feuchtemessmethode einen größeren Feuchtigkeitsbereich im Boden zu überstreichen.

Dabei lassen sich grundsätzlich 2 Meßverfahren unterscheiden:

### A. Wärmeleitfähigkeitsmessung im stationären Temperaturfeld

Wird ein derartiger Erwärmungsvorgang bis zum Temperaturgleichgewicht zur Grundlage eines thermischen Meßverfahrens gemacht, dann ist vor allem der mit jedem Wärmetransport verbundene konvektive Wassertransport als entscheidende Fehlerquelle von Bedeutung. Eigene Versuche ergaben, daß stationäre Wärmeleitfähigkeitsmessungen Meßzeiten  $< 20$  Minuten erfordern und daß relativ hohe Heizleistungen notwendig sind, um auch noch geringe Feuchtigkeitsunterschiede, vor allem im feuchten Bereich, erfassen zu können.

---

+) Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

## B. Wärmeleitfähigkeitsmessung im instationären Temperaturfeld

Im Gegensatz zur genannten stationären Wärmeleitfähigkeitsmessung läßt sich jedoch auch bereits der Verlauf der Aufheizkurve für eine rechnerische Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit verwenden.

In den letzten Jahren sind eine Reihe von Arbeiten erschienen (Bollmeyer 1958, Lindner 1964, Földi 1966), die zur Charakterisierung der Bodenfeuchtigkeit sog. Aufheizkurven als Maß für die Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit aufgenommen haben und die Endtemperaturen nach gleichen Zeiten (Heizzeiten 3-5 Minuten) miteinander verglichen haben. Bei relativ geringen Heizleistungen von 0,131 Cal/cm<sup>2</sup>sec konnten in eigenen Versuchen nur Feuchtigkeitsunterschiede bis höchstens 9 % GW gemessen werden. Mit wesentlich höheren Heizleistungen und Meßzeiten von 15 sec. und 25 sec. konnten jedoch für Löß und Sandbodenproben Feuchtegehalte von 0 - 25 % GW erfaßt werden, wobei allerdings die Temperatur in der trockenen Probe auf über 100°C und in der gesättigten Probe auf über 70°C anstieg, und damit für praktische Feuchtemessungen undiskutabel sind.

Unter Zugrundelegung des eben beschriebenen Verfahrens erhält man empirische Temperatur-Zeit-Vergleichswerte, die Relativ-Werte, keine Absolutwerte darstellen und die daher nur sehr unsicher zu eichen sind. Sie sind nicht nur eine Funktion des Wassergehaltes, sondern außerdem abhängig von der Bodenausgangstemperatur, der Abmessung der verwendeten Messonde und dem unterschiedlichen Kontakt zwischen Boden und Messelement, so daß jeder Meßwert mit einem zusätzlichen, erheblichen Fehler behaftet ist, so daß vor allem bei zunehmender Feuchte Wassergehaltsbestimmungen keine signifikanten Meßwerte liefern.

Demgegenüber bietet die Ermittlung der spez. Wärmeleitfähigkeit mit Hilfe eines einfachen Differenzverfahrens erhebliche Vorteile. Im Einzelnen ergeben sich aus dem Aufheiz- und Meßprinzip folgende Vorteile:

1. Unter Zugrundelegung einer zweidimensionalen, radialen Wärmebewegung kann unmittelbar die spez. Wärmeleitfähigkeit, als absolute, nicht erst zu eichende Meßgröße bestimmt.

2. Das nach Abklingen des Einschaltvorganges, quasikonstante zusätzliche Temperaturgefälle eines möglichen Übergangswiderstandes zwischen Meßkörper und Boden geht in beide Temperaturmeßpunkte ein und wird durch Differenzbildung eliminiert.
3. Geringfügige Abweichungen im Bau der einzelnen Messonden voneinander, die einen unterschiedlichen Temperaturgang bedingen, werden durch einen Zeitkorrekturfaktor eliminiert.
4. Bei dem beschriebenen Verfahren reicht eine Temperaturdifferenzmessung aus, so daß man weitgehend unabhängig von der Bodenausgangstemperatur ist.
5. Temperaturdifferenzmessungen sind technisch wesentlich einfacher als Absolutmessungen durchzuführen.
6. Es genügen relativ geringe Heizleistungen zur Bestimmung der spez. Wärmeleitfähigkeit, denn  $\alpha$  ist unabhängig von der Heizleistung, so daß durch kurze Heizzeiten und geringe Heizleistungen eine Konvektion weitgehend vermieden wird.

Ziel dieser Kurzfassung sollte es sein, koordinierend die Möglichkeit der Messung der Bodenfeuchtigkeit auf thermischer Grundlage zu diskutieren.



## Verockerung oder künstliche Raseneisenbildung und deren Ermittlung durch das Redoxpotential

A. Paschai <sup>+)</sup>

Raseneisenerz oder Sumpferze sind seit ältesten Zeiten im nördlichen Teil Schleswig-Holsteins, im deutsch-dänischen Grenzbezirk, bekannt gewesen. Sie bildeten die Grundlage einer heimischen Eisenindustrie. Diese Erze haben sich am Boden flacher, sumpfiger, moorastiger, oft mit Torf gefüllter Senken dadurch gebildet, daß eisenhaltiges Grundwasser hier mit Sauerstoff in Berührung kommt. Zunächst bildet sich, häufig an der Oberfläche, eine Lage Eisenocker, die sich immer mehr erhöht und dann von unten her verfestigt und entwässert wird. Eisenphosphat (vivonit) ist meist in größeren Mengen vorhanden und die Erze enthalten viel organische Substanz. In verfestigtem Zustand sind sie auch oft harzig glänzend und schlackig geformt. Neben vorwaltendem Eisen ist auch oft ein Mangan Gehalt vorhanden, der in einzelnen Fällen sogar überwiegen kann (Mangan-Wiesenerz). Meist sind es nur einzelne zusammenhanglose Klumpen, Fladen und Knollen, seltener eine zusammenhängende Decke, deren gesamte Mächtigkeit selten mehr als 1 m umfaßt. Als Überlagerung ist häufig Flachmoortorf oder einfach eine Rasendecke anzutreffen. Bakterien und Algen spielen bei allen Vorgängen der Eisenabscheidung eine wichtige Rolle. Es gibt direkte Bakterieneinwirkungen, und zwar aktiv, wenn Eisenhydratgel als Stoffwechselprodukt aus der Bakterienzelle ausgeschieden wird, und passiv, wenn Eisenhydratgel durch chemische oder physikalische Reaktionen mit Bestandteilen des Mediums an der Zelloberfläche entstehen. Hierbei kann das Eisenhydrat in den Zellbestandteilen abgelagert oder frei ins Wasser ausgeschieden werden.

Die Eisenbakterien finden anscheinend dort günstige Lebensbedingungen, wo auch auf nichtbiogenem Wege Eisenhydratgel abgeschieden wird, vermögen aber andererseits noch Eisen zu fällen, wenn, dieses auf anorganischem Wege nicht mehr möglich ist (1). Wie unsere Untersuchungen am Ockermaterial in verschiedenen Dränröhren zeigen, sind bei der biogenen Ausfällung des Eisens die Eisenbakterien nicht die einzigen dabei beteiligten Mikroorganismen. Auf jeden Fall

---

<sup>+)</sup>  Institut für Wasserwirtschaft u. Meliorationswesen, Kiel, Olshausenstraße  
40-60

gehen beide Vorgänge immer so ineinander über, daß eine scharfe Trennung nicht möglich ist (2).

Um die Ocker- und Raseneisenbildung etwa naturgetreu darzustellen, haben wir in einer stark verockerungsgefährdeten Fläche ein in etwa zutreffendes Beispiel gewählt, das in Abb. 1 dargestellt ist. Diese Fläche befindet sich in einer Senke bei Remels (Schleswig-Holstein), wo sie einem ständigen Quellwasserdrang unterworfen ist. Infolgedessen hatte sich am Fuß der Senke, wo auch der tiefste Punkt der Fläche liegt und in entgegengesetzter Richtung allmählich aufsteigt, im Laufe der Zeit Moor gebildet.

Aus bodenkundlicher Sicht treffen wir hier beim ersten Profil am Hang einen Gleyboden an, welcher allmählich über Anmoorgley am tiefsten Punkt in Moor übergeht. Dieses Bild verändert sich, sobald die Talsohle verlassen wird. Dann treffen wir zunächst einen anmoorigen Podsolgley, der bei weiterer Entfernung in Podsolgley übergeht. Diese bodentypologische Feststellung ist ebenfalls, durch Bestimmung von Redoxpotential im Boden, physikalisch-chemisch sehr gut erfaßbar.

Bei einer Tiefe von 60 - 80 cm unter der Oberfläche ist ein rH-Wert von 25,03 beim Gleyprofil anzutreffen, der bei den nächsten Profilen (Anmoorgley) auf 24,13 bzw. 24,95 absinkt. Dieser Wert sinkt allmählich auf 23,90 und 23,40 bei den Profilen 3 und 4 ab, bis der tiefste Wert mit 21,30 den niedrigsten Punkt erreicht hat. Bei ansteigender Oberfläche steigen die rH-Werte bei anmoorigem Podsolgley auf 22,9 und erreichen schließlich beim letzten Profil einen Wert von 23,40.

Durch Eindringen des eisenhaltigen Grundwassers von einer etwa 5 m höher gelegenen Fläche in das Tal und quellförmigen Austritt in die Senke, kommt das Grundwasser etwa bei dem Profil 2 direkt mit der Luft in Berührung. Von hier aus bis zum Profil 4 finden wir unterhalb des A-Horizont eine etwa 10 - 15 cm starke Ockerschicht, die zum Teil auch in die Anmoor- und Mooraufgabe eindringt. Interessant ist noch die Beobachtung, daß in der Anmoor- und Moorschicht, insbesondere in den Profilen 2 und 3, sehr viel Raseneisenstücke zu sehen sind, die ein Veralterungsprodukt der Ockermasse darstellen. Solche verockerungsgefährdeten Böden sind in Schleswig-Holstein in der Geest, insbesondere im Sander und bei den Übergängen von Geest zu organischen Böden, und in den Marschen verbreitet. Im letzten Fall sind die Böden dann am stärksten

gefährdet, wenn sie in der Nähe von Mooren liegen oder Moore als Unterlage besitzen. Die Folge davon sind die Verstopfung und Abflußstörungen der Dränrohre, die die erheblichen Reinigungsarbeiten und finanziellen Belastungen mit sich bringen.

Zur Feststellung der verockerungsgefährdeten Böden sind von verschiedenen Autoren mehrere Vorschläge gemacht worden. Diese Vorschläge beziehen sich auf die Bestimmung der in  $\text{AlCl}_3$ -Lösung löslichen  $\text{Fe}^{++}$  im Boden (Ignatieff) (3, 4) und der gebundenen und löslichen  $\text{Fe}^{++}$  durch heiße und konzentrierte  $\text{HCl}$ -Lösung (Thomasen). Schließlich wird die Bestimmung des  $\text{Fe}^{++}$ -Gehalts im Grundwasser vorgeschlagen (Ford und Spencer). Diese Methoden sind ausführlich beschrieben und nachgeprüft worden (Kunze, 5).

Das erste Verfahren, nämlich die Bestimmung des  $\text{Fe}^{++}$ -Gehalts im Boden, ist bekanntlich sehr aufwendig und für die Praxis schwer anwendbar. Im Gegensatz zu den ersten Verfahren ist die Eisenbestimmung im Grundwasser einfach und leicht durchführbar. Zu dieser Methode haben wir aber gewisse Einwände, mit denen wir uns hier befassen werden.

Die zu diesem Zweck untersuchte Fläche ist ein auf den Jungmoränen liegendes Niedermoor auf dem Gut Deutsch-Nienhof bei Kiel. Die Moormächtigkeit auf dieser Fläche variiert von 0 - 7 m. Um die Dynamik des Eisens im Grundwasser zu erfassen, haben wir von Januar bis Ende Mai 1966, d.h. solange das Grundwasser in Dränhöhe lag und die Dränrohre Wasser führten, Eisen- und  $\text{PH}$ -Bestimmung im Grundwasser durchgeführt.

Um eine repräsentative Aussage über die gesamte Fläche machen zu können, wählten wir folgende Stränge zur Untersuchung (Abb. 2).

- 1) Strang 3 mit 0 - 100 cm Moorauflage
- 2) Strang 5 (Sammler) mit 3 Strängen ohne Moorauflage.
- 3) Strang 8 mit 1 - 7 m Moorauflage.
- 4) Strang 11 (Sammler) mit 1 - 7 m Moorauflage.
- 5) Strang 12 (Sammler) mit 4 - 7 m Moorauflage und 40 cm Mineralboden als Deckschicht.
- 6) Strang 15 mit 3 - 4 m Moorauflage.

Aus den Analysendaten des Grundwassers ist folgendes zu entnehmen (Tab.1):

Der Eisengehalt im Grundwasser ist zeitlich und räumlich nicht konstant und unterliegt einer ständigen Veränderung. Außerdem ist festzustellen, daß der Eisengehalt im Grundwasser in der Übergangszone von Mineralböden zum Moor höher ist (z.B. Strang 3), als in den tieferen Lagen, und damit auch der Eisengehalt mit zunehmender Moormächtigkeit im Grundwasser abnimmt (z.B. Strang 8, 11, 15). Die nicht mit Moor bedeckten Stränge in der oberen Hanglage führen den geringsten Eisengehalt, was wiederum als Beweis für die Wirkung der Moore auf die Eisenmobilisierung gilt. Bei der Berücksichtigung der starken Schwankungen des Eisens im Grundwasser im Verlaufe eines Jahres und deren PH-Werte können wir entnehmen, daß in diesem Beispiel ein Niedermoor mit den PH-Werten um 6 im Grundwasser verockerungsgefährdet sein kann, wenn der Eisengehalt in verschiedenen Jahreszeiten und in verschiedenen Räumlichkeiten von 0,13 - 3,93 ppm schwanken würde.

Die gleiche Beobachtung wie am o.g. Beispiel gilt auch für die anderen geologischen und bodentypologischen Lagen Schleswig-Holsteins.

Aus diesen Beispielen geht hervor, daß es durch die Ermittlung des Eisens im Grundwasser prinzipiell möglich ist, eine Aussage über die verockerungsgefährdeten Böden zu machen. Diese Aussage aber wird gesichert, wenn man sich darüber einigen würde, daß die Grundwasserproben entweder bei einem bestimmten Grundwasserstand (z.B. Dräntiefe) oder in regenarmen Monaten, mindestens 3 Tage nach einem Regenfall, entnommen werden. Dabei muß man darauf achten, für die gesamte Fläche viele repräsentative Proben mehrere Male zu nehmen.

Nach unserer Erfahrung geben folgende Grenzskaalen des Eisengehaltes im Grundwasser Aufschluß über den Grad der verockerungsgefährdeten Böden.

TABELLE 2

Eisengehalt in ppm	0 - 0,2	0 - 1,6	1,6 - 4	4 - 10	> 10
Verockerungs- gefährdung	keine- sehr schwach	sehr schwach- schwach	schwach- mäßig	mäßig- stark	sehr stark

Diese Einteilung ist den Angaben von Spencer und Ford sehr ähnlich, während die Darstellung von Kunze sehr große Spannen umfaßt.

Wie aber aus den theoretischen Erläuterungen zur Frage der Redoxpotentialbestimmung im Boden zwecks Ermittlung deren Dränbedürftigkeit hervorgeht (6), wird es einleuchtend sein, daß dieses Verfahren auch zur Ermittlung der verockerungsgefährdeten Böden verwendet werden kann. Dabei muß berücksichtigt werden, daß das Redoxpotential im Boden den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterworfen ist, wie der Gehalt des Grundwassers an Eisen, d.h. zeitlichen und räumlichen Änderungen unterworfen ist.

Bei Berücksichtigung, daß die verockerungsgefährdeten Böden fast das ganze Jahr hindurch unter Wasser stehen und deren Grundwasserstände kaum tiefer als 1 m absteigen, haben wir aber die theoretische Zuversicht, daß die Änderungen des Redoxpotentials in diesen Böden nach oben hin begrenzt sind. Diese theoretische Möglichkeit wird bestätigt, wenn wir darauf achten, daß z.B. die rH-Werte des Niedermoores in Deutsch-Nienhof, welche einen schwach bis mäßig verockerungsgefährdeten Standort darstellen, bei einer Tiefe von 60 - 100 cm das ganze Jahr hindurch nicht die rH-Grenze 26 überschreiten.

Ein weiterer Beweis für diese Hypothese sind die rH-Werte des Profils bei Meldorf, die wiederum das ganze Jahr hindurch kaum die rH-Grenze von 26 unterschreiten.

Diese Beweiskette kann noch durch einige andere Beispiele von mäßig bis stark gefährdeten Standorten ergänzt werden (Abb.3).

Durch die bisherigen, von uns durchgeführten Untersuchungen in verockerungsgefährdeten Gebieten Schleswig-Holsteins kamen wir zu folgender Feststellung:

1. Alle Böden, die einen rH-Wert größer als 26 besitzen, sind nicht verockerungsgefährdet.
2. Dagegen sind die Böden, die rH-Werte zwischen 26 - 21 zeigen, mäßig bis stark verockerungsgefährdet.
3. Die Böden, die rH-Werte geringer als 21 aufweisen sind sehr stark verockerungsgefährdet.

Eine weitere Verfeinerung dieser Grenzen ist sehr schwer festzulegen. Mit Vorbehalt kann aber der rH-Wert von 24 als Grenze zwischen mäßig und stark verockerungsgefährdeten Standorten angegeben werden.

Es ist ratsam, bei stark saurem organischem Boden ( $\text{pH} < 5$ ), mit der Anwendung dieses Vorschlages vorsichtig zu sein, weil die rH-Werte in diesen Böden nicht allein durch das Verhältnis  $\text{F}^{+++} : \text{Fe}^{++}$  bestimmt werden, sondern auch eine Funktion der Wasserionenkonzentration darstellen.

Diese Beobachtungen müssen noch durch weitere Untersuchungen geprüft werden.

Die Bestimmung des Redoxpotential in diesen Untersuchungen sind alle im Labor und unter Stickstoff-Atmosphäre und bei  $25^{\circ}\text{C}$  durchgeführt worden. Als Meßelektrode wurde eine Platinelektrode Typ Pt 800-NS, F.Nr. K 005440 K und als Bezugslektrode eine Kalomelektrode Typ 303-90-NS, F. Nr. 002061 K von der Firma Ingold benutzt.

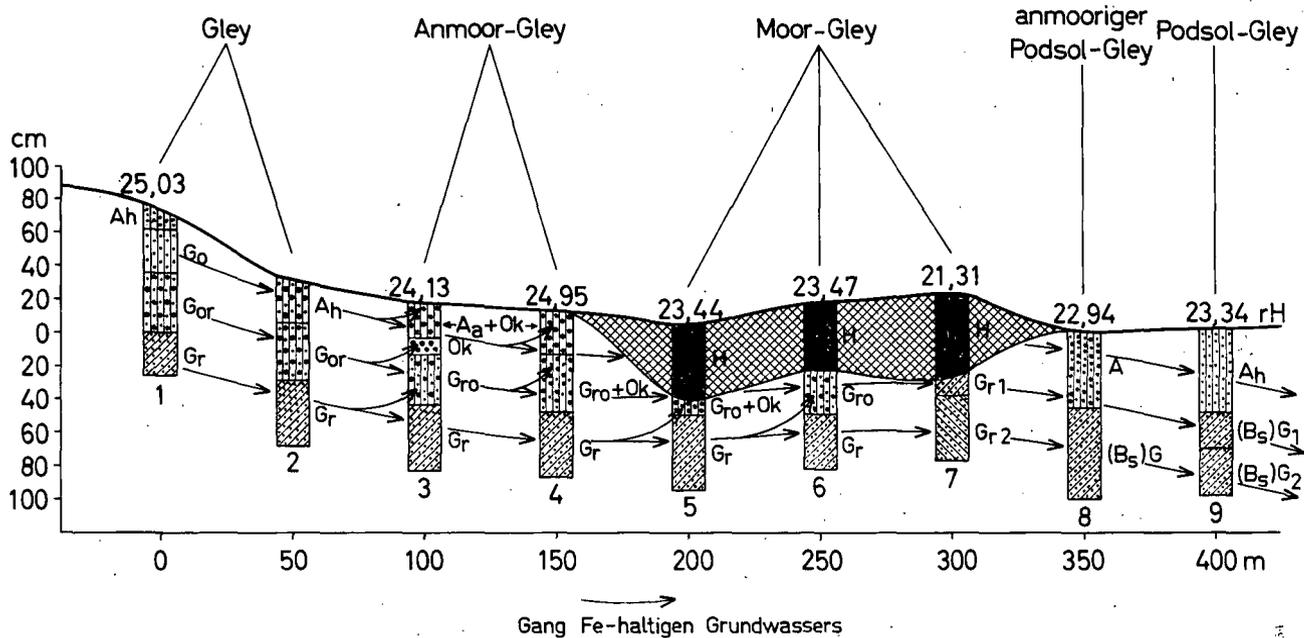
#### Literatur

1. Dr. Hans Schneiderhölm: Erzlagerstätten  
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1955
2. Paschai, A.: Zur Frage der Verockerung in Schleswig-Holstein.  
Mitteilung der D.B.G. Bd.4, S. 309-324, 1965
3. Sandell, E.B.: Colorimetric determination of traces of metals.  
Interscience publ. Inc., New York, 1950,  
2<sup>nd</sup> Edition, S. 75
4. Spencer, W. F.; Patrick, R. and Ford, H. W.:  
The occurrence and cause of iron oxide deposits  
in tile drains.  
Soil Sci. Soc. of America Proc. 27, 134, 1963
5. Kuntze, H.: Stand der Erfahrungen im Erkennen und Verhüten  
von Verockerungen.  
Wasser und Boden 5, 1966, S. 158-163
6. Paschai, A.: Das Redoxpotential als ein Verfahren zur Ermittlung  
des Dränbedarfes in Schleswig-Holstein.  
Mitteilung der D.B.G. Bd. 5, 1967

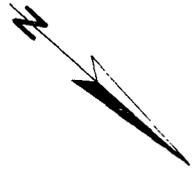
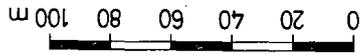
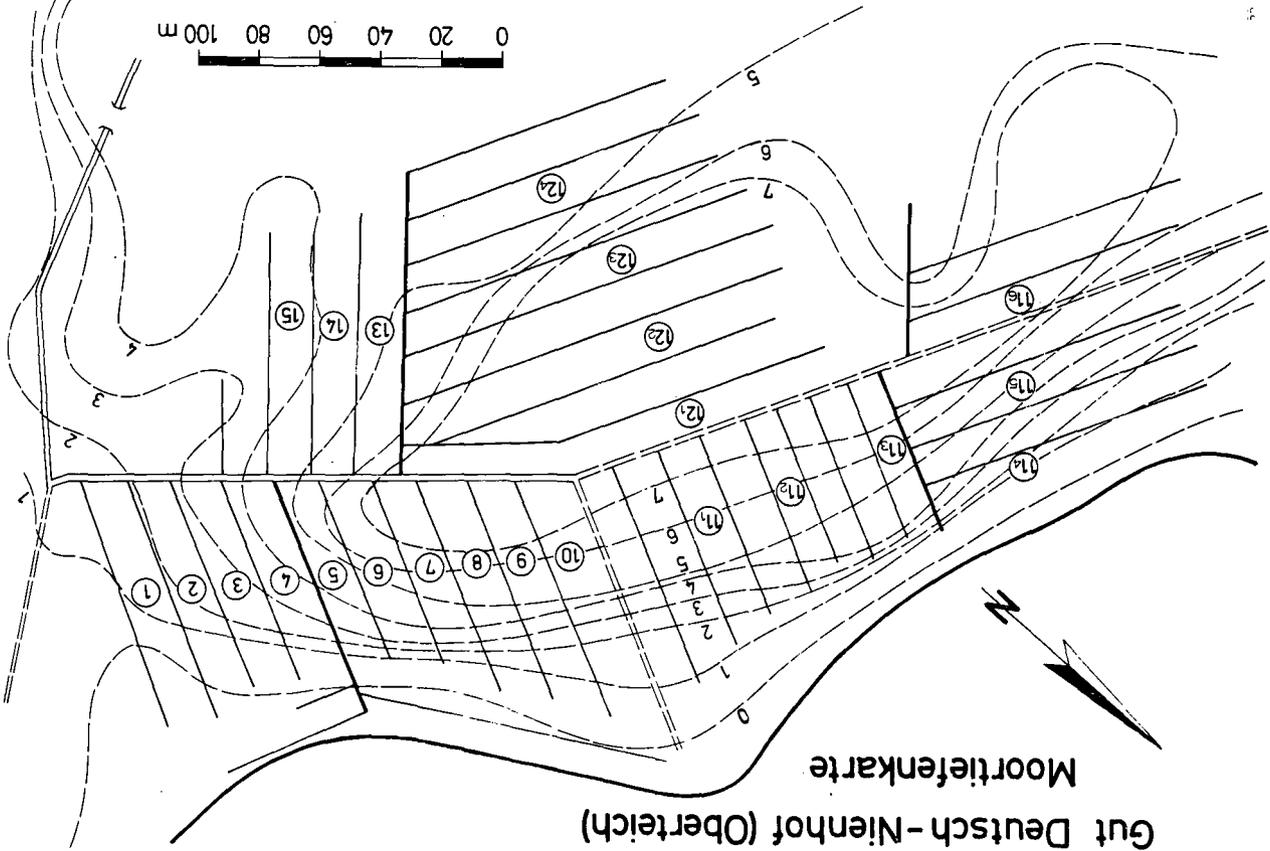
# ppm Eisen im Grundwasser Deutsch-Nienhof (Oberteich) 1966

	11. 1.	25. 1.	31. 1.	14. 2.	14. 3.	28. 3.	14. 4.	18. 4.	26. 4.	11. 5.	18. 5.
3	2,33	2,93	1,13	1,64	1,78	3,40	3,80	3,93	2,43	2,10	2,33
5	0,66	0,77	0,23	0,50	0,83	0,86	0,20	0,87	0,13	0,60	0,60
8	1,23	1,40	0,37	1,17	1,47	1,30	1,10	2,00	0,80	1,60	2,47
11	1,40	1,73	0,47	1,44	1,73	1,40	0,67	1,47	0,33	1,00	-
12	2,00	3,47	0,67	2,21	2,37	2,55	2,17	2,97	1,33	3,03	3,73
15	1,60	1,30	-	1,12	1,33	1,06	0,73	1,47	0,73	1,53	1,60

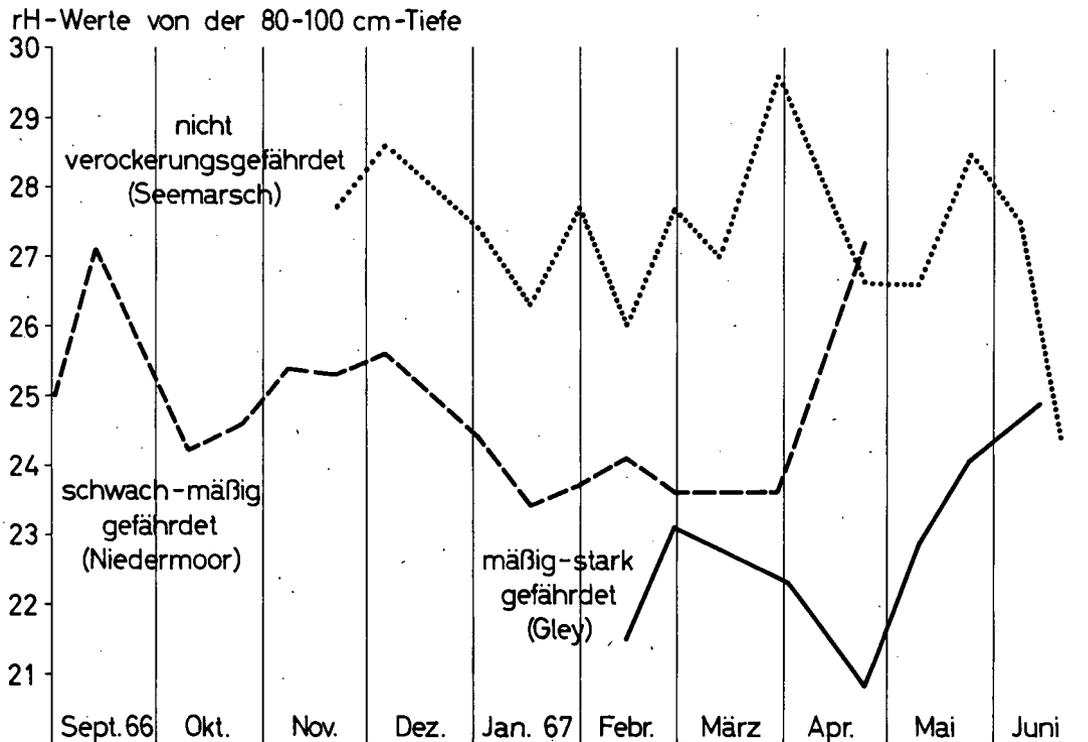
# Dynamik der Grundwasserbewegung und Ocker- bzw. Raseneisenerzbildung in Abhängigkeit von der Bodenmorphologie



Gut Deutsch-Nienhof (Oberreich)  
Moortiefenkarte



## Verlauf der rH-Werte in verschiedenen Böden in Zusammenhang mit ihrer Verockerungsgefährdung



## Das Redoxpotential als ein Verfahren zur Ermittlung des Dränbedarfs in Schleswig-Holstein

A. Paschai <sup>+)</sup>

Aus der geographischen Lage der schleswig-holsteinischen Landschaft ergibt sich, daß dieser Raum als Landbrücke zwischen Mittel- und Nordeuropa und als Landbarre zwischen Ost- und Nordsee, fast mit Naturnotwendigkeit eine bewegte Geschichte besitzt.

Schleswig-Holstein verdankt seine Existenz Skandinavien. Die mächtige Verwitterungsschicht, die einst im skandinavischen Gebirge lag, ist nämlich zum größten Teil in Schleswig-Holstein anzutreffen. In drei oder vier Kaltzeiten haben die Eismassen den Gesteinsschutt des Nordens abgeschürft und südwärts geschoben. Unter dem Einfluß der eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Bedingungen wurde die heutige Oberfläche Schleswig-Holsteins in die drei folgenden, recht klar gegliederten Zonen eingeteilt:

Das östliche Hügelland ist ein Teil jener Jungmoränenlandschaft, die, zwischen Dänemark und Baltikum die Ostsee südlich umrandend, sich von der Küste bis zum Baltischen Höhenrücken erstreckt. Diese Höhenrücken markierten den Rand des Inlandeises während der letzten Kaltzeit, etwa von 120 000 bis 20 000 v. Chr. Unruhige Oberflächenform mit vielen Seen zeichnet die Jungglaziallandschaft aus, die Erhebungen bis 60 m ü. NN besitzen. Aus dem nährstoffreichen Geschiebemergel, der bis zu etwa 0,5 – 2 m zu Geschiebelehm verwittert ist, haben sich hauptsächlich Parabraunerden, vielfach mit deutlichem Wassereinfluß (Pseudogley) und je nach der kleinmorphologischen Lage Gleyen und in abflußlosen Senken Moore entwickelt.

Die Geest bildet den sogenannten Mittelrücken des Landes und wird in Nieder- und Hohe Geest eingeteilt. Die Schmelzwasser, die sich unter dem Eis in Tun-

---

+) aus dem Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen der Christian-Albrechts-Universität Kiel Direktor: Professor Dr. H. Baumann

neltälern sammeln und als mächtige Ströme aus Gletschertoren austraten, schütteten vor dem Eisrand große Flächen, fast ebene Schuttkegel, auf, über die sie, in viel Wasserarme zerteilt und hin- und herpendelnd, nach Westen strömten. Während sie grobes Material, Geröll, Sand und Kies ablagerten, nahmen sie die feinen tonigen Schwebestoffe und die kalkreichen Gletschertrüber mit sich fort, weithin ins Meer. Die Schmelzwasserströme haben die Ablagerungen der vorhergehenden Kaltzeit weitgehend weggespült oder sie mit ihren Sandmassen zugeschüttet. Aber große Altmoränengebiete blieben doch erhalten, außerdem erheben sich an vielen Stellen kleine niedrige Altmoränenhöhen wie Inseln aus dem Meer. Die Altmoränen zeigten ursprünglich Eigenschaften wie die der östlichen Hügellandschaften, die sich jedoch während der letzten glazialen und periglazialen Bedingungen veränderten, d.h. das bewegte Relief wurde ausgeglichen, die Seen verschwanden, die Oberfläche nahm jene ruhigen, fast eintönigen Formen an, die für Altmoränenlandschaften bezeichnend sind und 20 - 30 m niedriger als Jungmoränenlandschaften liegen. Weil die Altmoränen und Sander leichte Böden aufweisen, faßt man beide Landschaften unter dem Namen Geest zusammen, d.h. unfruchtbares Land. Infolge des kühlen und regenreichen Klimas und des Ausweichens des Eichen-Buchen-Waldes, der ursprünglich große Teile der Geest bedeckte, und Ausbreitung der Kaluna-Heide, haben sich hier Feuchtpodsole gebildet.

Die Marsch, die jüngste der drei Landschaften, ist völlig vom Meer bestimmt. Sie entstand, als die See in das flache Nordseebecken einbrach und zwischen 4 000 und 2 000 v.Chr. zunächst den dithmarscher, dann den nordfriesischen Geestrand erreichte. Im Küstenraum lagerte das Meer im Rhythmus von Ebbe und Flut Sinkstoffe, Sand und Schlick ab. Die ältesten Auflandungen stellen teilweise unter NN gelegene, stark mit Moorschichten bedeckte, schwere Tonböden dar. Als Folge der o.g. geologischen und geographischen Gegebenheiten und die Tatsache, daß die Wasserscheide zwischen Nord- und Ostsee stellenweise nur wenige Kilometer von der Ostseeküste entfernt verläuft, ist die starke Verbreitung der Grundwasserböden in Schleswig-Holstein zu sehen. Trotz erheblicher Anstrengungen zur Entwässerung dieser Böden sind immer noch etwa 140 000 ha Land zu entwässern (1, 2).

Zur Ermittlung des Dränbedarfs dieser Böden gibt es immer noch keine exakte, physikalisch-chemisch erfaßbare Methode, um eine verbindliche Aussage über den Dränbedarf solcher Flächen machen zu können. Infolgedessen sind die Kul-

turtechniker im allgemeinen und die Dränspezialisten im besonderen nur auf ihre eigene Erfahrung und auf die der ortskundigen Landwirte angewiesen. Dabei tritt eine große Unsicherheit in der Begrenzung der dränbedürftigen Fläche innerhalb eines Feldschlages auf. Je nach der Art der Wasserwirkung unterscheidet man bodenkundlich Gley- und Pseudogleyböden. Unter Gley versteht man einen Boden, der unter dem Einfluß des Grundwassers steht, im Pseudogley ist dagegen Stauwasser wirksam. Die Einteilung in Gley und Pseudogley gibt also Auskunft über die Ursache der Vernässung, sie besagt aber nicht, wie stark die Vernässung an diesem betreffenden Standort ist.

Um diese kulturtechnisch wichtigen Fragen zu beantworten, haben wir uns seit einiger Zeit bemüht, einen offenkundigen empirischen Zusammenhang zwischen dem Grad der Vernässung und dem Redoxpotential eines Bodens durch potentiometrische Messungen zu verfolgen. Zur theoretischen Grundlage des Redoxpotentials muß noch erwähnt werden, daß jeder Boden viele oxydierende und reduzierende Substanzen enthält, und man darf annehmen, daß beide Stoffsorten sich untereinander ins Gleichgewicht gesetzt haben. Infolge der Anreicherung der Bodenlösung mit Elektronendonatoren (wie  $H_2S$  und  $CO_2$ ) und gleichzeitiger Drosselung der Zufuhr von Elektronenakzeptoren (wie z.B. Sauerstoff) werden mehrwertige Elemente, wie Eisen und Mangan, die Bestandteile unserer Bodenminerale sind, reduziert. Dieser Reduktionsvorgang setzt sich bis zur Erreichung des Gleichgewichtes, dem ein charakteristisches Redoxpotential entspricht, fort.

Dieser Zustand läßt sich rechnerisch nach der Nernst'schen Gleichung in der folgenden Form ausdrücken:

$$1) \frac{[Fe^{+++}]}{[Fe^{++}]} = \frac{\text{Aktivität der Ox}}{\text{Aktivität der Red}} \quad 1) E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Fe^{+++}]}{[Fe^{++}]}$$

E = Elektrodenpotential

$E_0$  = Normal-Potential

R = Gas-Konstante

T = Absolute Temperatur

n = Anzahl der beteiligten Elektronen

F = Coulombsche Zahl (96500)

Oder wenn auf beiden Seiten der Reaktionsgleichung mehrere Substanzen mit verschiedenen stochiometrischen Faktoren auftreten und zu den n-Elektronen im Elektrodenprozeß übertragen werden:

$$2) \quad E = \text{Const} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[B_1]^{\mu_1} \cdot [B_2]^{\mu_2} \dots}{[A_1]^{\nu_1} \cdot [A_2]^{\nu_2} \dots}$$

oder direkt durch eine potentiometrische Meßkette gemessen werden (3). Eine potentiometrische Meßkette besteht aus der Meßelektrode - in diesem Fall Platinelektrode - und Bezugselektrode. Die jeweils gemessene Differenz E der Einzelpotentiale oder der elektrochemischen Kraft der Meßkette der zu untersuchenden Bodensuspension wird in (mV) angegeben. Das gemessene Potential gegenüber einer normalen Wasserstoffelektrode wird als Eh bezeichnet. Da aber für praktische Zwecke die Kalomel-Elektrode im Gebrauch ist, kann man nach folgender Formel die  $E_{\text{Kal}}$  in Eh umrechnen.

$$3) \quad E_h = E_{\text{Kal}} + 248,9 \text{ (mV) bei } 18^\circ \text{ C.}$$

Eh = Elektrodenpotential, bezogen auf die normale Wasserstoffelektrode

$E_{\text{Kal}}$  = Elektrodenpotential, bezogen auf die Kalomelektrode

$E_K$  -Werte bei verschiedenen Temperaturen kann man aus folgender Tabelle entnehmen (4).

Tabelle 1

Temp <sup>o</sup> C	15	18	20	25	35	38	40
$E_K$ (mV)	250,8	248,9	247,6	244,3	237,6	235,6	234,2

Temp <sup>o</sup> C	50	60	70	80	90	100
$E_K$ (mV)	227,1	219,8	212,3	204,6	196,6	188,4

Ein anderes Maß für die Beurteilung des elektronischen Redox-Potentials einer Probe ist der Wasserstoffdruck, der an einer Wasserstoffelektrode herrschen müßte, wenn sie (bei gleichem PH) das gleiche Potential zeigen soll, wie die Redox-elektrode in der Probelösung. Man definiert analog zum PH eine Größe rH

$$4) \quad rH = - \log PH_2$$

Damit und mit Einführung des PH für die Wasserstoffionenkonzentration in der Nernst'schen Gleichung für eine Wasserstoffelektrode erhalten wir bei einer Temperatur von 18° C folgende Gleichung (5):

$$5) \quad rH = \frac{Eh}{28,9} + 2 PH$$

Die so gewonnenen rH-Werte in verschiedenen Systemen sind von ihren PH-Werten unabhängig und daher auch miteinander vergleichbar.

Als Ergebnis der zahlreichen potentiometrischen Untersuchungen an verschiedenen dränbedürftigen und nichtdränbedürftigen Standorten und ihren Zwischenstadien in schleswig-holsteinischen Böden haben wir folgende Resultate erhalten:

- 1) Alle Böden, die geringere rH-Werte besitzen als 28,5 sind unbedingt dränbedürftig.
- 2) Die Standorte, die rH-Werte zwischen 28,5 und 30 besitzen, können als bedingt dränbedürftig bezeichnet werden.
- 3) Alle Standorte mit einem rH-Wert größer als 30 sind nicht dränbedürftig.

Tabelle 2

rH-Werte	Dränbedürftigkeit
< 28,5	unbedingt dränbedürftig
28,5 - 30	bedingt dränbedürftig
> 30	nicht dränbedürftig

Die zu diesen Untersuchungen ausgewählten Standorte sind auf die Jungmoränenlandschaften im östlichen Teil Schleswig-Holsteins und auf das Sander- und Altmoränengebiet und schließlich auf die alluvialen Ablagerungen des westlichen Teils des Landes verteilt. Dabei haben wir darauf verzichtet, jedes Mal ein ganzes Bodenprofil zu untersuchen, sondern beschränkten uns nur auf eine Tiefe von 60 - 80 cm bei jedem Profil. Die Wahl dieser Tiefe (Dräntiefe) haben wir darum vorgenommen, weil wir der Meinung waren, daß die obersten 100 cm, die als Wurzelraum bezeichnet werden, für diese Untersuchung maßgebend sind. Um die gewonnenen Resultate zu vertiefen und ihre Brauchbarkeit weiter zu prüfen, haben wir auf einigen typischen Profilen der schleswig-holsteinischen Böden im Verlaufe eines Jahres die potentiometrischen Untersuchungen weiter durchgeführt.

Bei diesen Untersuchungen haben wir uns nicht mit einer Tiefe von 60 - 80 cm begnügt, sondern es wurde das ganze Profil von 0 - 100 cm Tiefe für je 20 cm aufgenommen. Diese Untersuchungen wurden 14-tägig, das ganze Jahr hindurch, durchgeführt.

Es sollte noch geprüft werden, ob der rH-Wert von 28,5 als Grenzwert für unbedingt dränbedürftige Böden ein Jahr hindurch die Gültigkeit besitzt. Um die eventuellen Zusammenhänge zwischen dem Potentialverlauf und den Umweltbedingungen zu erfassen, haben wir in dieser Periode auch den Grundwasserstand im Boden gemessen. Anhand zweier Beispiele werden hier die gewonnenen Ergebnisse dargestellt.

Das erste Beispiel zeigt den Verlauf der Potentiallinien von einem Niedermoor auf dem Geschiebelehm in Deutsch-Nienhof bei Kiel (Abb.1). Daraus ist zu entnehmen, daß die größten Schwankungen der Potentiallinien bei den obersten 40 cm, nämlich bei der Tiefe von 0 - 20 und 20 - 40 cm vorliegen. Die rH-Werte dieser Schicht laufen in den trockenen Juni- und Julimonaten 1966 weit über die rH-Grenze 28,5 hinaus. Im Gegensatz zu dieser Schicht liegen die rH-Werte der 60 - 80 cm-Tiefe, trotz jahreszeitlichen Schwankungen weitgehend unterhalb dieser Grenze. Interessant ist noch die Beobachtung, daß die rH-Werte der 40 - 100 cm-Tiefe in den trockenen Juni- und Julimonaten 1966 trotz absteigenden Grundwasserstandes und aufsteigender Lufttemperatur noch niedriger wurden, aber bei nachfolgendem Regenfall zuerst bei den obersten 40 cm und dann auch bei tieferen Schichten ansteigen. Unserer Vorstellung nach ist diese Erscheinung darauf zurückzuführen, daß bei absteigendem

Grundwasserstand, der in diesem Fall nicht die Grenze von 90 cm Tiefe überschreitet, eine bessere Durchlüftung des Bodens mit sich bringt. Dadurch wird einerseits die bakteriologische Tätigkeit im Boden gefördert, andererseits die vorhandenen Eisensulfide im Boden oxydiert und der Boden mit  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$ -Gasen angereichert. Die Anreicherung der Böden mit  $\text{H}_2\text{S}$  ist durch starken  $\text{H}_2\text{S}$ -Geruch besonders auffällig. Diese Erscheinung wird rückgängig und der Boden gereinigt, sobald der Regenfall einsetzt.

Wegen dem ständig hohen Grundwasserstand ist hier keine klare Beziehung zwischen dem GW-Stand und rH-Werten zu sehen. Vielmehr besteht der Eindruck, daß sich die rH-Werte der oberen 40 cm-Schicht reziprok und die rH-Werte der tieferen Schichten parallel zum Grundwasserstand im Boden halten.

Diese Beobachtung wird verständlich, wenn man sich die oben genannten Erläuterungen (nämlich Anreicherung des Bodens mit  $\text{H}_2\text{S}$  und  $\text{CO}_2$ -Gasen bei absteigendem Grundwasserstand) und die Tatsache vor Augen hält, daß in Wirklichkeit dieses Profil das ganze Jahr hindurch unter Wasser steht und daß es nur die oberste 40-cm-Schicht ist, der eine Grundwasserschwankung unterliegt.

Im zweiten Beispiel untersuchen wir einen Seemarschboden bei Meldorf. Der Grundwasserstand dieses Profils liegt den größten Teil des Jahres hindurch unter 60 cm. Deshalb wird dieser Boden hinsichtlich des Dränbedarfs von uns als Grenzboden bezeichnet, d.h. ein Dränbedarf liegt hier nur im Winter und Frühjahr vor.

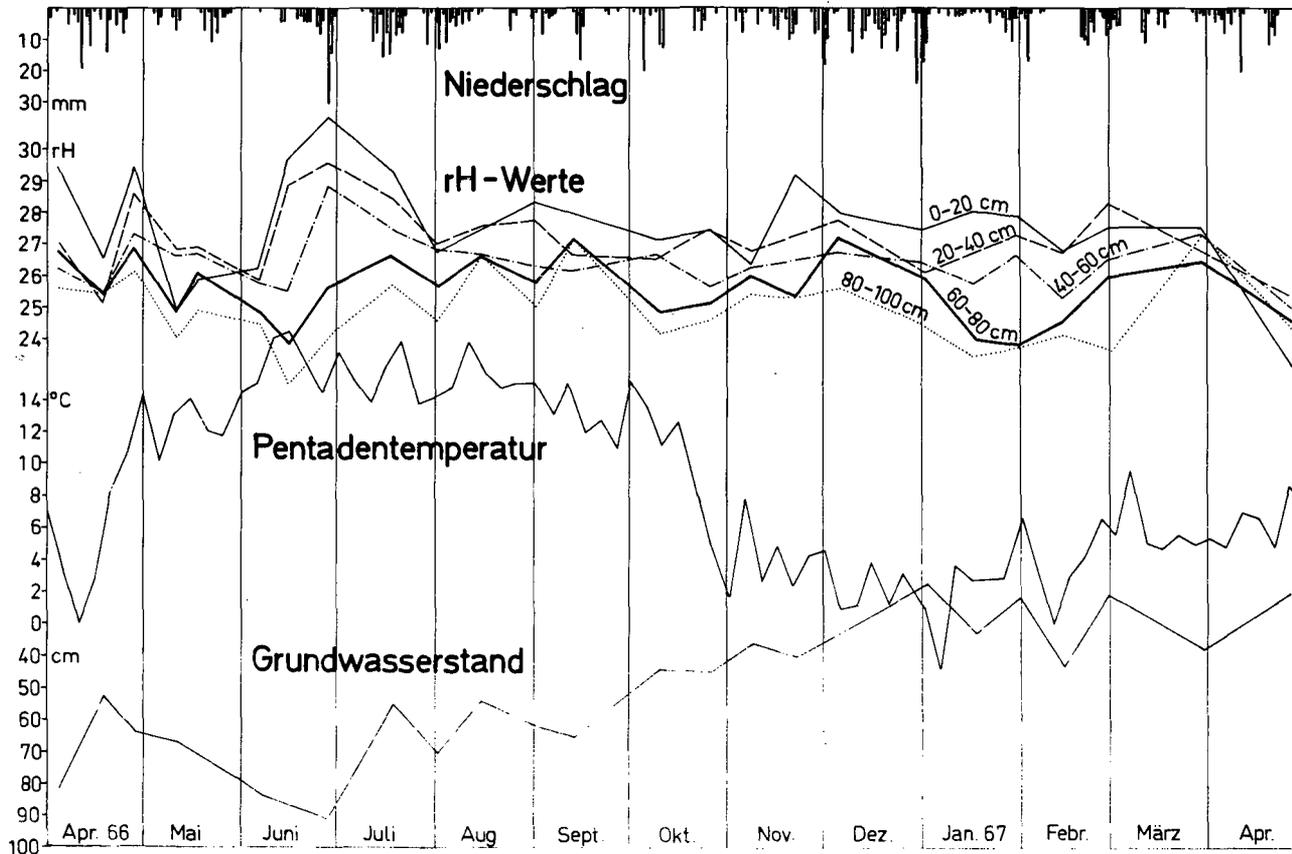
Eine Analyse des Linienverlaufs der rH-Werte in diesem Profil zeigt (Abb. 2), da die rH-Grenze 28,5 durch die rH-Linien 40 - 100 nur zweimal, im März und Juni, überschritten wird, was auf niedrigen Grundwasserstand zurückzuführen ist. Die Anfang August 1966 erreichte rH-Spitze ist darauf zurückzuführen, daß die Niederschläge dieser beiden Monate mit -82% und -78% unter dem langjährigen Monatsdurchschnitt lagen.

Interessant ist auch die Feststellung, daß im Gegensatz zum ersten Profil hier eine ständige reziproke Beziehung zwischen dem Verlauf der rH-Werte und dem Grundwasserstand zu beobachten ist.

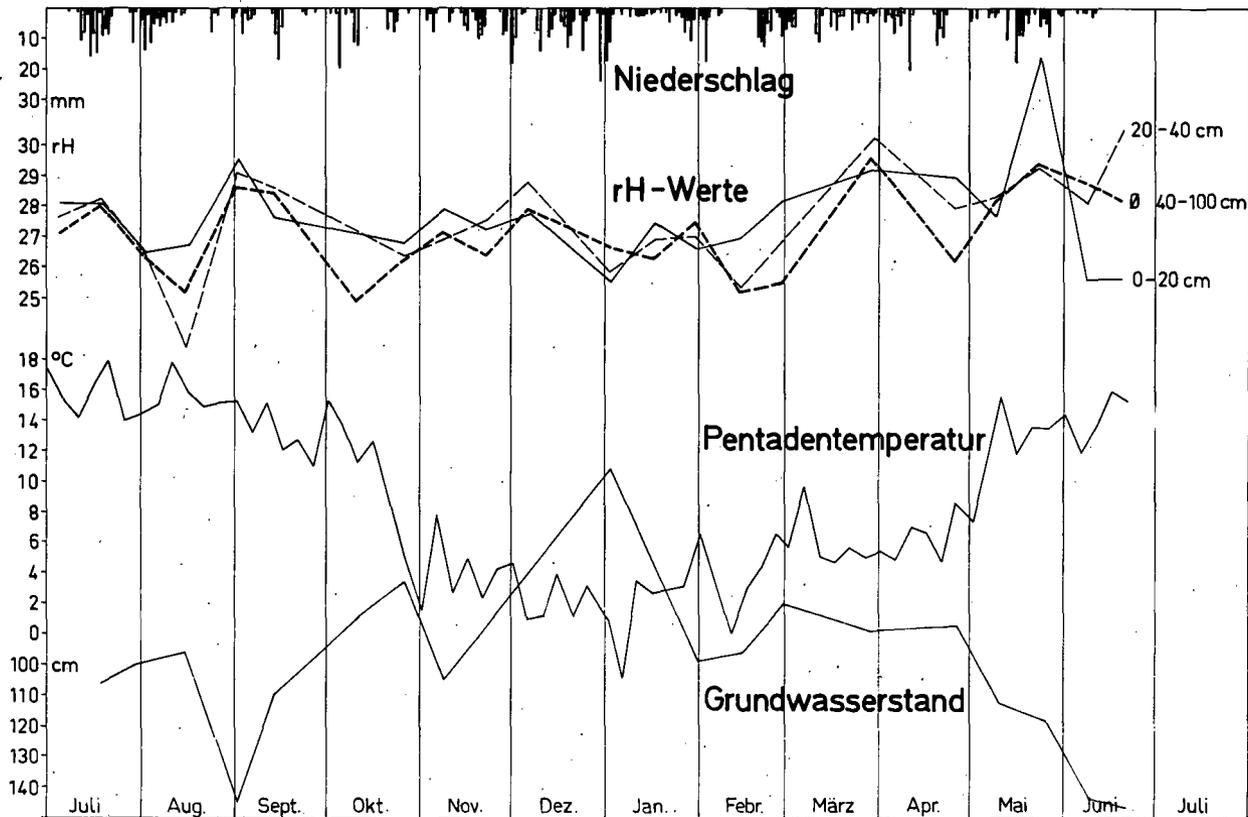
## Schrifttum

1. Topographischer Atlas Schleswig-Holstein  
herausgegeben vom Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein  
Karl Wachholtz Verlag
2. Baumann, H.: Über das Verhalten oberflächennahen Grundwassers  
Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen. 1963 S. 65-73
3. Mechailis, L.: Oxydations-Redoxpotentiale.  
Springer Verlag, Berlin 1933
4. Metrohm Bulletin, Vol. 1 No. 2 Febr. 1950
5. Hewitt, L.F.: Oxidation - Reduction Potentials in Bacteriology  
and biology

# Potentialverlauf eines Niedermooses (Deutsch-Nienhof 1966/67)



# Potentialverlauf einer Seemarsch (Meldorf 1966/67)



## Verbesserung des Wasser- und Lufthaushaltes von Para- braunerden aus Löß durch Tiefumbruch

M. Renger

An zwei Tiefumbruchversuchen (Banteln und Poppenburg bei Elze) auf Para-bräunerde aus Löß wurden folgende boden-physikalischen Untersuchungen durch-geführt:

1. Tensiometermessungen
2. Wasserdurchlässigkeitsmessungen im wassergesättigten und -ungesättigten Zustand
3. Hohlräumverteilungsmessungen.

Die Bodenfeuchtemessungen mit Hilfe von Tensimetern zeigen, daß die Para-bräunerden aus Löß bei den Niederschlagsverhältnissen in Niedersachsen volle Wassersättigung nicht erreichen. Bei den zeitweiligen Vernässungen, die regel-mäßig im Frühjahr und in Zeiten hoher Niederschläge auftreten, handelt es sich um überschüssiges kapillar-gebundenes Wasser. Dieses Wasser kann nur auf dem Wege des kapillaren Fließens abgeführt werden. Für diese Fließbewegung stellt der  $B_t$ -Horizont ein Hindernis dar, da der Anteil der groben Poren ( $> 10 \mu$ ) im  $B_t$ -Horizont bedeutend niedriger liegt als im  $A_1$ -Horizont. Durch-lässigkeitsmessungen bei 30 cm Wasserspannung ergaben, daß die kapillare Leitfähigkeit im  $A_1$ -Horizont im Durchschnitt 5-10 mal so hoch ist wie im  $B_t$ -Horizont.

---

+) Dr. Manfred Renger, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung,  
Hannover-Buchholz

Durch den Tiefumbruch wird der starke Sprung in der Porengrößenverteilung, der beim Übergang vom A<sub>1</sub>- zum B<sub>t</sub>-Horizont auftritt, beseitigt. Dadurch können hohe Niederschlagsmengen im Frühjahr im Vergleich zur nicht gepflügten Parabraunerde schneller abgeführt werden. Durch den Tiefumbruch wird außerdem der Tongehalt ( $< 2 \mu$ ) an der Oberfläche erhöht. Dies führt zu einer Erhöhung der Aggregatstabilität und zu einer Verringerung der Verschlammungsneigung und damit verbunden zu einer Verbesserung des Lufthaushaltes.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß für das Tiefpflügen der niedersächsischen Parabraunerden aus Löß aus bodenphysikalischer Sicht folgendes spricht:

1. Verbesserung der Wasserbewegung und damit verbunden eine Herabsetzung der Vernässungsgefahr.
2. Verbesserung des Lufthaushaltes.
3. Verminderung der Verschlammungsneigung.

Über einige Probleme des Bodenwasserhaushaltes aufgrund  
von hydrologischen Untersuchungen in einem kleinen Nie-  
derschlagsgebiet der Altmoräne Schleswig-Holsteins

U. Schendel <sup>†)</sup>

Grob vereinfacht kann man sagen, daß sich der Wasserkreislauf in den oberen Bodenschichten in drei Phasen vollzieht:

- 1) Die Phase der Wassereindringung (Infiltration)
- 2) Die Phase der Bereitstellung als pflanzenverfügbares bzw. pflanzennutzbare Wasser
- 3) Die Verbrauchsphase, in der das Wasser durch Evaporation und Transpiration (Evapotranspiration) verdunstet

Die Übergänge von der einen zur anderen Phase sind fließend, Bereits während der Eindringung des Wassers findet ein Verbrauch durch Verdunstung statt. Die drei Phasen sind hier lediglich deswegen getrennt nacheinander aufgeführt, um der bodenphysikalischen Modellvorstellung zu genügen, die allerdings nolens volens zu einer statischen Betrachtungsweise des Bodenwasserhaushaltes hinleitet. Danach dringt das Wasser "nach dem Prinzip der Füllung zunächst in die kleinsten Räume in die oberste Bodenlage ein. Erst wenn diese Lage auf ihre Feldkapazität aufgefüllt ist, tritt das Wasser aus dem Inneren der Krümel in die größeren, nichtkapillaren Hohlräume ein und verdickt dadurch den Wasserfilm ihrer Wände. Bei anhaltenden Niederschlägen beginnt das Wasser dann unter der Wirkung des hydrostatischen Druckes abwärts zu strömen". Soweit kennzeichnet Laatsch (6) die Wassereindringung in den Boden, und insoweit ist diese Vorstellung wohl auch allgemein akzeptiert.

In der zweiten Phase der sog. "Verweilphase", in der das Bodenwasser zur Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln "bereitgestellt" wird, kennzeichnen bestimmte Grenzwerte den Verfügbarkeitsgrad des Bodenwassers (Feldkapazität, Welkepunkt).

---

†) Institut für Wasserwirtschaft u. Meliorationswesen, Kiel, Olshausenstraße 40-60

An diese Grenzwerte bzw. die zwischen ihnen liegenden Bereiche des Wassergehaltes sind nun bestimmte Vorstellungen über die Wasserbewegung im Boden geknüpft, so z.B. die, daß Sickerwasser im allgemeinen erst dann auftritt, wenn der Zustand der sog. Feldkapazität erreicht ist, bei dem alle Hohlräume bis zu einem äquivalenten Grenzdurchmesser von  $50 \mu$  mit Wasser gefüllt sind. Daß diese Voraussetzung für die Sickerwasserbewegung nicht immer zutrifft, zeigen die Ergebnisse aus mehrjährigen hydrologischen Untersuchungen in einem kleinen Einzugsgebiet der Altmoräne Schleswig-Holsteins.

## 2. Die Wasserbewegung im Boden aufgrund von Untersuchungen über die hydrologische Bilanz

Aus 5-jährigen registrierenden Aufzeichnungen über den Abfluß im Töschbach in unserem Beobachtungsgebiet, Hennstedt, Kr. Norderdithmarschen (Größe des Niederschlagsgebietes:  $6,9 \text{ km}^2$ , Standort: Altmoräne, Hauptbodenart: Sand bis lehmiger Sand mit Niedermooranteilen in den Niederungen) wurden einige typische Schreibpegelaufzeichnungen über den Abfluß im Töschbach ausgewählt, die die Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß im Wasserlauf zeigen.

Abb. 1 Niederschlag und Pegelstand im Januar 1965 (Niederschlagsgebiet des Töschbaches in Hennstedt, Krs. Norderdithmarschen)

Abb. 2 desgleichen im Mai 1965

Abb. 3 desgleichen im September 1965

Aus allen drei Schreibpegelaufzeichnungen ist eine unmittelbare Reaktion der Abflüsse auf die Niederschläge zu erkennen. Im Winter bei weitgehend gesättigtem Boden ist diese prompte Reaktion der Abflüsse auf die Niederschläge, wie sie die Abb. 1 zeigt, zu erwarten. Das Verhältnis von Niederschlag zu Abfluß beträgt in dieser Jahreszeit nahezu  $1 : 0,6$  bis  $0,8$ . Aber auch bei stärkerer Austrocknung des Bodens in den Sommermonaten reagiert der Abfluß bei Niederschlägen über  $10 \text{ mm}$  ohne wesentliche zeitliche Verzögerungen (siehe 8. bis 10. Mai 1965, Abb. 2, sowie 6. bis 28. September 1965, Abb. 3).

Würde nun - der üblichen Vorstellung folgend - Sickerwasser erst dann auftreten, wenn der Zustand der Feldkapazität erreicht ist, so wäre das rasche Anspringen der Pegelstände im Töschbach auf die Niederschläge nicht denkbar. Es müßte dann nämlich besonders bei Bodenwassergehalten unter Feldkapazität eine gewisse Verzögerung zu beobachten sein, bis das Sickerwasser den oberflächennahen Grundwasserspiegel erreicht, um dann im Wasserlauf abzufließen. Daß die Bedingung der Auffüllung des Bodens auf Feldkapazität als Voraussetzung für den Sickerwasseranfall nicht erfüllt zu sein braucht, zeigt die nächste Abbildung (Abb.4).

Abb. 4 Niederschläge, Bodenfeuchte bis 1 m Tiefe, Grundwasserstand und Abfluß im August 1963 im Niederschlagsgebiet des Töschbaches (Altmo-räne Schleswig-Holsteins)

Die starken Niederschläge nach dem 10. August 1963 lassen die Bodenfeuchte (ermittelt nach der klimatischen Wasserbilanz) rasch ansteigen. Parallel dazu steigen auch die oberflächennahen Grundwasserstände und zwar wegen des größeren horizontalen Wasserzuflusses in der Niederung stärker (82 cm) als auf den höher gelegenen Flächen des Niederschlagsgebietes (50 cm). Erst im letzten Drittel der Anstiegsperiode kehren sich die Verhältnisse um. Es setzt jetzt die von Baumann (1) so bezeichnete natürliche Entwässerungswirkung der Landschaft bei hohen Grundwasserständen ein; das Grundwasser steigt nur noch verhältnismäßig wenig in der Niederung an (21 cm). In den höheren Lagen ist demgegenüber noch ein größerer Anstieg möglich (42 cm), weil hier bei tieferen Grundwasserständen die natürliche Entwässerungswirkung der Landschaft noch nicht voll eingesetzt hat.

Der Abfluß reagiert zunächst noch kaum auf die um den 10. August herum einsetzenden Niederschläge, um dann aber am 18. August nach einem Niederschlag von 36 mm sprunghaft hochzuschwellen.

Es überrascht, daß sowohl die oberflächennahen Grundwasserstände als auch die Pegelstände im Wasserlauf so rasch auf die Niederschläge ansprechen, obwohl der Zustand der Feldkapazität noch längst nicht erreicht ist. Die Grundwasserstände steigen schon an, obwohl der Wassergehalt im Bodenfeuchtespeicherraum noch ziemlich weit unterhalb 50 % der nutzbaren Wasserkapazität liegt. Die Abflußspitze tritt bereits bei einem Wassergehalt von nur knapp über 50 % der nutzbaren Kapazität auf.

Die Vorstellung, wonach nur das in den größeren Hohlräumen oberhalb der Feldkapazität absickernde Wasser in das Grundwasser und schließlich in die Wasserläufe

gelangt, trifft demnach offenbar nicht in vollem Umfange zu. Blume, Münnich und Zimmermann führen Verdrängungseffekte als eine der Ursachen für die Wasserbewegung im Boden an (2). Sie stellen fest: "Die Hauptmenge des Wassers bewegte sich unter Verdrängung der älteren Bodenlösung sehr langsam nach unten ..."

Wenn man einmal von Spalten, Rissen, Sand- und Kiesadern und größeren Wurzelbahnen als vertikale Wasserleiter absieht, so wird für die hier beobachtete rasche Kommunikation des Niederschlagswassers mit dem Grundwasser und dem Abfluß im Wasserlauf folgende Ursache vermutet:

Nach dem Eindringen von Niederschlagswasser in den Boden kommt es zu einem schnellen Aufbau instabiler Druckübertragungssysteme, die sich von den obersten Bereichen des Bodens bis hin zum Vorfluter oder zum Drän erstrecken. Diese Systeme bleiben je nach Menge und Dauer der Niederschläge meist nur verhältnismäßig kurzfristig intakt; bei nachlassendem Regen lösen sie sich in dem Maße, wie die Luft nach oben entweichen kann, wieder rasch auf. Hohe Anteile wassergefüllter Hohlräume fördern die Druckübertragung und erhöhen dadurch den Sickerwasseranfall. Die in den Hohlräumen unterhalb der nach Niederschlägen durchfeuchteten Schicht enthaltene Luft verzögert die Druckübertragung nicht wesentlich, solange nach oben hin voll mit Wasser gefüllte Kapillarsysteme - und sei es auch nur für eine kurze Zeitdauer - bestehen, in denen die Luft nicht entweichen kann. Unter diesen Bedingungen springen die oberflächennahen Grundwasserstände und die Pegelstände im Wasserlauf auch auf kleinere Niederschlagsmengen rasch an.

Abfluß unmittelbar auf der Bodenoberfläche sowie aus dem Bodenfeuchtespeicherraum - im angelsächsischen Schrifttum (7) als "surface outflow" und "interflow" bezeichnet - erklären nur teilweise die unmittelbare Reaktion der Pegelstände im Wasserlauf auf die Niederschläge. Bei einem Geländegefälle von maximal nur etwa 1% im Niederschlagsgebiet des Töschensbaches gelangt der größte Teil der abfließenden Wassermenge über den Boden und das oberflächennahe Grundwasser in den Wasserlauf. Stärkere Abflüsse direkt auf der Bodenoberfläche sind hier bislang nicht beobachtet worden und erscheinen auch deswegen fast ausgeschlossen, weil der Wasserlauf durch Räumungsarbeiten zu beiden Seiten verwallt ist. Auch aufgrund von Feuchteakkumulationen auf oder direkt unter der Bodenoberfläche entstehende Sickerbahnen (zungen-, film- oder rinnenförmige Versickerungen), wie sie von Ewald, Vetterlein und Buchholz (4) sowie von Olbertz (8) auf sandigem Boden festgestellt wurden, können die beobachteten Erscheinungen kaum erklären.

Zunker (11) spricht in diesem Zusammenhang von Spannungserhöhungen der Grundluft. Er äußert dazu "daß Spannungserhöhungen der Grundluft bei Niederschlägen und Überflutungen auftreten, die sowohl die Menge des einsickernden Wassers herabmindern, als auch den Wasserspiegel in Bohrlöchern erhöhen".

### 3. Verdunstung aus dem Bodenfeuchtespeicherraum und dem oberflächennahen Grundwasser

Durch den Einbau von zwei Grundwasserlysimetern, deren Bau und Funktionsweise an anderer Stelle beschrieben ist (9), war es möglich, neben der Gebietsverdunstung für das gesamte Niederschlagsgebiet des Töschenbaches aus der Differenz von Niederschlag minus Abfluß (Tab. 1) auch diejenigen Anteile zu ermitteln, die bei hohen Grundwasserständen, wie sie in den Niederungen des Niederschlagsgebietes vorkommen, direkt aus dem oberflächennahen Grundwasser verdunsten (Tab.2).

Es sei zunächst die Tabelle 1 betrachtet.

Im Mittel der drei Wasserwirtschaftsjahre flossen bei einem Niederschlag von 798 mm 387 mm im Wasserlauf ab, 411 mm entfielen auf die Verdunstung. Das Verhältnis von Abfluß zu Verdunstung betrug also nahezu 50 : 50, was etwa den allgemeinen Erfahrungswerten über das Verhältnis dieser beiden Wasserhaushaltskomponenten in unserem Klimaraum entspricht. Der höchste monatliche Verdunstungswert tritt im Juli mit 77 mm auf, die niedrigsten Werte ergeben sich im Dezember ( 1 mm) und im Februar (2 mm). Diese Zahlen kennzeichnen den Wasserhaushalt im gesamten Niederschlagsgebiet.

Rund 1/7 der Fläche des Niederschlagsgebietes des Töschenbaches wird aber von mit Grünland bestandenen Niederungen eingenommen, deren Böden teils anmoorig und teils als Niedermoor anzusprechen sind. Das Grundwasser steht hier durchschnittlich 50 bis 100 cm flacher unter Flur als auf den höher gelegenen Flächen des Gebietes. Teilweise ragen die Grundwasserstände besonders in den Monaten April und Mai bei Ständen von 50 - 90 cm unter Flur unmittelbar in die durchwurzelte Zone hinein. Aber auch bei tieferen Ständen im Sommer ist hier der Grundwasserspiegel bzw. der sich über dem Grundwasserspiegel ausbildende Kapillarsaum zumindest für die Wurzelspitzen noch erreichbar. Mit einer stärkeren Wasserentnahme aus dem oberflächennahen Grundwasser muß also auf diesen Flächen gerechnet werden. Wie hoch diese Wassermengen sind, darüber geben die Messungen mit den Grundwasserlysimetern einigen Aufschluß.

Die Verdunstungswerte direkt aus dem oberflächennahen Grundwasser sind in der 5. Querspalte der Tabelle angegeben; es handelt sich jeweils um Mittelwerte aus zwei Lysimetern. In der Spalte darüber sind die Verdunstungswerte aus dem Bodenfeuchtespeicherraum der Lysimeter eingetragen. Sie sind ebenfalls - wie die Gebietsverdunstung in Tabelle 1 - aus der Differenz  $N - A$  errechnet, wobei die Wassermengen für "A" (2. Querspalte von oben) in Überlaufgefäßen aufgefangen wurden. In der letzten Querspalte sind die Grundwasserstände unter der mit Gras bewachsenen Lysimeteroberfläche angegeben. Die Grundwasserstände in den Lysimetern wurden entsprechend den Grundwasserständen in den Niederungen des Niederschlagsgebietes, die laufend beobachtet wurden, eingestellt. Das verursachte zwar einige meßtechnische Schwierigkeiten, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann; jedoch gelang es im allgemeinen, in den Lysimetern die Grundwasserstände zu halten, wie sie auch in den Brunnen mit hoch anstehendem Grundwasser im Gelände gemessen wurden.

Im dreijährigen Mittel verbraucht der Grasbestand bei Grundwasserständen zwischen 50 cm unter Flur im Winter und 130 cm unter Flur im Sommer (siehe letzte Querspalte der Tabelle 2) 224 mm aus dem Grundwasser. In den Wintermonaten November bis Februar schwanken die Verbrauchswerte zwischen 1 und 5 mm je Monat. Bei Vegetationsbeginn im März steigt der Wasserverbrauch aus dem Grundwasser zunächst schwach (7 mm), dann aber im April trotz tieferen Grundwasserstandes schon wesentlich stärker (19 mm) an. Trotz weiter absinkender Grundwasserstände im Mai (95 cm unter Flur) und Juni (130 cm unter Flur) erhöht sich die Wasserentnahme aus dem Grundwasser abermals sehr stark. Der aufwachsende Grasbestand entnimmt dem Grundwasser im Mai 54 mm und im Juni sogar 63 mm; er treibt seine Wurzeln offenbar schneller als das Grundwasser absinkt in die Grundwasserzone hinein. Bei einem gleich hohen Grundwasserstand von 130 cm unter Flur läßt dann aber der Verbrauch aus dem Grundwasser im Juli stark nach. Es werden in diesem Monat nur noch 21 mm gegenüber 63 mm im Vormonat entnommen. Der Rückgang des Wasserentzuges aus dem Grundwasser im Juli ist auf die verminderte Transpirationsfläche nach dem Ende Juni erfolgten Grasschnitt zurückzuführen. Der August bringt bei wieder größerer Transpirationsfläche und etwas flacherem Grundwasserstand noch einmal eine geringe Zunahme des Entzuges aus dem Grundwasser (26 mm). Mit dem Monat September beginnt dann bei weiter ansteigendem Grundwasserstand eine allmähliche Abnahme der Verbrauchswerte auf das winterliche Niveau (12 mm im September, 7 mm im Oktober).

Interessant ist ein Vergleich der entnommenen Wassermengen aus dem oberflächennahen Grundwasser und dem Bodenfeuchtespeicherraum über dem Grundwasser im Lysimeter ( 4. Querspalte der Tabelle 2). Er zeigt in sehr typischer Weise die wechselseitige Ergänzung der Bodenfeuchte und des oberflächennahen Grundwassers bei der Wasserversorgung des Grasbestandes. Sie kommt darin zum Ausdruck, daß die Pflanzen den beginnenden Wassermangel im Speicherraum über dem Grundwasser im Mai, noch stärker aber im Juni durch starke Rückgriffe auf das Grundwasser kompensieren. Noch im April werden aus der Bodenfeuchtespeicherzone 19 mm mehr verbraucht als aus dem Grundwasser. Im Mai, noch stärker aber im Juni kehren sich dann aber die Verhältnisse um. Um 20 mm ist der Entzug aus dem Grundwasser im Mai und um 30 mm im Juni höher als aus der Bodenfeuchtespeicherzone.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen über die Wasserbilanz eines kleinen Niederschlagsgebietes in der Altmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins haben gezeigt, daß in diesem Gebiet eine rasche Kommunikation des in die oberen Bodenschichten eindringenden Niederschlagswasser mit dem oberflächennahen Grundwasser und den im Wasserlauf abfließenden Wassermengen stattfindet. Die schnelle Reaktion der Grundwasserstände und der Pegelstände im Wasserlauf auf die Niederschläge stützt nicht die bisherige Anschauung, wonach Sickerwasser (abgesehen von Bodenrissen und Sickerbahnen aufgrund von Feuchteakkumulationen auf oder dicht unter der Bodenoberfläche) erst im Spannungsbereich des schnell drainierenden Wassers oberhalb der Feldkapazität auftritt. Auch bei Feuchtigkeitsgehalten in der Bodenfeuchtespeicherzone unterhalb Feldkapazität - also noch im Spannungsbereich des kapillaren Haftwassers - steigen die Grundwasser- und Pegelstände ohne wesentliche Verzögerungen nach stärkeren Niederschlägen an. Die Ursache hierfür wird in einem schnellen Aufbau instabiler Druckübertragungssysteme nach der Eindringung von Niederschlagswasser in den Boden vermutet. Diese Systeme bleiben je nach Höhe und Dauer der Niederschläge meist nur verhältnismäßig kurzfristig intakt. Bei nachlassendem Regen lösen sie sich wieder rasch auf. Hohe Anteile wassergefüllter Hohlräume fördern die Druckübertragung und erhöhen den Sickerwasseranfall. Die in den Hohlräumen unterhalb der durchfeuchteten Schicht enthaltene Luft verzögert die Druckübertragung nicht wesentlich. Solange nach oben hin voll mit Wasser gefüllte, feine Kapillarsysteme bestehen, in denen die

Luft nicht entweichen kann, springen die oberflächennahen Grundwasserstände und Pegelstände im Wasserlauf auch auf kleinere Niederschlagsmengen sofort an.

Mit Hilfe von zwei in demselben Gebiet installierten Grundwasserlysimetern gelang es, sowohl die Verdunstung aus dem Bodenfeuchtespeicherraum als auch direkt aus dem oberflächennahen Grundwasser gleichzeitig zu ermitteln. Dreijährige monatliche Durchschnittswerte der Verdunstung aus beiden Horizonten zeigen, in welchem Maße sich die Bodenfeuchtespeicherzone und das oberflächennahe Grundwasser wechselseitig bei der Wasserversorgung der Pflanzen ergänzen. Selbst wenn unterstellt wird, daß "Oaseneffekte" die in Lysimetern gemessenen Verdunstungswerte gegenüber dem umgebende Gelände erhöhen, so zeigen diese Zahlen dennoch, daß oberflächennahe Grundwasserstände zu sehr erheblichen Anteilen an der Wasserversorgung der Pflanzen beteiligt sind.

Auf die hohe Verdunstung von Flächen mit hohen oberflächennahen Grundwasserständen weisen auch Eggelsmann (3), Friedrich (5) und Wundt (10) hin. Die den hohen Grundwasserständen in der Niederung künstlich angepaßte Grundwasserhaltung in den Lysimetern ändert die Wasserbilanz gegenüber der Bilanz des gesamten Niederschlagsgebietes entscheidend. Das zeigt sich darin, daß die Jahressumme des im Lysimeter bei hohen Grundwasserständen gemessenen Abflusses (506 mm) und der Gesamtverdunstung (516 mm, davon 292 mm aus dem Bodenfeuchtespeicherraum und 224 mm aus dem Grundwasser) die im gesamten Niederschlagsgebiet gefallene Niederschlagsmenge (798 mm) um 224 mm übersteigt. Die Niederschlagsmeßstelle befindet sich etwa 500 m von der Grundwasserlysimeteranlage entfernt, so daß erhebliche Niederschlagsdifferenzen zwischen der Regenmeßstation und dem Standort der Lysimeteranlage nicht auftreten können. Der Überschuß von Abfluß plus Verdunstung im Lysimeter über den gefallenen Niederschlag dürfte u.E. den natürlichen Gegebenheiten im Gelände annähernd entsprechen. Den tiefer gelegenen Geländeteilen, für die die Lysimetermessungen annähernd repräsentativ sind, fließen nämlich erhebliche Wassermengen aus den höheren Lagen zu, so daß dementsprechend auch der Abfluß und die Verdunstung in den Niederungen höher sind.

## LITERATUR

1. Baumann, H.: Über das Verhalten oberflächennahen Grundwassers. Deutsche Gewässerkd. Mtlg., 8. Jg., 3 sowie 2. Mitteilung im Sonderheft 1965 der Deutschen Gewässerkd. Mitteilungen
2. Blume, H.R.; Münnich, K.O. und Zimmermann, U.: Das Verhalten des Wassers in einer Löß-Parabraun-erde unter Laubwald. Z.f.Pflanzenern., Düngung, Bodenkunde 112, 2, 1966 156-168
3. Eggelsmann, R.: Die Verdunstung der Hochmoore und deren hydro-graphischer Einfluß. Deutsche Gewässerkd. Mtlg., 8. Jg., 3, 138-147, 1964
4. Ehwald, E.; Vetterlein, E. und Buchholz, F.: Das Eindringen von Niederschlägen und Wasserbe-wegungen in sandigen Waldböden. Z.d.Pflanzenern., Düngung, Bodenkunde 93, 202 - 209, 1961
5. Friedrich, W.: Über die Verdunstung vom Erdboden GWF, 91, 289-296, 1950
6. Laatsch, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden Verl. Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig, 1954
7. Lewis, David C. and R.H. Burghy: Hydrologic balance from an experimental water-shed. J. of Hydrol. 2, 197-212, 1964
8. Olbertz, M.H.: Über die am Standort des Kulturbodens erfaßbaren Größen des Wasserhaushaltes. Wiss. Abhdlg. Nr. 23, Akademie-Verlag, Berlin 1957

9. Schendel, U. : Der Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf den Wasserbrauch von Klee gras.  
Bayrisches Landw. Jahrbuch, 44. Jg., Sonderheft 3/67, S. 251-257.
10. Wundt, W. : Gewässerkunde, Springer-Verlag Berlin, 1953
11. Zunker, F. : Das Verhalten des Bodens zum Wasser.  
Handbuch der Bodenlehre v. E. Blanck, Bd. VI,  
Verlag Springer, 1930.

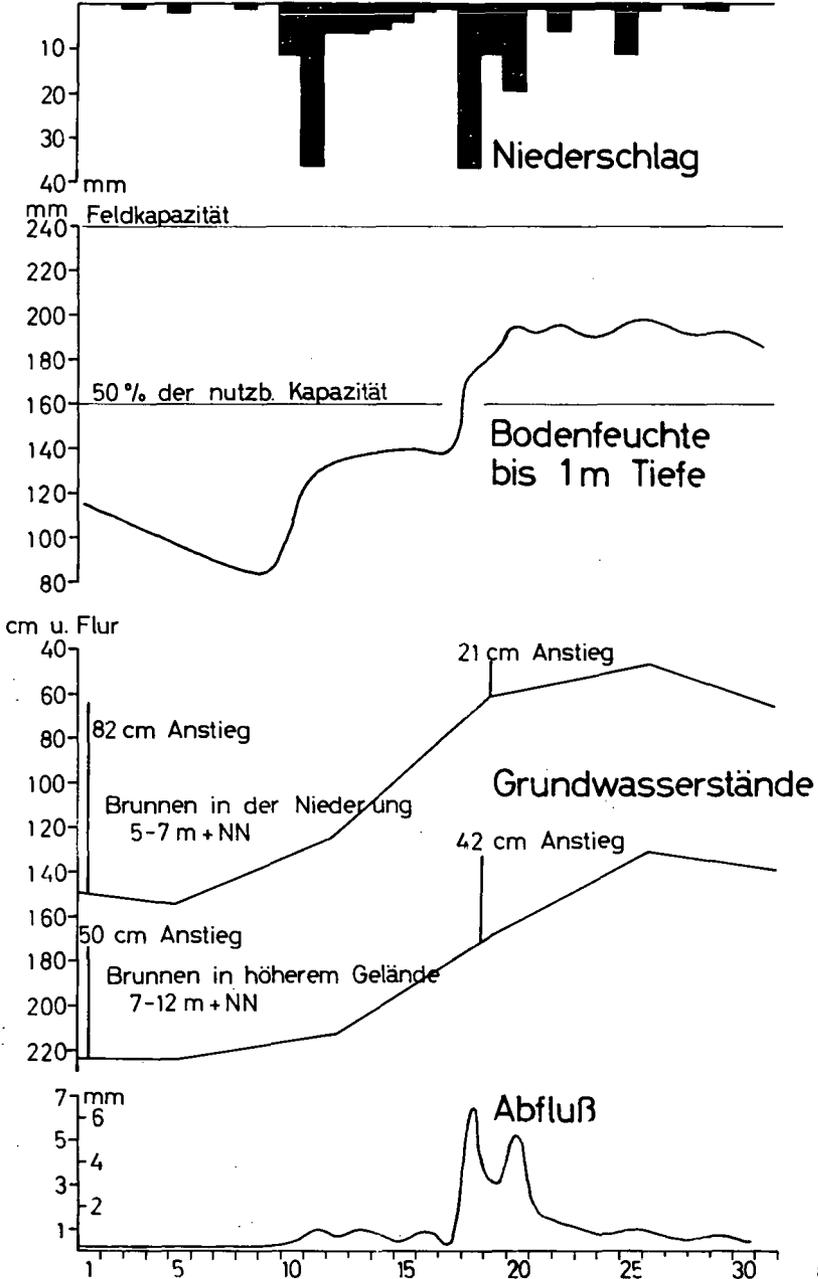
**Verdunstung im Niederschlagsgebiet des Töschenbaches  
 nach der wasserwirtschaftlichen Bilanz (N-A)  
 Mittel der Wasserwirtschaftsjahre 1963-1965  
 Landschaft: Altmoräne Schleswig - Holsteins  
 Größe des Niederschlagsgebietes: 6,9 km<sup>2</sup>  
 Bewuchs: 50% Ackergewächse, 50% Grünland  
 Zahlen in mm**

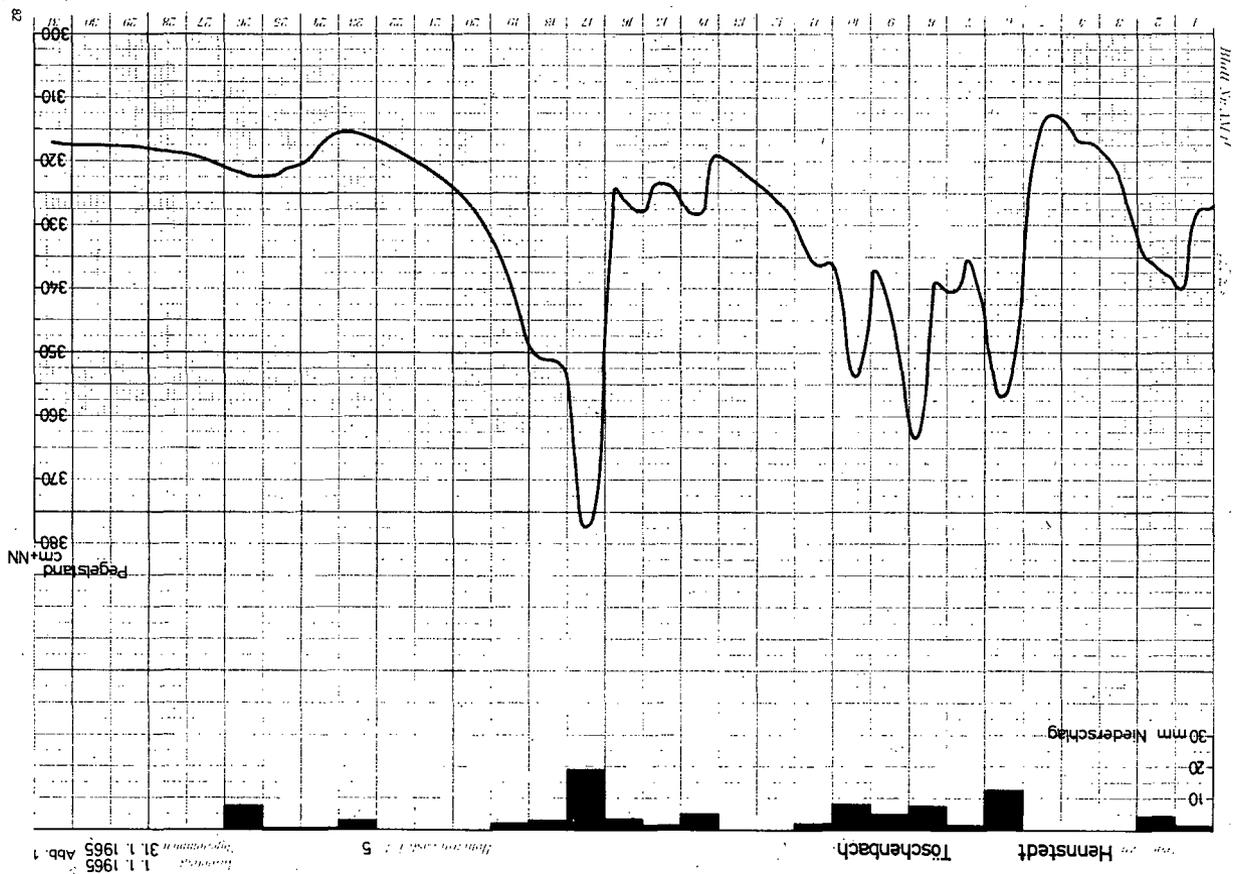
Monate	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Sa.
Niederschlag (N)	99	85	53	41	31	53	46	70	89	70	94	67	798
Abfluß (A)	75	84	42	39	18	24	12	10	12	8	34	29	387
Verdunstung = (N-A)	24	1	11	2	13	29	34	60	77	62	60	38	411

**Verdunstung im Niederschlagsgebiet des Töschenbaches  
nach Messungen mit Grundwasserlysimetern  
bei hoch anstehendem oberflächennahen Grundwasser  
(Mittel der Wasserwirtschaftsjahre 1963-1965)  
Bewuchs: Gras (Zahlen in mm)**

Monate	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Sa.
Niederschlag (N)	99	85	53	41	31	53	46	70	89	70	94	67	798
Abfluß (A)	87	84	52	37	17	15	12	37	55	31	41	38	506
Verdunstung aus dem Bodenfeuchtespeicherraum im Lysimeter (N - A)	12	1	1	4	14	38	34	33	34	39	53	29	292
Verdunstung aus dem Grundwasser	4	1	5	5	7	19	54	63	21	26	12	7	224
Gesamtverdunstung	16	2	6	9	21	57	88	96	55	65	65	36	516
Mittlerer Grundwasserstand unter Flur (cm)	53	53	50	50	50	70	95	130	130	110	110	90	Ø82

Abb. 4



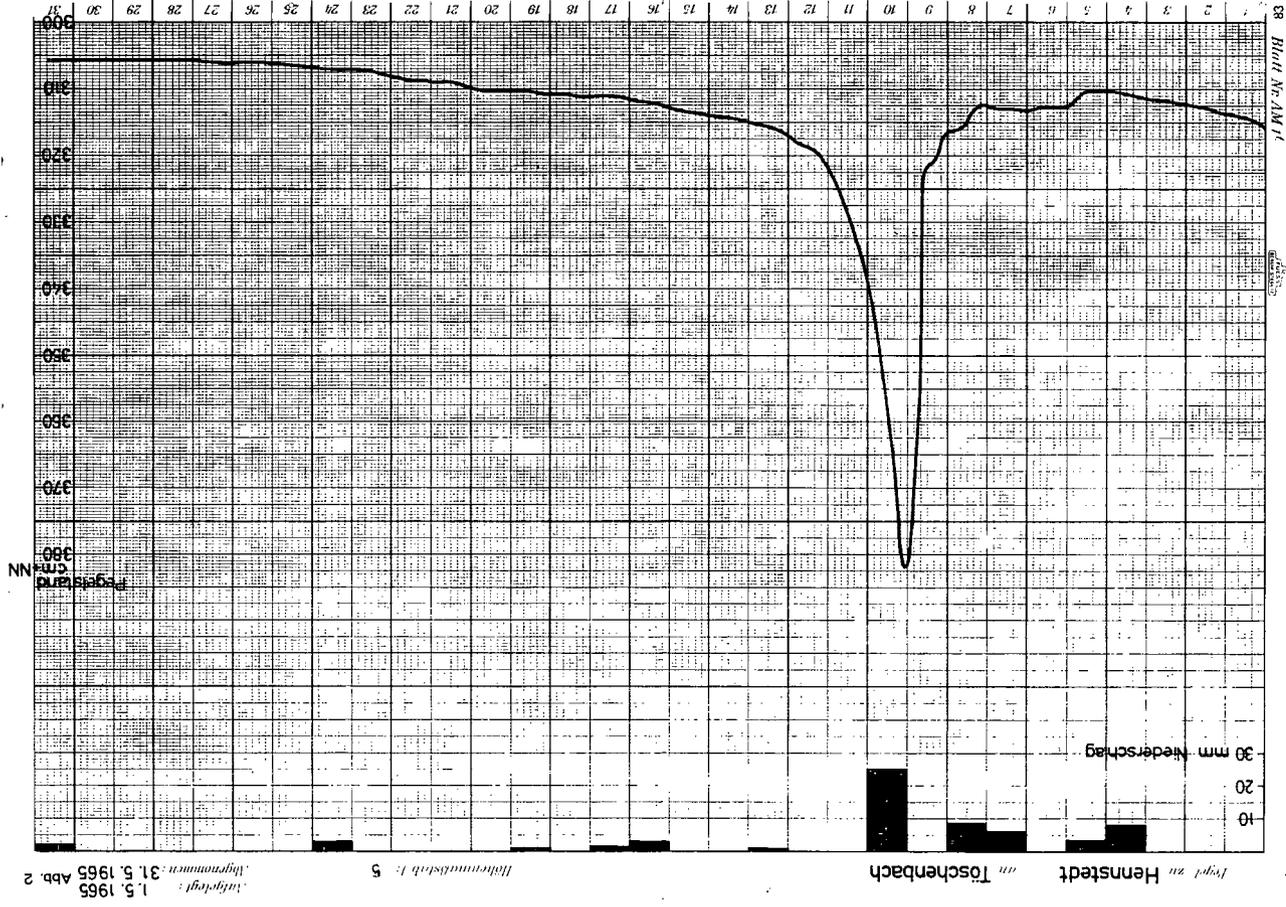


1.1.1965  
 31.1.1965  
 Abb. 1

5

Töschbach

Hennstedt



Töschbach  
 am Henstedt  
 in Töschbach  
 5  
 Abg. 2  
 1.5.1965  
 31.5.1965  
 2

Blatt Nr. AM 1

1:1000

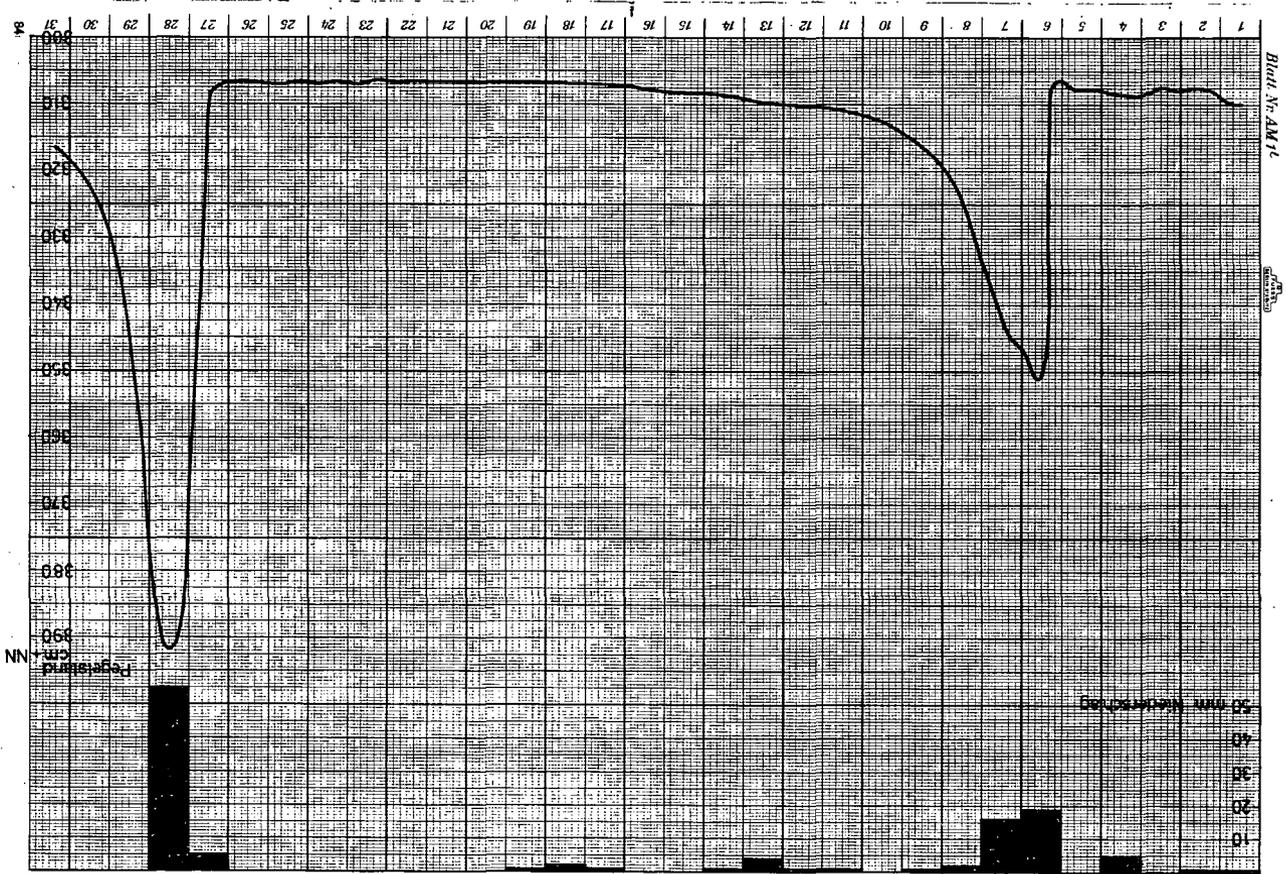


Bild. Nr. AM 14

50 mm  
1 mm

Fogel zu Hensstedt an Töschbach

Höhenmaßstab 1:5

Aufgelegt: 1.9.65  
Abgemessen: 30.9.65

Abb. 3

## Entstehung, Eigenschaften und Ertragsleistung anthropogener

### Kalkparabraunerden aus Löß

von G. Schmid <sup>+)</sup>

#### I. Bodenentwicklung

Die Entstehung anthropogener Kalkparabraunerden aus Löß ist von der Zufuhr größerer Kalkgaben auf autochthonen Bodenbildungen vom Typus der Parabraun-erde abhängig. In ihrer Entwicklungsgeschichte wurden diese Böden in der post-glacialen, z.T. kühlfeuchten Periode durch den Basenverlust vollständig entkalkt, so daß gegenwärtig auf in situ Standorten fast ausschließlich karbonatfreie Parabraunerden vorliegen.

Parabraunerden mit ausgeprägten Profilvermerkmalen der typischen gebleichten  $A_L$ -Horizonte und dunkelbraun bis rot gefärbten  $B_t$ -Horizonten mit typischen Tonmaximum sind auf den zentralen Lößplatten des niederbayerischen, mittel- und unterfränkischen Gäugebietes von erheblicher flächenmäßiger Verbreitung. Geologisch sind diese Standorte ausschließlich dem Würmpleistocaen zuzuordnen. Bei einem CaO-Gehalt des Ausgangsmaterials dieser Bodenbildungen von 5 bis 20% entspricht die Entbasung der Parabraunerden auf durchschnittlich 1 m Profiltiefe einem recenten CaO-Verlust von 7.500 bis 30.000 dz/ha. Unter Zugrundelegung eines nacheiszeitlichen Verwitterungs- und Bodenbildungszeitraumes von etwa 8.000 Jahren errechnet sich ein jährlicher Kalkverlust der aus Würmlöß entstandenen autochthonen Bodenbildungen von 1,0 bis 4,0 dz/ha. Diese Werte entsprechen auch weitgehend den in Lysimeterversuchen er-

---

+) Aus Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, Pflanzenbau und Pflanzenschutz, München

mittelten jährlichen Kalkverlusten durch Auswaschung (1).

Die Entwicklung der anthropogenen Kalkparabraunerden besteht aus einer aufbauenden Phase vom Syrosem zur Braunerde, einer alternden Phase von der Braunerde zur Parabraunerde und einer Regradierungsphase von der Parabraunerde zur Kalkparabraunerde. Eine Kalkparabraunerde liegt nur dann vor, wenn durch CaO-Zufuhr ein Krumenkarbonatgehalt von mindestens 0,5 % geschaffen wurde. Auf Parabraunerden aus Würmlöß, die im Zuge der abgelaufenen Degradierungsvorgänge ihren natürlichen Karbonatgehalt restlos verloren haben, kann das genannte Karbonatniveau nur erreicht werden, wenn etwa 150 bis 200 dz/ha CaO zugeführt werden.

In den vergangenen Jahrhunderten wurden den Parabraunerden bei Ackernutzung durch Düngungsmaßnahmen CaO-Gaben zugeführt, die den Kalkverlust durch Auswaschung und Entzug nicht erreichten, zumindest jedoch nicht überschritten haben. Unter ungünstigen Voraussetzungen bezüglich Basenersatz wurde die in Richtung Parabraunerden bzw. pseudovergleyte Parabraunerde ablaufende Degradierungsphase nicht unterbrochen. Bei günstigen anthropogenen Einflüssen unter einem Bewirtschaftungs- und Düngungszustand, bei dem sich Basenverlust und Basenersatz die Waage hielten, konnte lediglich die kontinuierlich ablaufende Degradierung unterbrochen, aber noch keine Regradierung eingeleitet werden. Nachhaltige Bodenaufbauprozesse wurden erst eingeleitet, als den Parabraunerden CaO-Gaben zugeführt wurden, die die Kalkauswaschung erheblich überschreiten. Diese Entwicklung ist noch relativ jung und fällt in das derzeitige Jahrzehnt. Auch Mergelungen mit kalkreichem Material des C-Horizontes der genannten Bodenbildungen wurden auf Parabraunerden im größeren Umfange in den vergangenen Jahrhunderten nicht durchgeführt.

Die bei wissenschaftlichen Diskussionen gelegentlich erwähnten und auf natürlichem Wege entstandenen Kalkbraunerden sind in ihrer Genetik nicht identisch mit den beschriebenen anthropogenen Kalkparabraunerden. Natürlich gebildete Kalkbraunerden sind immer reliefbedingt und damit durch Erosions- und Akkumulationsvorgänge beeinflusste und sekundär mit Kalk angereicherte Hangfußböden.

Die Voraussetzungen zur Entstehung anthropogener Kalkparabraunerden aus karbonatfreien Parabraunerden in flächenmäßig größerem Umfange würde erst durch die Herausgabe der Richtlinien des Verbandes Deutscher Landw. Untersuchungs- und Forschungsanstalten im Jahre 1963 geschaffen. Durch Verabrei-

chung der in den Richtlinien festgelegten CaO-Gaben wird der Reaktionsbereich auf pH 7,0 und darüber überführt und ein Krumenkarbonatgehalt erzielt, der Bodenaufbauprozesse von der Parabraunerde zur Kalkparabraunerde einleitet und vollzieht. Ist durch Meliorationskalkungen der Entwicklungszustand der Kalkparabraunerde erreicht, dies ist vielfach schon mehrere Jahre nach der Ausbringung ausreichender CaO-Gaben möglich und wird der auftretende Kalkverlust durch Auswaschung und Entzug von jährlich etwa 500 kg durch laufende Erhaltungskalkungen ersetzt, kann der vorläufige Endzustand in der Entwicklungsreihe, der Typus der "anthropogenen Kalkparabraunerde" zeitlich unbegrenzt auf dem Höhepunkt seines Leistungs- und Fruchtbarkeitszustandes gehalten werden.

Im Jahre 1963 wurde durch Begründung des Verfahrens der Primärlößmelioration auf Parabraunerden aus Würmlöß neben der Kalkmelioration die Voraussetzung geschaffen, durch mechanischen Eingriff ins Bodengefüge, die ablaufende Degradierung mit ihren Entwicklungsstadien der Lessivierung und Pseudovergleyung zu unterbrechen und einen Bodenaufbau in Richtung anthropogene Kalkparabraunerde einzuleiten. Während Kalkmeliorationen unter allen geologisch-bodenkundlichen Voraussetzungen durchgeführt werden können, eignet sich das Verfahren der Primärlößmelioration zur Einleitung von Regradierungsprozessen auf Parabraunerden nur dann, wenn im C-Horizont der Bodenbildung karbonatreiches Material mit einem Mindest-CaO-Gehalt von 3 % vorliegt (2, 3).

Liegt der CaO-Gehalt des geförderten C-Materials unter 3%, ist aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Meliorationskalkung der Primärlößmelioration vorzuziehen. Bei einer Gesamtfördermenge von 4.500 dz/ha karbonatreichem Material des C-Horizontes werden bei einem Mindestgehalt von 3 % CaO bei der Primärlößmelioration der Ackerkrume der Parabraunerde 135 dz, beim Höchstgehalt von 20 % CaO eine Gesamt-CaO-Gabe von 900 dz/ha zugeführt. Der Krume der Parabraunerde wird damit eine langsam fließende CaO- und MgO-Menge zugeführt, die bei den vorliegenden Korngrößen der Wirksamkeit einer Meliorationsdüngung mit Magnesiumkalk entspricht und eine Ergänzungs- bzw. Erhaltungskalkung auf lange Sicht erübrigt (4). Der durch Primärlößmeliorationen erzielbare Krumenkarbonatgehalt der Kalkparabraunerden liegt je nach Karbonatgehalt des Fördermaterials zwischen 0,5 und 8,0 %. Die der Ackerkrume der Parabraunerden zugeführte, nachhaltig fließende Basenquelle leitet den Regradierungsprozeß mit Überführung der Parabraunerde zur Kalkparabraunerde ein. Das Überangebot an Calcium und Magnesiumionen ist nach der Durchführung von Primärlößmeliorationen durch ein antagonistisches und verstärktes K<sub>2</sub>O-Angebot zu ergänzen. Wenn die K<sub>2</sub>O-Ergänzung unterlassen wird, besteht die Möglichkeit, daß der Sorptionskomplex zu

100 % mit Ca- und Mg-Ionen abgesättigt wird. Dabei entsteht ein bodengenetisches und pflanzenphysiologisches Kaliumsättigungsdefizit und die Gefahr des Auftretens physiologischer Wachstumsstörungen mit Rückgang der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung.

## II Eigenschaften

Abbildung 1 vermittelt einen Überblick über die Korngrößenzusammensetzung, den Fe-Gehalt und den Karbonatgehalt der beschriebenen Bodenbildungen in Horizont- und Schichteinteilung bis 1 m Profiltiefe. Im Tongehalt ist die Verlagerung aus dem A-Horizont, mit einem Tonminimum im  $A_1$ -Horizont, in den  $B_t$ -Horizont mit ausgeprägtem Tonmaximum ersichtlich. Im Fe-Gehalt verläuft die Verlagerung mit demselben des Tongehaltes parallel. Der Karbonatgehalt wurde durch Meliorationskalkung und Primärlößmelioration erheblich angehoben und die Parabraunerde in eine anthropogene Kalkparabraunerde überführt.

Aus Abbildung 2 ist die Bodenreaktion in pH-Einheiten der beiden genannten Meliorationsverfahren im Vergleich zur unbehandelten Parzelle ersichtlich. Diese Darstellung zeigt, daß die Überführung der Parabraunerde in eine anthropogene Kalkparabraunerde bei der Kalkmelioration schon weit vorgeschritten und bei der Primärlößmelioration nahezu abgeschlossen ist.

Eine ähnliche Entwicklung ist aus Abbildung 3 mit Angabe der Ca-Sättigung in % der AK ersichtlich. Auch dieser Vergleich zeigt, daß die Regradierung der Parabraunerde zur Kalkparabraunerde bei beiden Meliorationen schon sehr weit vorgeschritten ist und den gesamten Profilraum bis 1 m Profiltiefe erfaßt hat.

Die V-Werte in % der AK (Summe der Kationen Ca, Mg, K, Na) sind mit einer Ausnahme bei der Kalkmelioration bei beiden angewandten Meliorationsverfahren auf 100 % angestiegen. Damit hat sich gezeigt, daß es in der kurzen Zeit von 4 Jahren möglich ist, die im Sorptionskomplex sorbierten H-Ionen durch ein optimales Basenangebot in der Krume fast restlos zu verdrängen (siehe Abb.4).

Die Verabreichung hoher CaO-Gaben durch Kalk- und Primärlößmeliorationen haben vor allem in der Krume zu einem Abbau der organischen Masse geführt. Wenn man bei der Primärlößmelioration die Abmagerung der Krume mit etwa 10 % in Rechnung stellt, ergibt sich vor allem in den oberen Horizonten durch die durchgeführten Meliorationen ein Abbau der C-Werte um etwa 10 % (siehe Abb. 5).

In der Kaliumfixierung in mg 100 g Boden ist durch Meliorationskalkung und Primärlößmelioration eine wesentliche Veränderung nicht eingetreten. Die Abbildung 6 bestätigt, daß auch extrem hohe Kalkgaben den fixierten Kaliumanteil im Boden nicht bzw. nicht wesentlich beeinträchtigen können.

Auch im austauschbaren Kaliumanteil hat sich ein nachteiliger Einfluß der Kalk- und Primärlößmelioration nicht ergeben. In den oberen Horizonten hat die Meliorationskalkung sogar zu einer Erhöhung des austauschbaren Kaliums geführt (siehe Abb. 7).

### III Ertragsleistung

Im Durchschnitt einer 8-feldrigen Fruchtfolge in den Versuchsjahren 1965 und 1966 wurden auf dem Versuchsstandort Moos durch Meliorationskalkung und Primärlößmelioration größere Mehrerträge erzielt. In beiden Versuchsjahren ist die Kalkmelioration wegen der größeren Mahlfineinheit des Kalkes und damit kürzeren Anlaufzeit der Primärlößmelioration im Ertrageinfluß überlegen (siehe Abb. 8).

Auf dem Versuchsstandort Einhausen ergab sich im 3-jährigen Durchschnitt bei der Primärlößmelioration gegenüber der Kalkmelioration eine geringe Ertragsüberlegenheit (siehe Abb. 9).

In der Abbildung 10 sind der Kartoffel- und Stärkeertrag, der Zuckerrüben- und Zuckerertrag, der Weizenertrag und die Weizenqualität der Parabraunerden aus Löß den Kalkparabraunerden gegenübergestellt. Die in mehrjährigen Ergebnissen auf mehreren Versuchsstandorten aus Löß-Parabraunerden ermittelten Ertragsergebnisse zeigen, daß es durch Herstellung optimaler Basensättigungsverhältnisse möglich ist, nicht nur den Ertrag, sondern auch die Qualität des Erntegutes zu steigern. Bei Zuckerrüben und Kartoffeln ist die Qualität prozentual noch höher als der Ertrag gestiegen. Aber auch zu Weizen konnten neben Ertragssteigerungen noch erhebliche Qualitätsverbesserungen durch Erhöhung des Rohproteingehaltes und Sedimentationswertes erzielt werden.

#### IV Schlußbetrachtung

Noch bis vor wenigen Jahren wurden auf Parabraunerden aus Löß Kalkungen in einer Höhe durchgeführt, die nicht geeignet waren den ablaufenden Prozeß der Bodendegradierung zu unterbrechen. Die in der Gegenwart als optimal empfohlenen CaO-Gaben auf Parabraunerden aus Löß sind zur Erzielung einer optimalen Basensättigung und damit zur Einleitung von Bodenaufbauprozessen meist ausreichend. Durch Kalkmeliorationen nach den Verbandsrichtlinien und durch Primärlößmeliorationen werden die Parabraunerden in kurzer Zeit von mehreren Jahren in das Stadium einer anthropogenen Kalkparabraunerde überführt.

Die Einleitung und der Ablauf dieser Bodenaufbauprozesse führt zu einer nachhaltigen Hebung der Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung, verbunden mit einer Verbesserung der Qualität des Erntegutes. Die Verbesserung der Basensättigung in Verbindung mit dem ablaufenden Regradierungsprozessen kann aber nur dann ihren ertrags- und qualitätsbegünstigenden Einfluß voll entfalten, wenn die im Sorptionskomplex sorbierten Kationen im antagonistischen Verhältnis auftreten. Nach bisherigen Erfahrungen ist das antagonistische Verhältnis dann gegeben, wenn die Austauschkapazität folgende Sättigungsverhältnisse aufweist: Ca 80 %, Mg 15 %, K 3 % und Na 1 - 2 % (5, 6, 7, 8).

Diese Forderung bedeutet, daß neben den erforderlichen Kalkungen ausreichende Magnesium- und Kaliumgaben zugeführt werden müssen. Der Mg-Bedarf kann entweder durch Magnesiumkalk (Magnesiumkarbonat) oder durch Kieserit (Magnesiumsulfat) bis zur idealen Mg-Sättigung von 15 % gedeckt werden. Das Kaliumdefizit bis 3 % der AK kann mit allen Kalidüngern beseitigt werden. In der Regel wird auch gleichzeitig mit der Kalidüngung der Natriumbedarf gedeckt.

Liegt dagegen ein größeres Natriumdefizit vor, wird es zweckmäßig sein niedrig prozentige Kalisalze anzuwenden, die einen höheren Na-Gehalt aufweisen.

Bei der Durchführung von Primärlößmeliorationen werden in der Regel auch ausreichende Magnesiumgaben zugeführt. Es hat sich aber bei der bisherigen Versuchsdurchführung gezeigt, daß das in der Regel auf Parabraunerden vorliegende K-Defizit auf den mit Primärlöß meliorierten Flächen noch vergrößert wird. Größere K<sub>2</sub>O-Gaben sind deshalb meist als Folge von Primärlöß- aber auch Kalkmelioration unumgänglich notwendig.

Primärlößmeliorationen haben in der Regel gegenüber Kalkmeliorationen den Nachteil einer längeren Anlaufzeit in der Beeinflussung von Bodeneigenschaften und Ertragsleistung. Diese zunächst, und nur in den ersten Jahren auftretende Verzögerung der Kalkwirkung im Primärlöß ist auf den geringeren Feinheitsgrad gegenüber Industriekalk zurückzuführen. In Bezug auf den mit Kalk- und Primärlößmeliorationen zugeführten CaO- und MgO-Gaben und dem finanziellen Aufwand hierfür ist die Primärlößmelioration der Kalkmelioration wirtschaftlich erheblich überlegen.

Nach den bisher vorliegenden Erfahrungen mit Kalk- und Primärlößmeliorationen auf Parabraunerden aus Würmlöß hat sich gezeigt, daß beide Verfahren richtig eingesetzt geeignet sind, die ablaufende Bodenalterung zu unterbrechen, eine Regradierung einzuleiten und die Böden ins Entwicklungsstadium der anthropogenen Kalkparabraunerden mit höchstmöglichen Leistungs- und Bodenfruchtbarkeitszustand zu überführen.

#### Schrifttum

1. Kalkdienst, Köln:                   Düngekalkleitfaden für Wirtschaftsberater, Efferen, 1965
2. Schmid, G.:                         Regradierung von Parabraunerden aus Löß durch Meliorationsmaßnahmen. Die Bodenkultur, 17, 237-247, 1966
3. Schmid, G.:                         Verbesserung von Parabraunerden aus Löß durch Primärlöß- und Kalkmeliorationen. Mitt. der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 4, 227 - 236, 1965
- G. Schmid, G.:                         Untergrundlockerung und Tiefendüngung mit Calcium. Mitt. des Forschungsrates für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, S. 16 - 25, 1967
5. Scheffer, F. u. Schachtschabel, P.:                   Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, 1960

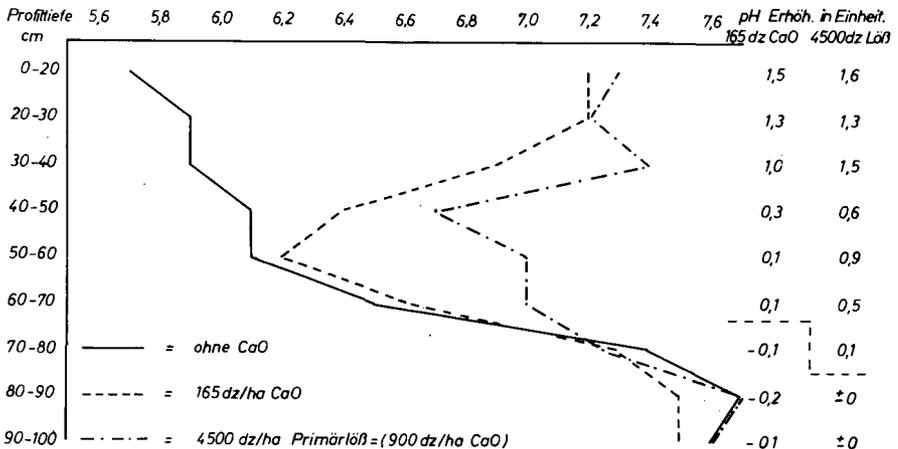
6. Schmid, G.: Meliorationsdüngung der Ackerböden mit Calcium, Magnesium und Kalium. Kali-Briefe, Fachgebiet 1, 1966
7. Schmid, G.: Basensorption und Basenauswaschung unter besonderer Berücksichtigung von Magnesium und Kalium. Kali-Briefe, Fachgebiet 1, 1967
8. Schmid, G.: Die Basensättigungsverhältnisse der metamorphen, eruptiven und Sedimentgesteinsverwitterungsböden des Paläozoikums in Bayern.  
Die Bodenkultur, 18, S. 193-209, 1967.

Profilaufbau der Parabraunerden  
(Versuch Moos)

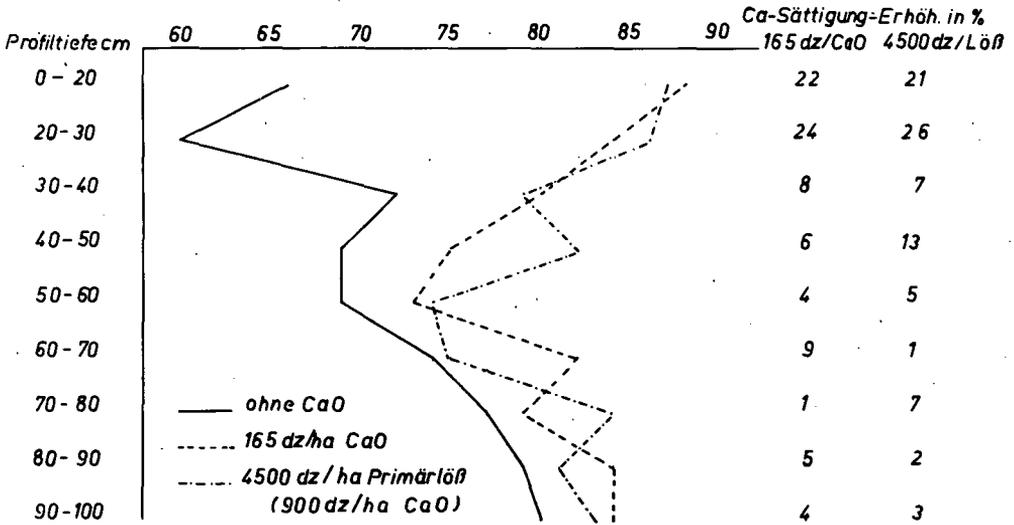
Profiltiefe cm	Horizont	Korngrößen in %			Fe in %	Karbonatgehalt in %		
		Sand	Schluff	Ton		1)	2)	3)
0 - 20 } 20 - 30 }	A <sub>p</sub>	22,3	55,7	22,0	0,90	0,04	0,5	8,1
		20,5	55,7	23,8	1,06	0,1	0,2	7,0
30 - 40	A <sub>1</sub>	16,3	69,2	14,5	1,14	0,1	0,2	1,0
40 - 50 } 50 - 60 } 60 - 70 }	B <sub>t</sub>	9,8	54,7	35,5	1,42	0,2	0,2	0,4
		9,7	56,7	33,6	1,22	0,2	0,2	0,6
		13,6	55,5	30,9	1,04	0,4	0,7	0,7
70 - 80 } 80 - 90 } 90 - 100 }	C	9,5	59,6	30,9	0,65	23,0	27,8	32,3
		15,7	73,2	11,1	0,50	37,7	37,8	38,0
		15,5	72,9	11,6	0,52	43,0	37,8	37,3

- 1) = ohne CaO  
 2) = 165 dz/ha CaO  
 3) = 4.500 dz/ha Primärlöß (900 dz/ha CaO)

*Melioration auf Parabraunerden*  
*pH-Wert (KCl)*



Melioration auf Parabraunerden  
Ca-Sättigung in % der AK



Melioration auf Parabraunerden  
V-Werte in % der AK

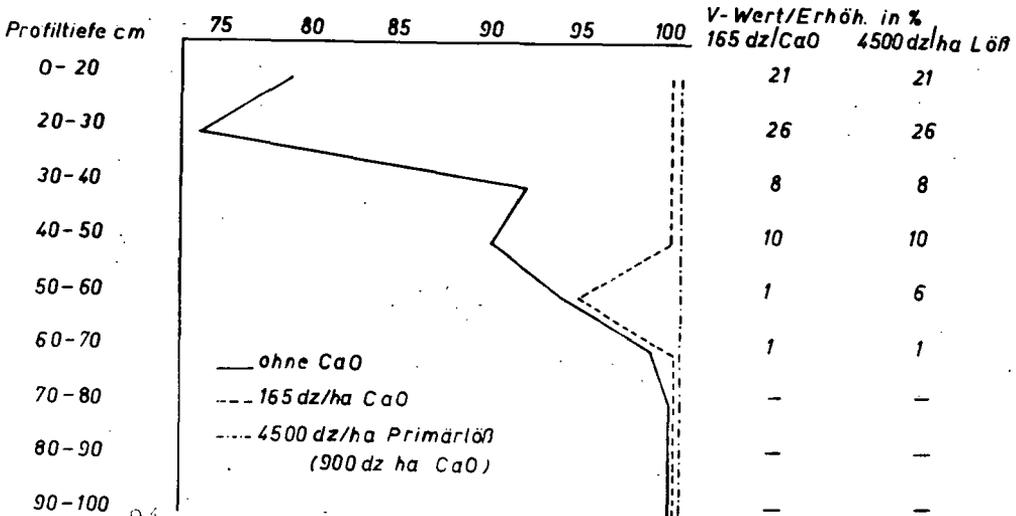


Abb. 5

Melioration auf Parabraunerden  
C %

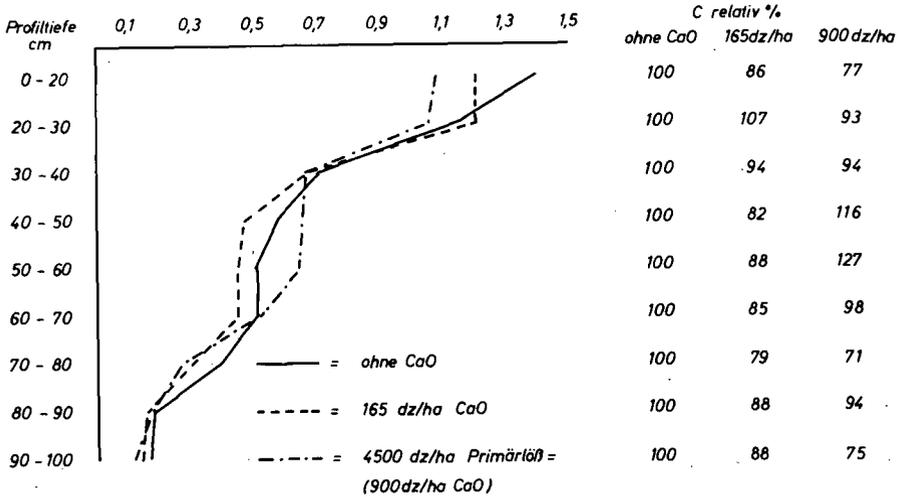
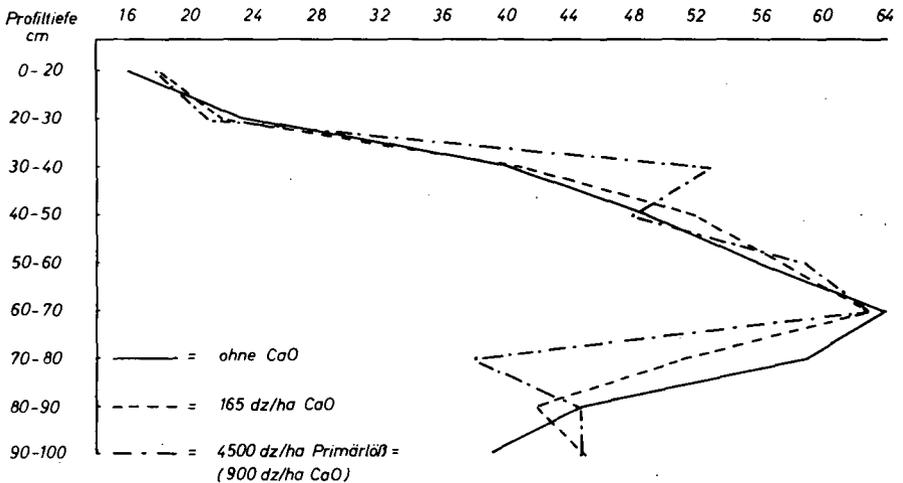


Abb. 6

Melioration auf Parabraunerden  
K-fixierung mg/100 B



## Melioration auf Parabraunerden Austauschb. K mg/100g B

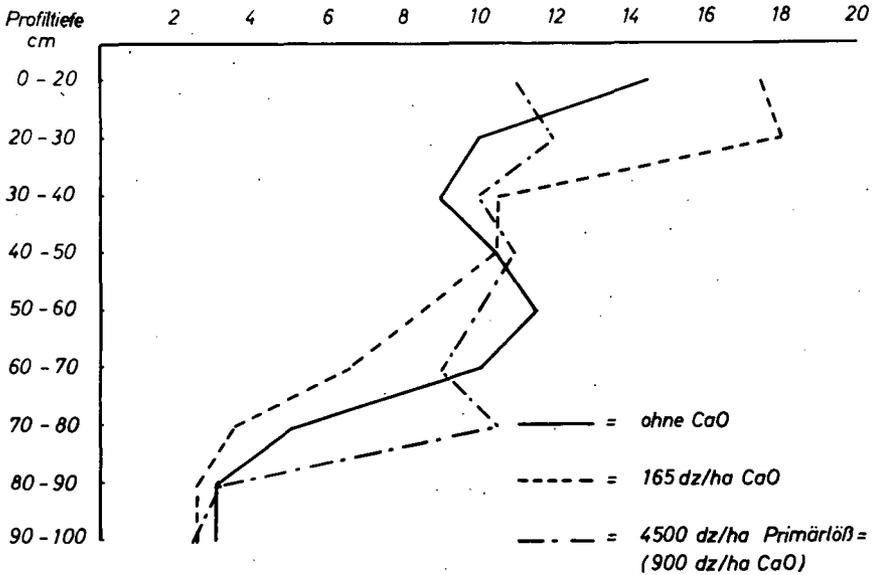


Abb. 8

### Melioration auf Parabraunerde

(Ernteerträge in G/ha)

Versuch Moos

Versuchsf Frucht	1 9 6 5			1 9 6 6		
	o.Kalk	165 dz/ha CaO	4.500 dz/ha Primärlöß	o.Kalk	165 dz/ha CaO	4.500 dz/ha Primärlöß
1 W-Weizen	51,3	50,0	51,7	42,6	53,9	44,4
2 So-Gerste	-	-	-	35,0	41,5	35,4
3 W-Gerste	50,0	52,8	51,2	56,8	60,7	58,9
Herbstwickelgemenge	10,3	11,3	12,9	9,2	10,2	10,8
4 Zuckerrüben	151,2	181,0	155,7	139,8	173,6	154,0
5 So-Gerste	30,9	36,7	30,7	27,2	34,2	31,6
6 Klee gras 1-jährig	42,6	59,5	50,4	56,0	51,7	58,5
7 Klee gras 2-jährig	58,9	74,4	64,3	45,3	51,5	45,5
8 Kartoffel	62,0	75,2	70,1	90,6	77,8	91,6
Fruchtfolgeleistung $\beta$	65,3	77,3	69,6	62,8	69,4	66,3
relativ %	100	118	107	100	111	106

Abb. 9

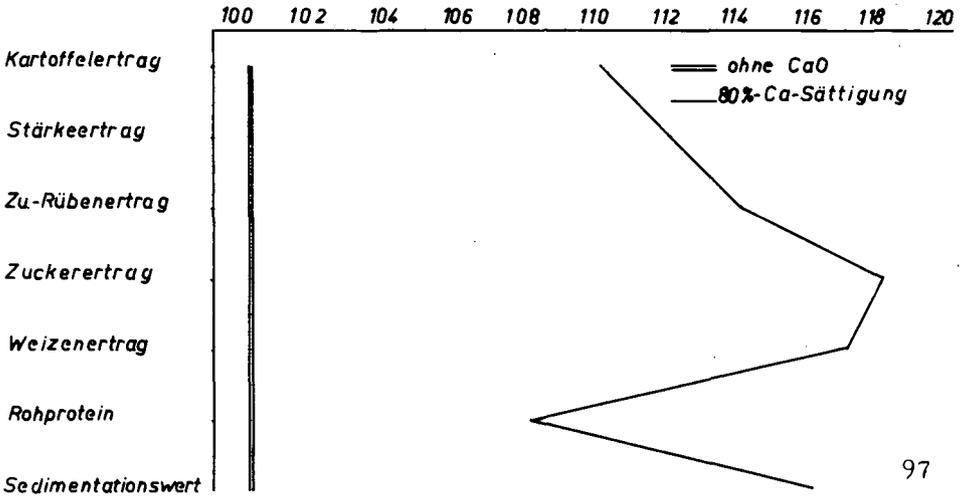
Melioration auf Parabraunerden

(Ernteerträge in GW dz/ha)  
 Versuch Einhausen

Versuchsjahr	Versuchsfrucht	ohne CaO	100 dz/ha CaO	4.500 dz/ha Primärlöss
1965	Hafer	55,8	57,7	59,2
1966	Zu.-Rüben	184,3	198,3	206,9
1967	Weizen	61,0	66,9	65,4
3jähriger Ø		100,4	107,6	110,5
relativ ‰		100	107	110

Abb. 10

Melioration auf Parabraunerden  
 (Relativwerte %)





## Technische Voraussetzungen für eine wirksame Untergrundlockerung<sup>+)</sup>

H. Schulte-Karring<sup>++)</sup>

### Einleitung

Die mit der mechanischen Auflockerung des Unterbodens angestrebte umfangreiche und dauerhafte Strukturverbesserung ist ein Prozeß, der sich über Jahre hinzieht. Er wird mit dem mechanischen Aufbrechen des Unterbodens (Primärauflockerung) eingeleitet und dann vom Boden selbst in Form einer ständig fortschreitenden "Selbstauflockerung" (Sekundärauflockerung) und mit einer Stabilisierung der Struktur fortgesetzt.

Der Meliorationserfolg der Untergrundlockerung hängt vor allem von dem Gelingen einer umfangreichen mechanischen Auflockerung des Unterbodens ab. Die Auflockerung muß groß genug sein, um den Strukturwandel zur vollen Entfaltung kommen zu lassen. Dieses Ziel aber kann nur mit geeigneten Geräten erreicht werden.

Die Leistungsfähigkeit der z. Zt. von der Landmaschinenindustrie angebotenen Untergrundlockerungsgeräte ist sehr unterschiedlich. Die einen Geräte vermögen den verdichteten Unterboden mehr, die anderen weniger aufzulockern, letztlich aber ist das angestrebte Meliorationsziel mit all den bisher konstruierten Geräten nicht oder zumindest nur in begrenztem Umfang zu erzielen.

### Hauptteil

Welche technischen Forderungen müssen nun an ein leistungsfähiges Lockerungsgerät gestellt werden?

Das eigentliche Lockerungswerkzeug ist das an einem Schwert angebrachte Lockerungsschar, Größe, Form und Neigung dieses Schares bestimmen den Umfang der Auflockerung (Abb. 1).

+) veröffentlicht in "Landtechnik" 4/7 und im Berichtsheft des Forschungsrates über 2. Arbeitstagung am 10.-12.X.1966 in Ahrweiler

++) Landes- Lehr- und Versuchsanstalt, 5482 Ahrweiler

**Größe :** Je tiefer gelockert wird, je mehr Boden also anzuheben ist, desto größer muß das Lockerungsschar sein. Zu kleine Schare hinterlassen eine unbefriedigende Auflockerung und führen, zu tief und am Hang eingesetzt, leicht zu einer Röhrenbildung mit nachfolgenden unterirdischen Erosionsschäden. Die Größe des Lockerungsschares muß der Lockerungstiefe angepaßt werden können, es sollte also auswechselbar und in allgemeindichten Böden eingesetzt, nicht kleiner als  $500 \text{ cm}^2$  sein, wobei die Länge des Schares mindestens 40 cm betragen muß.

**Form :** Die Form der Lockerungsschare ist meist rechteckig, vielleicht aber sind trapezförmige Schare wegen der geringeren Reibung an der Stirnwand günstiger.

**Neigung :** Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine gute Auflockerung des Unterbodens ist die richtige Stellung des Lockerungsschares (Abb. 2).

Das Lockerungsschar muß mit einem Neigungswinkel von ca.  $25 - 30^\circ$  zur Horizontalen in Fahrtrichtung am Schwert angebracht sein, um den verdichteten Boden mit einem optimalen Lockerungseffekt zur Oberfläche hin aufwerfen zu können.

Zu steil gestellte Lockerungsschare vermögen den Unterboden bei einem sehr großen Zugkraftbedarf nur schlecht aufzulockern, zu flach gestellte Schare dagegen durchschneiden den Boden nur, ohne ihn genügend anzuheben und zu verlagern.

Bei den in Dreipunktaufhängung angebrachten Geräten ändert sich die Stellung des Lockerungsschares mit der Arbeitstiefe (Abb. 3). Eine Korrektur ist zwar mit der Verstellung des Oberlenkers gegeben, doch reicht diese meist nicht aus, und wenn das Schwert im Halteschaft nicht verstellt werden kann, dann ist die richtige Einstellung von einer bestimmten Grenze ab nicht mehr möglich. Ein erstrebenswertes Ziel der Gerätekonstruktionen ist die hydraulische Verstellbarkeit des Oberlenkers. Das Verstellen könnte dann während der Fahrt über ein Zusatzsteuergerät vorgenommen werden.

Bei den größeren Geräten kann das Problem der richtigen Scharstellung mit einem Parallelogramm gelöst werden. Das Parallelogramm gewährleistet das Beibehalten der einmal festgelegten Scharneigung bei jeder Arbeitstiefe (Abb.4).

Die Verwendung mehrerer Lockerungsschare ist nur dann mit Erfolg möglich, wenn die Schare ausreichend versetzt sind. Übereinanderliegende Lockerungsschare rufen entweder eine Brückenbildung hervor oder aber der Boden wird bei zu großem Feuchtigkeitsgehalt zwischen den Scharen hindurchgequetscht und somit verdichtet. Im trockenen Zustand wird der Boden vom unteren Schar angehoben, gegen das obere Schar gepreßt und in eine unerwünscht feine Struktur "gemörsert", was eine enorme Zugkraft erfordert und doch zu keiner günstigen Auflockerung führt. (Abb.5)

### Schneide:

Der größte Materialverschleiß tritt, abgesehen vom Lockerungsschar, am Schwert, etwa 10 - 20 cm über dem Lockerungsschar auf. Aus diesem Grunde müssen die Lockerungsgeräte auswechselbare Schneiden besitzen, die als Schutz vor dem eigentlichen Schwert angebracht sind.

### Steinsicherung:

Die Lockerungsgeräte sollten so konstruiert sein, daß sie in der Lage sind, plötzlich auftretende Widerstände ohne Schaden zu überwinden. Das mit der Stabilität zunehmende Gewicht der Geräte muß jedoch der Stärke der Hydraulik angepaßt sein, und deshalb ist bei den leichteren Geräten der Einbau einer Steinsicherung notwendig (Abb. 6).

### Zugkraft:

Der Erfolg der meisten Untergrundlockerungen scheitert an dem Zugkraftproblem. Die 70 cm tiefe Auflockerung eines allgemeindichten Bodens erfordert beispielsweise den Einsatz von Zugmaschinen, die eine PS-Zahl von etwa 100 PS besitzen. Diese hohe Zugkraft ist meist nicht vorhanden, und um das Vorhaben nicht aufzugeben, lockert man eben flacher. Die Speicherkapazität flacher Lockerungen aber ist begrenzt, und außerdem wird der aufgelockerte Unterboden bereits beim nächsten Pflügen wieder festgedrückt.

Die ersten Erfahrungen wurden mit mehreren voreinandergehängten Traktoren gesammelt (Abb.7). Die Arbeitsweise war sehr umständlich, und oft war die Zugkraft von 3 Traktoren noch zu gering. Die Annahme, eine Raupe (65 PS) würde das Zugkraftproblem lösen, bestätigte sich nicht. Auch 65 PS - Raupen waren zu schwach.

Erstrebenswert sind Geräte, die zwei Schwerter besitzen. Während die Zugmaschinen mit einem Schwert gezwungen sind, bei der notwendigen Arbeitsbreite von einer halben Spurweite den gelockerten Boden zu befahren, hinterlassen Geräte mit zwei Schwertern bei übersetzender Fahrweise keine Fahrspur (Abb. 9).

Unsere Bemühungen gingen nun dahin, Aggregate mit zwei Schwertern zu bauen. Das in Zusammenarbeit mit der Firma Meiller/ München nach unseren Wünschen entwickelte Großgerät wurde an eine 150 PS-Raupe angebaut. Das Vorhaben, stark verdichtete Böden mit zwei Schwertern etwa 90 cm tief zu lockern, konnte jedoch selbst mit dieser 150 PS-Raupe nicht verwirklicht werden (Abb. 4). Ob eine noch schwerere Raupe mit eingebautem Drehmomentwandler die notwendige Leistung aufbringt, wird der Einsatz einer 185 PS-Raupe im kommenden Jahr zeigen.

Inwieweit schwerere Traktoren für die Untergrundlockerung mit einfacheren und leichteren Geräten in Frage kommen, soll ebenfalls geprüft werden.

(Anmerkung: Die Zugleistungsprüfungen wurden am 19. IX. 1967 in Ahrweiler durchgeführt. Zum Einsatz kamen 12 Traktoren in der Größenklasse von 66 - 145 PS. Die Prüfungen haben ergeben, daß allradangetriebene Zugmaschinen für die Auflockerung verdichteter Böden geeignet sind, wenn einarmig gelockert wird und die Vorderachse der Zugmaschinen ausreichend belastet ist. (Abb. 10)

### Tiefendüngung

Eine wirksame und dauerhafte Strukturverbesserung ist nur mit Hilfe der Tiefendüngung zu erzielen. Das ist das Ergebnis unserer langjährigen Untersuchungen.

Die Konstruktion einer gut funktionierenden Tiefendüngungsanlage bringt jedoch ganz besondere Probleme mit sich.

Bei der ersten in Ahrweiler konstruierten Tiefendüngungsanlage erfolgte der Antrieb des Rührwerkes im Düngerbehälter über zwei auf dem Boden laufenden Rädern. (Abb. 11) Der Dünger fiel bei diesem Gerät durch eine Röhre in den Unterboden, um dort schlecht verteilt und bei zu langen Auslaufrohren auf den ungelockerten Boden in Form eines kompakten Düngerbandes liegenzubleiben. Die auftretenden Verhärtungen des Düngers und die teilweise schlechte Ausnützung der Nährstoffe gaben Anlaß zu der Konstruktion einer Verteileranlage.

Die für die Verteilung des staubförmigen Düngers notwendige Luft kann entweder mit einem Kompressor oder aber mit einem Gebläse erzeugt werden. Wir versuchten es zunächst mit einer Kompressoranlage, (Abb. 12) die wir an das in einer 65 PS-Raupe angebaute Lockerungsaggregat und in einem zweiten Fall, größer und besser, an das Aggregat einer 150 PS-Raupe anschlossen. Im letzten Fall handelt es sich um einen Kompressor, der bei einem Druckvermögen von 7 atü auf 3 atü heruntergeregelt ist und mit seinem Luftstrom eine gute Verteilung des Düngers verursacht. (Abb.4).

In der Bundesrepublik gibt es noch zwei weitere von Privatfirmen entwickelte Geräte mit Verteileranlagen. (Abb. 13 u. 14) Inwieweit das Verblasen des Düngers bei diesen, mit Gebläsen ausgestatteten Geräten gelingt, entzieht sich unserer Kenntnis. Fest steht aber, daß das Gebläse im Vergleich zum Kompressor eine bessere Verteilung des Düngers hervorruft. Außerdem sind die Kosten geringer.

Verblasanlagen gab es bisher nur bei Großgeräten. Bei den kleineren, an Traktoren angebauten Tiefendüngungsgeräten erschien der Einbau einer Verblasvorrichtung zunächst nicht möglich. In Zusammenarbeit mit einer Landmaschinenfirma konnte nun in diesem Jahr auch eine solche Verteileranlage für kleinere Untergrundlockerungsgeräte erstellt werden. (Abb. 15)

Mit diesem Gerät hat nunmehr auch der Praktiker die Möglichkeit, eine erfolgreiche, d.h. umfangreiche und dauerhafte Melioration seiner Staunässeböden durchzuführen.

Das Gerät, das in zwei Größen hergestellt wird und eine Lockerungstiefe von 80 bzw. 100 cm erreicht, besitzt im wesentlichen alle Eigenschaften, die von einem leistungsfähigen Untergrundlockerungsgerät verlangt werden:

1. Auswechselbare Lockerungsschare verschiedener Größen, die bis zum Düngerauslauf reichen und damit eine besonders gute Düngerverteilung gewährleisten.
2. Die gewünschte Scharneigung von ca. 30° mit einer genügend großen Korrekturmöglichkeit.
3. Eine auswechselbare Schneide.
4. Eine Düngerverblasvorrichtung, die zusammen mit dem Rührwerk einen unkomplizierten Antrieb durch die Zapfwelle erhält.

5. Die Erzeugung eines genügend starken Luftstromes, der von einem Gebläse ausgeht, und der gleichmäßig geteilt, aus zwei Verblasvorrichtungen über besondere Düsen ausströmt und damit eine gute seitliche Verteilung gewährleistet.
6. Austauschbare und abschraubbare Düngerröhren, die bei Verstopfungen eine leichte Reinigung ermöglichen.

### Zusammenfassung und Schluß

Der Erfolg der Untergrundlockerung hängt von dem Gelingen einer umfangreichen Primärauflockerung ab, die nur mit leistungsfähigen Geräten zu erzielen ist.

Die von der Landmaschinenindustrie hergestellten Meliorationsgeräte sind mit zahlreichen Mängeln behaftet, so daß technische Entwicklungsarbeiten notwendig waren.

Nach der Erstellung von 2 leistungsfähigen Lockerungs- und Tiefendüngungsgeräten mit Verteileranlagen als Anbaugeräte für schwere Raupen und Traktoren liegt der Schwerpunkt der technischen Arbeiten nunmehr auf der Lösung des Zugkraftproblems. Die diesbezüglichen Schwierigkeiten müssen mit neuen Gerätekonstruktionen gelöst werden, die aller Voraussicht nach die Entwicklung von Vibrationsgeräten notwendig machen.

Ein dringendes Anliegen ist weiterhin die Erstellung von Meliorationsgeräten, die für den Einsatz in den Ertragsanlagen des Obst- und vor allem in den Hanglagen des Weinbaues in Frage kommen.

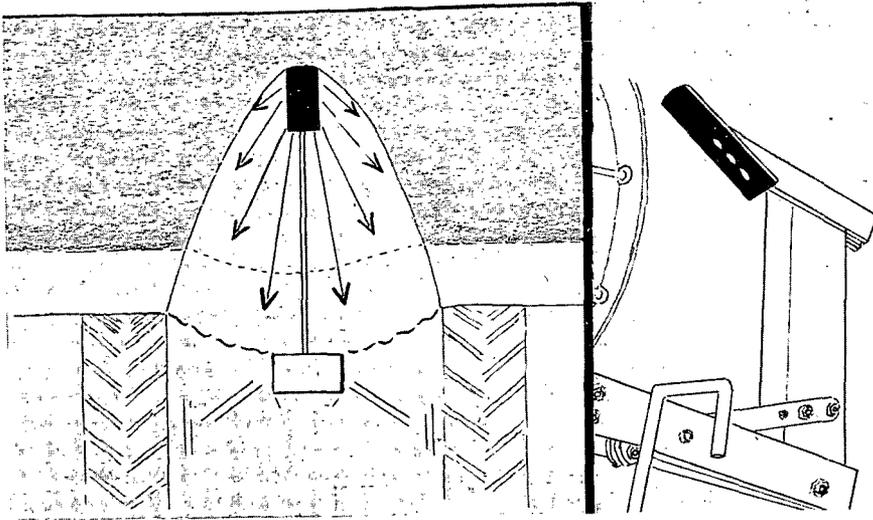


Abb. 1: Schwert mit Lockerungsschar

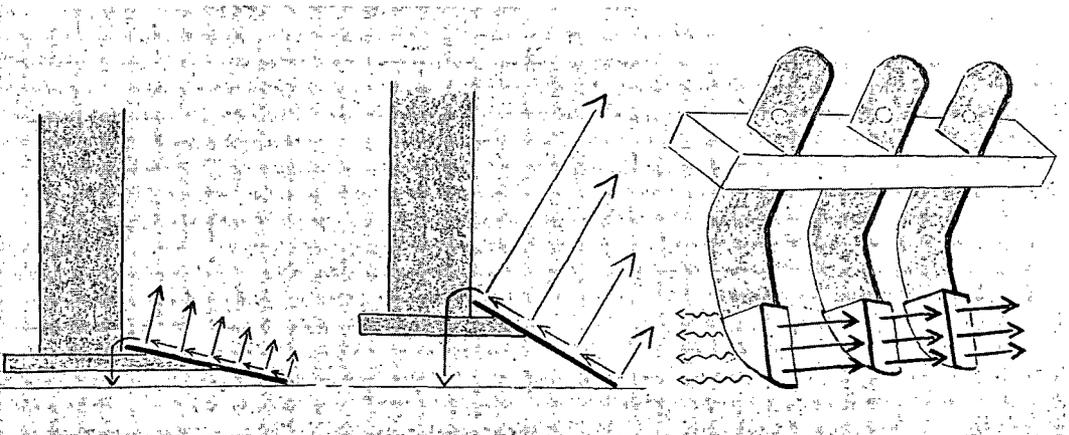


Abb. 2: Der Umfang der Auflockerung wird durch die Stellung des Lockerungsschares maßgebend bestimmt.

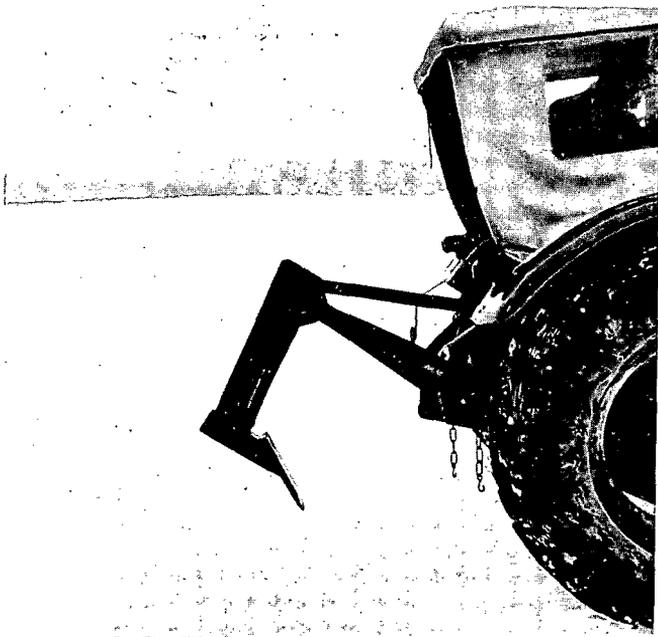


Abb. 3: Bei den im Dreipunktaufhängung angebrachten Lockerungsgeräten verändert sich die Stellung des Lockerungsscharfes mit der Arbeitstiefe.



Abb. 4: Ein an eine Hanomag R 15 (150 PS) angebautes zweiarmiges Lockerungsgerät mit Parallelogramm. Das Parallelogramm gewährleistet, daß die Scharstellung bei jeder Arbeitstiefe.

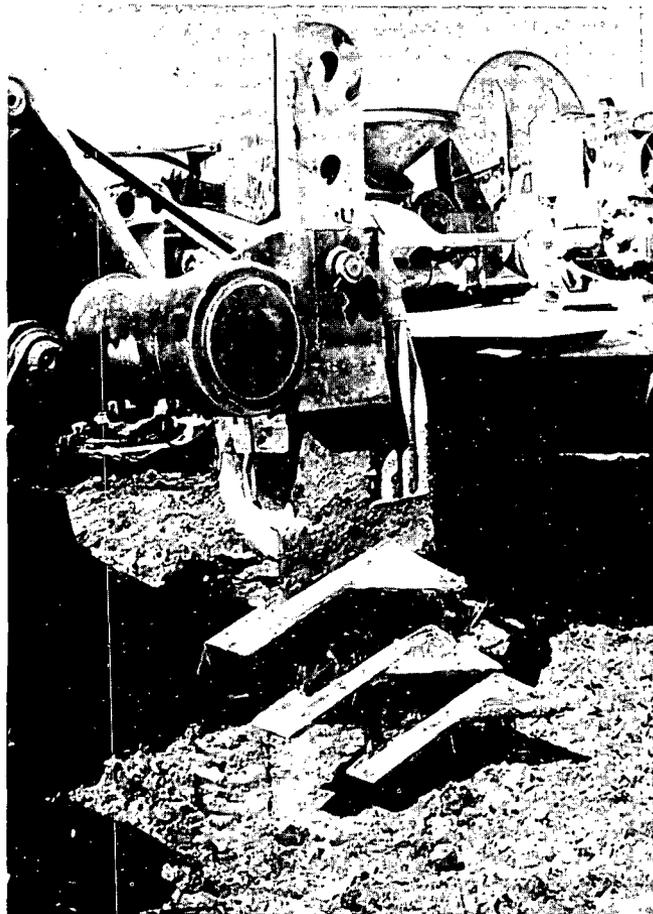


Abb. 5: Mehrere Lockerungsschare hinterlassen nur dann eine gute Auflockerung, wenn die Schare weit genug versetzt sind (siehe Abb. 4)

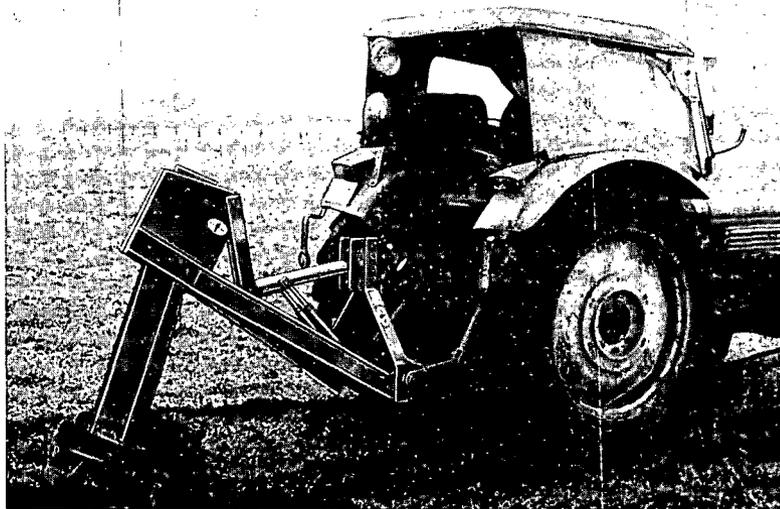


Abb. 6: Ein Lockerungsgerät der Fa. Rabe, 4509 Linne, mit ausgeklinkter Steinsicherung



Abb. 7: Mehrere vor ein Lockerungsgerät (Talisman K<sup>1</sup> mit Tiefendüngungsanlage) gespannte Traktoren bei der Melioration von verdichteten Staunässeböden. Die zur Verfügung stehenden PS werden schlecht ausgenutzt. (1959)

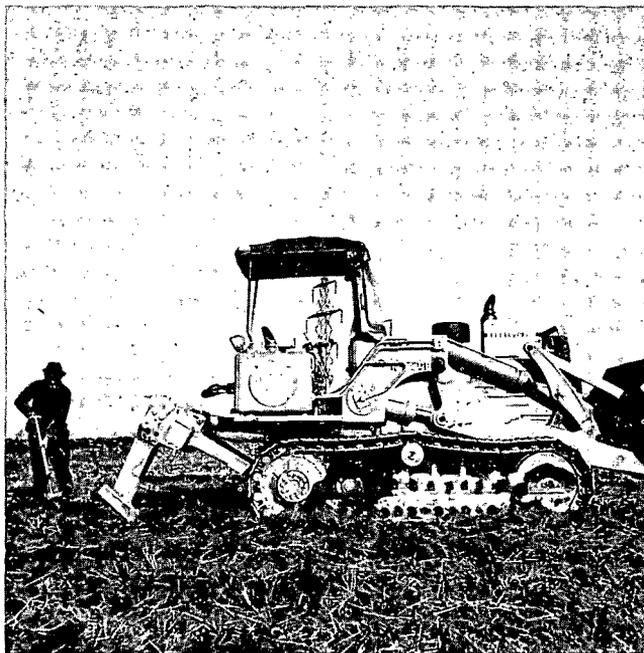


Abb. 8: Auch kleinere Raupen (65 PS) sind zu schwach, um stark verdichtete Böden mit einarmigen Geräten tief genug auflockern zu können.

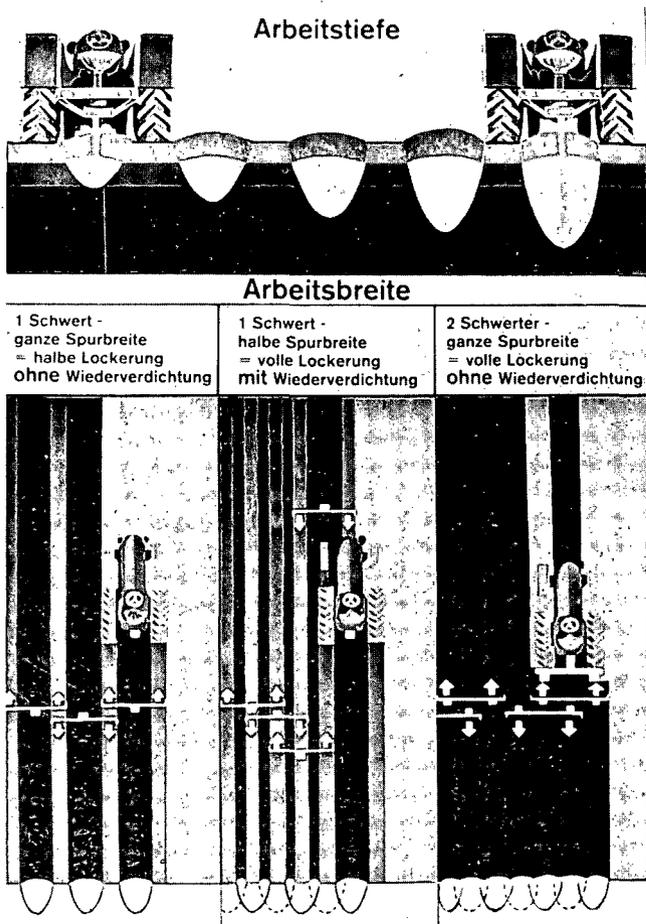


Abb. 9: An der zu geringen Arbeitstiefe und an der zu weiten Arbeitsbreite scheitert meist der Erfolg der Untergrundlockerung. Lockerungsgeräte mit 2 Schwertern sind ideal doch sie erfordern eine hohe Zugkraft.

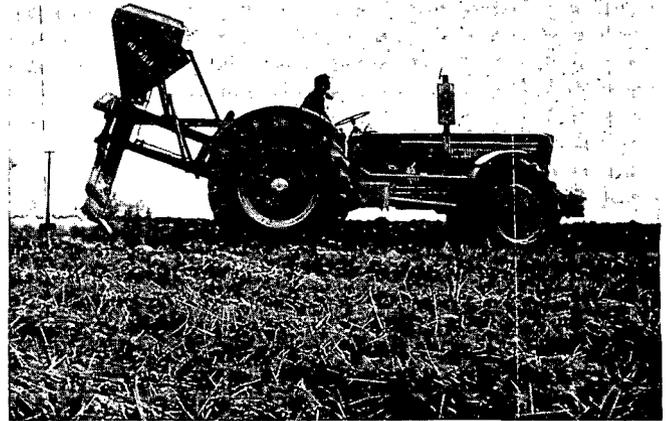


Abb. 10: Schwere Zugmaschinen sind unter bestimmten Voraussetzungen für das tiefe Auflockern der verdichteten Böden geeignet. Hier 90 PS allradantriebener Traktor der Firma Schlüter, 805 Freising.



Abb. 11: Bei den ersten Tiefendüngungsversuchen wurde eine Tiefdüngungsanlage eingesetzt, bei der die Verteilervorrichtung fehlte. Die Nährstoffe wurden teilweise schlecht ausgenutzt.



Abb. 12: Tiefdüngungsgerät mit angeschlossener Kompressoranlage.

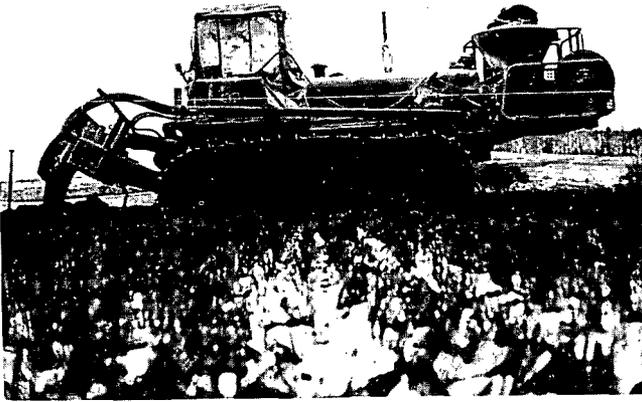


Abb. 13: Das von der Fa. Davids, 2262 Medelby, erbaute und mit einem Gebläse ausgestattete einarmige Lockerungs- und Tiefendüngungsaggregat.

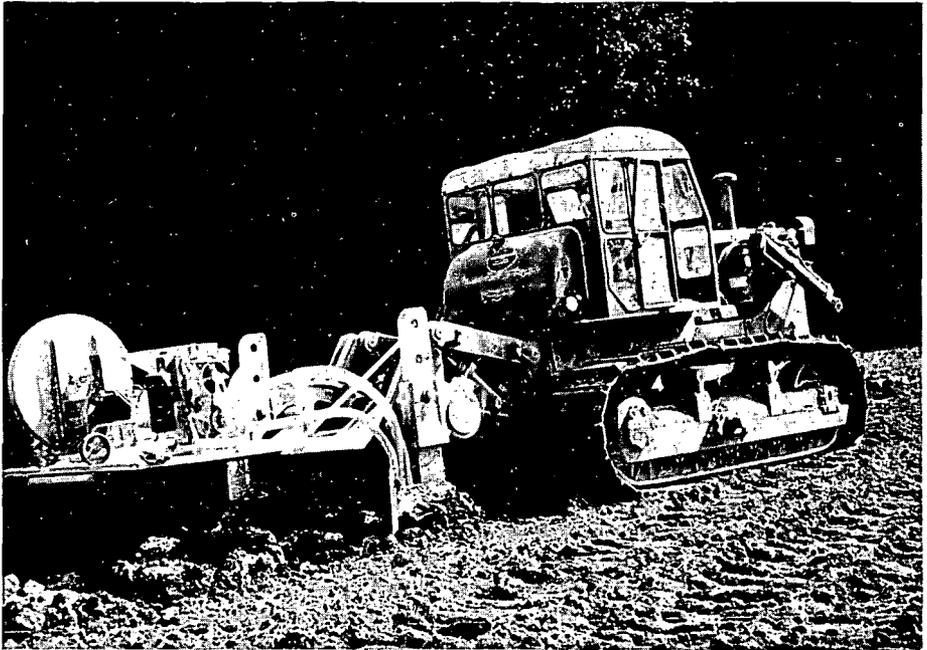


Abb. 14: Lockerungs- und Tiefendüngungsgerät der Fa. Beuschamp, 8729 Neuses. (siehe auch Abb. 5)



Abb. 15: Das im Jahre 1967 entwickelte und in verschiedenen Größen erstellte Lockerungs- und Tiefendüngungsgerät der Fa. Gnacke u. Braun/Horrem (5158)

## Auswirkungen eines Grabenausbaues auf die landwirtschaftliche Nutzung

R. Sunkel <sup>+)</sup>

Im Zuge eines Flurbereinigungsverfahrens wurde im Jahr 1958 in der Gemarkung Dreierwalde, Kreis Tecklenburg, ein Entwässerungsgraben begradigt und wesentlich tiefer ausgebaut. Es war nachträglich - im Jahre 1965 - zu beurteilen, welche Auswirkungen diese Maßnahme auf die landwirtschaftliche Nutzung hatte. Das Fehlen von Grundwasserbeobachtungsergebnissen aus der Zeit vor dem Grabenausbau erschwerte die Aufgabe sehr, es war jedoch möglich, mit Hilfe einer engmaschigen Bodenkartierung anhand der Grenze zwischen Go- und Gr-Horizont der Gleye, die in diesem Fall bei einem großen Teil der Einschläge recht deutlich zu erkennen war, mit ausreichender Genauigkeit auf die früheren Grundwasserflurabstände zu schließen und die gestellte Frage zu beantworten.

Die 7,4 ha große Untersuchungsfläche liegt in der Emsniederung am Nordrand der Westfälischen Tieflandsbucht. Ausgangsmaterial für die Bodenbildung sind pleistozäne Talsande. Überwiegend kommen Gleye vor, daneben Übergänge zu Podsolen sowie geplagte Böden.

Neben der Bodenkartierung wurden zwei Nivellements zur Darstellung von Längenschnitten durch die Untersuchungsfläche durchgeführt. Die Forschungsstelle für Grünland und Futterbau des Landes Nordrhein-Westfalen in Kleve-Kellen hat das Grünland punktförmig pflanzensoziologisch aufgenommen.

Die landwirtschaftliche Nutzungseignung der Böden vor Ausbau des Grabens

Bei den fast reinen Sandböden der Untersuchungsfläche hat das Grundwasser dann entscheidenden Einfluß auf den Pflanz-

---

<sup>+)</sup>  Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 43 Essen, Wallneyer Straße 6

zenertrag, wenn es von den Pflanzenwurzeln erreicht werden kann. Die nutzbare Wasserkapazität im durchwurzelbaren Raum ist bei ihnen so gering (70 - 100 l/m<sup>2</sup>), daß sie in Trockenperioden rasch verbraucht wird. Bei grundwasserfreien Böden hängt die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen deshalb wesentlich von Höhe und Verteilung der Niederschläge ab. Das langjährige Mittel der Jahresniederschlagssummen der benachbarten Station Hörstel beträgt 893 mm (März bis September 458 mm), aber wegen der ungleichmäßigen Niederschlagsverteilung treten immer wieder längere Trockenperioden auf, in denen die Pflanzen unter Wassermangel leiden, wenn sie nicht auf das Grundwasser zurückgreifen können.

Ob die Pflanzenwurzeln das Grundwasser erreichen können, hängt vom Grundwasserflurabstand, der Mächtigkeit des Saugsaumes und der Durchwurzelungstiefe ab. Der Grundwasserflurabstand ändert sich bekanntlich im Laufe des Jahres. Die Schwankungsamplitude auf der Untersuchungsfläche ist, bedingt durch die Lage zwischen der Dreierwalder Aa und dem ausgebauten Entwässerungsgraben, außergewöhnlich gering. Der Saugsaum ist bei solchen fast reinen Sanden sehr schmal (etwa 20 - 30 cm). Die Durchwurzelungstiefe beträgt auf ihnen bei einjährigen Ackerkulturen 1 - 1,2 m, bei Grünland 0,5 - 0,7 m.

Unter Berücksichtigung aller genannten Faktoren wird die landwirtschaftliche Nutzungseignung dieser Böden wie folgt beurteilt:

mittlerer Grundwasserflurabstand

60 - 80 cm	beste Weidestandorte, für Ackernutzung zeitweilig zu feucht
80 -100 cm	beste Ackerstandorte, grünlandfähig, in Trockenjahren Ertragseinbußen bei Grünland möglich
100 -130 cm	beste Ackerstandorte, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig
130-160 cm	ackerfähig, Grundwasseranschluß selbst bei Ackerfrüchten nur in Jahren mit außergewöhnlich hohen Grundwasserständen vorhanden, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig.
tiefer als 160 cm	ackerfähig, kein Grundwasseranschluß, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig und selbst in den Anbaumöglichkeiten für Ackerfrüchte begrenzt.

Die mittleren Grundwasserflurabstände auf der Untersuchungsfläche vor dem Ausbau des Grabens, festgestellt anhand der Lage der Grenze zwischen dem Go- und Gr-Horizont, und die daraus abgeleitete landwirtschaftliche Nutzungseignung der Böden werden in Abbildung 1 wiedergegeben.

Die aufgrund der bodenkundlichen Kartierung vorgenommene Beurteilung der Untersuchungsfläche wird durch die Einstufung bei der Reichsbodenschätzung, durch Angaben über die frühere Nutzungsart, durch die pflanzensoziologische Aufnahme und durch Angaben über den Verlauf und die Sohlentiefe des alten Grabens gestützt <sup>1)</sup>.

### Die heutige landwirtschaftliche Nutzungseignung der Böden

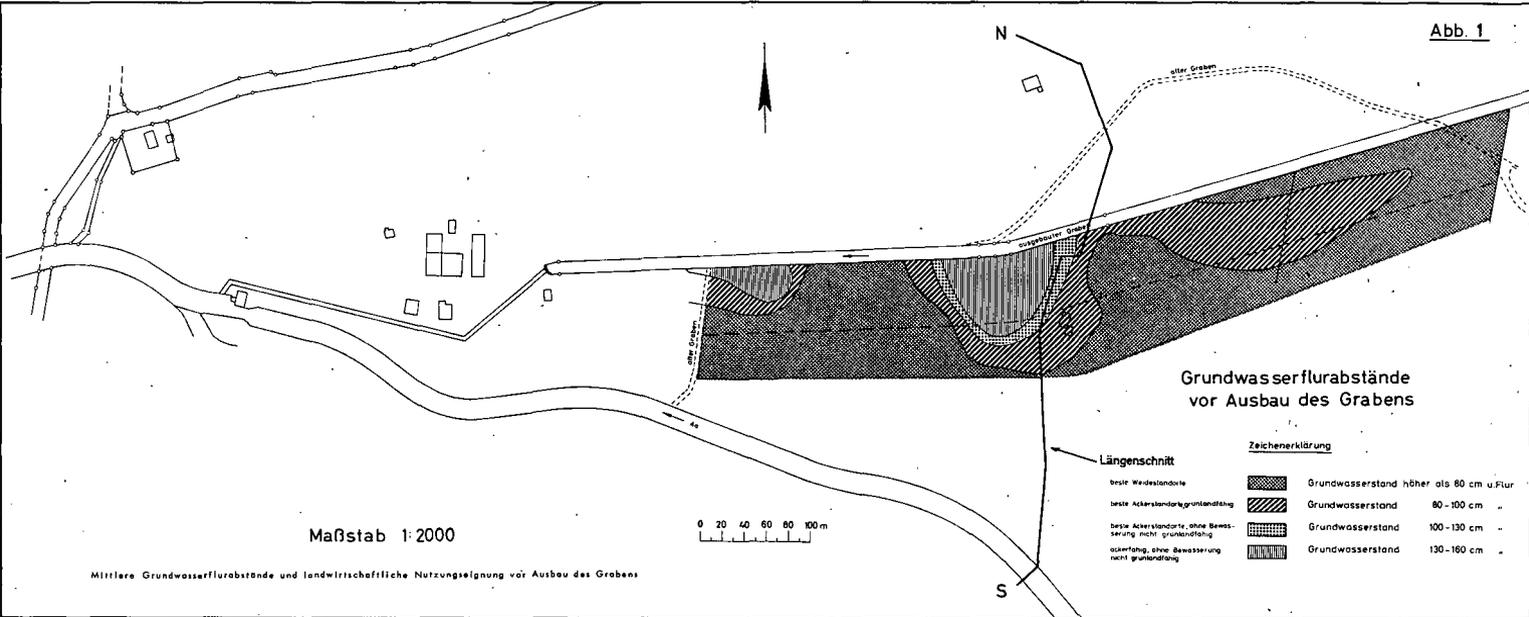
Die jetzige Nutzungseignung ergibt sich entsprechend wie im vorigen Abschnitt aus den ebenfalls bei der Kartierung ermittelten aktuellen Grundwasserflurabständen. Sie entsprechen den mittleren Flurabständen nach Ausbau des Grabens <sup>1)</sup> und werden in Abbildung 2 zusammen mit der jetzigen landwirtschaftlichen Nutzungseignung wiedergegeben.

Ein Vergleich der beiden Abbildungen macht die durch die Grundwasserabsenkung bedingte Änderung der Nutzungseignung der Untersuchungsfläche deutlich. Im Gegensatz zu früher haben landwirtschaftliche Kulturen auf einem großen Teil der Fläche heute keinen Grundwasseranschluß mehr (Flurabstände  $> 1,6$  m). Optimales Grünland mit Flurabständen  $< 0,8$  m kommt fast gar nicht mehr vor, grünlandfähige Ackerstandorte nur im südlichen Randstreifen.

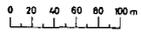
Das Ausmaß der Grundwasserabsenkung und die damit verbundene Änderung in der Nutzungseignung werden durch Abbildung 3 besonders anschaulich. Sie gibt einen der vermessenen Längenschnitte durch die Untersuchungsfläche wieder, dessen Lage im Gelände aus den Abbildungen 1 und 2 zu entnehmen ist. In den beiden Balken wird sowohl die frühere als auch die jetzige Nutzungseignung über die ganze Länge des Schnittes hin dargestellt. Flächen, die ursprünglich beste Weidestandorte mit mittleren Flurabständen zwischen 70 und 80 cm waren, haben heute zum Teil keinen Grundwasseranschluß mehr (mittlere Flurabstände  $> 160$  cm). Nur auf einer kurzen Strecke in der Nähe der Dreiwälder Aa hat sich die Nutzungseignung nicht geändert.

---

1) Sunkel, R.: Auswirkungen eines Grabenausbaues auf die landwirtschaftliche Nutzung, Wasser und Boden, im Druck.



Maßstab 1:2000



Mittlere Grundwasserflurabstände und landwirtschaftliche Nutzungseignung vor Ausbau des Grabens

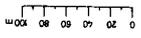
### Grundwasserflurabstände vor Ausbau des Grabens

**Zeichenerklärung**

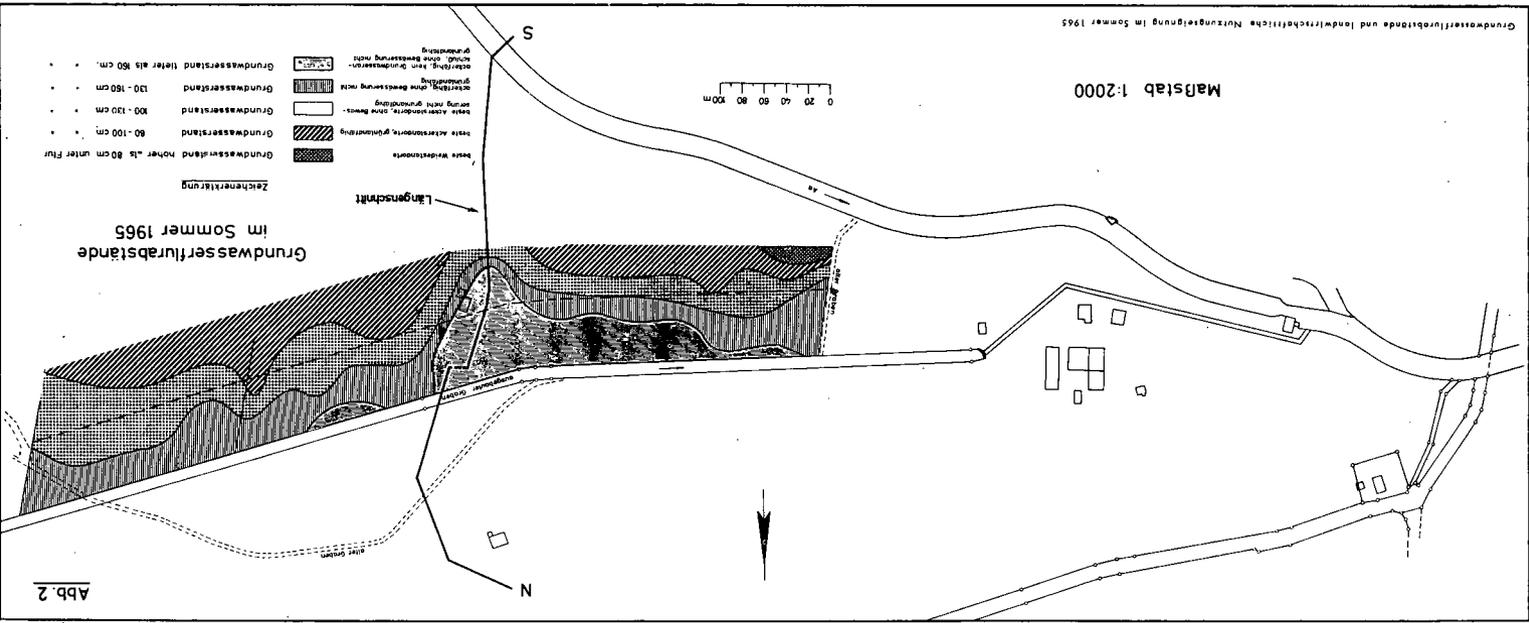
beste Weidenlande		Grundwasserstand höher als 60 cm u Flur
beste Ackerlande, grundentf.ung		Grundwasserstand 80 - 100 cm
beste Ackerlande, ohne Bewässerung nicht grundentf.ung		Grundwasserstand 100 - 130 cm
ackerf.ung, ohne Bewässerung nicht grundentf.ung		Grundwasserstand 130 - 160 cm

Längenschnitt

Maßstab 1:2000

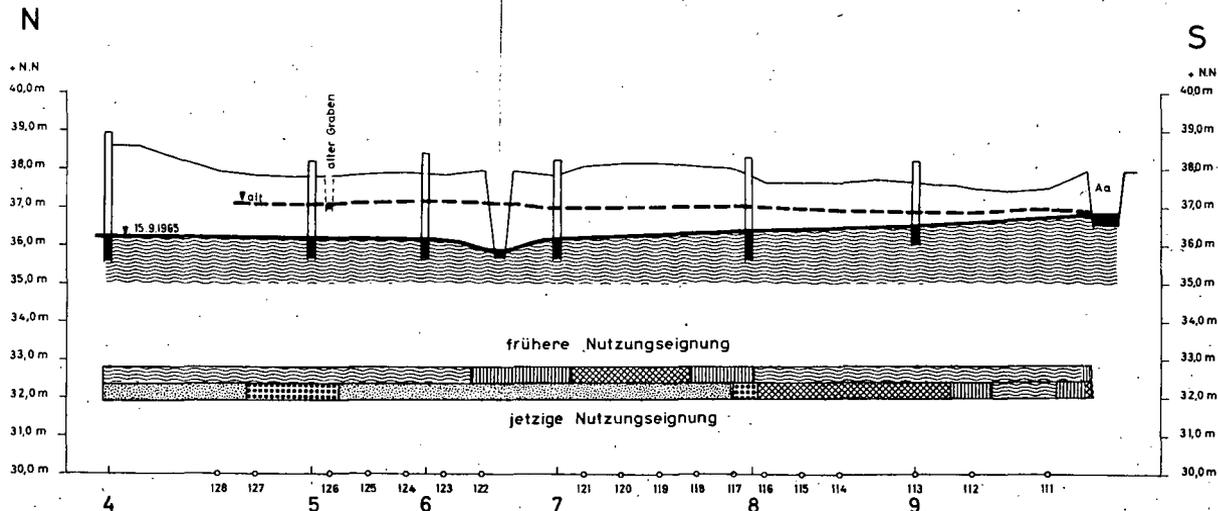


- • • • • Grundwasserstand tiefer als 80 cm
  - • • • • Grundwasserstand 130 - 160 cm
  - • • • • Grundwasserstand 100 - 130 cm
  - • • • • Grundwasserstand 60 - 100 cm
  - • • • • Grundwasserstand höher als 80 cm unter Fluß
- Zeichnerklärung
- Längsschnitt

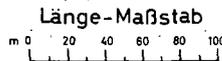


Grundwasserflurabstände  
im Sommer 1965

# Längenschnitt



-  beste Weidestandorte
-  beste Ackerstandorte, grünlandfähig
-  beste Ackerstandorte, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig
-  ackerfähig, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig
-  ackerfähig, kein Grundwasseranschluss, ohne Bewässerung nicht grünlandfähig



- Zeichenerklärung
-  Grundwasserbeobachtungsrohr  
Bohrpunkt
  -  mittlerer Grundwasserstand  
Ausbau des Grabens
  -  Grundwasserstand 15.9.1965

Grundwasserabsenkung und Änderung der landwirtschaftlichen Nutzungseignung bei einem Längenschnitt

## Strukturverbesserung und Bodenerhaltung durch Müllkompost- einsatz in erosionsgefährdeten Hanglagen des Weinbaus

I. Bosse <sup>+)</sup>

(Kurzfassung Ref. DGB, Mainz, 1967)

In allen Weinbaugebieten wird beobachtet, daß sich die Bodenstruktur der Weinberge im letzten Jahrzehnt spürbar verschlechtert hat. Äußerlich erkennbare Merkmale hierfür sind zunehmende Chloroseerscheinungen und Wachstumsschäden infolge von Bodenverdichtungen und -verschlammungen, große Erosionsschäden, gestörter Wasserhaushalt und Absinken der biologischen Aktivität der Böden. Ursache dieser negativen Entwicklung ist vor allem eine unzureichende Humusversorgung als Folge der Spezialisierung der Betriebe, ferner mangelnde Bodenbeschattung und häufig fehlerhafte Bodenbearbeitung.

In einigen Weinbauzentren wird zur Bodenverbesserung und zur Erosionseinschränkung in großem Umfange Müllkompost eingesetzt. Zur Prüfung der Wirksamkeit der Haupt- und Nebenwirkungen dieser vielgestaltig zusammengesetzten Komposte sind in Bad Kreuznach mehrjährige Freilandversuche angelegt worden.

Der mit dem Rebenanbau verbundene hohe Humusverschleiß erfordert zur Aufrechterhaltung eines günstigen Humusspiegels den Einsatz von 100 t/ha Müllkompost, entsprechend 20 t umsetzbare organische Trockenmasse, in jedem 3. Jahr. Mit einer Aufwandmenge von a) 250 t/ha und b) 500 t/ha Müllkompost, verteilt über einen Versuchszeitraum von 5 Jahren, wurde der Humusgehalt der Krume (0 - 20 cm) um folgende Beträge erhöht:

---

+) Bodenverbesserungsverband, Bad Kreuznach

	Ausgangshumus %	250 t/ha %	500 t/ha %
tert. Ton	1,7	3,0	3,1
Lößlehm	1,1	-	2,1
1. Sand	0,8	1,7	2,3

Den Werten ist zu entnehmen, daß der Humusgehalt bei steigenden Aufwänden nicht proportional zu diesen ansteigt; es stellt sich vielmehr ein Gleichgewicht ein, das auf schwerem Boden mit geringerer Zufuhr an organischer Masse erreicht werden kann, als dies auf leichtem Boden der Fall ist.

Die beachtliche Zunahme der Humusgehalte vermindert die Verschlammungsneigung, so daß Bodenbearbeitung - soweit sie lediglich der Krustenbrechung dient - eingespart wird und somit die Bildung stabiler Aggregate bei Einschaltung größerer Bodenruhezeiten gefördert wird.

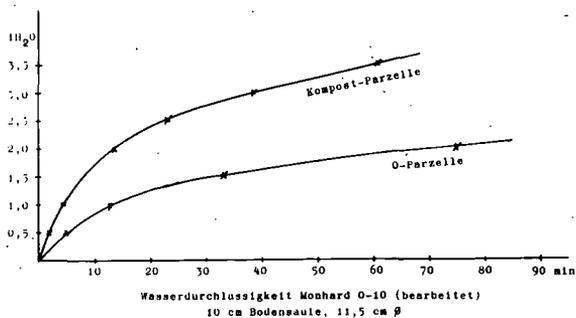


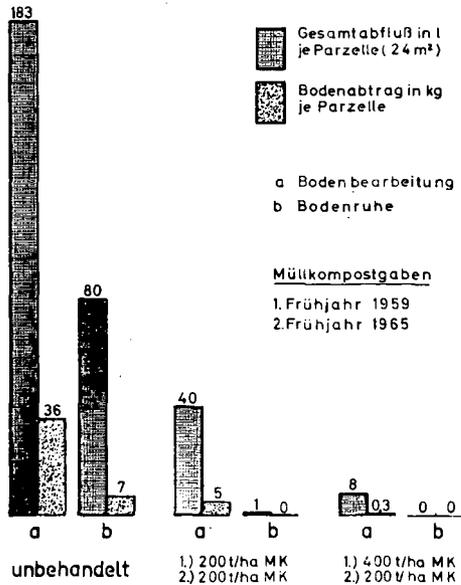
Abb. 1

Abbildung 1 stellt die abnehmende Wasserdurchlässigkeit einer behandelten und einer unbehandelten Lößlehmprobe als Vergleichsmaß der Aggregatstabilität dar.

Die Verminderung der Verschlammungsneigung, verbunden mit einer Erhöhung der Wasserkapazität (Lößlehm; O-Parzelle 44, 8 % m WK; 500 t/ha Kompost 50, 7 % m WK) wirkt der Erosion entgegen. Die bekanntermaßen günstige Wirkung des Müllkompostes auf das Erosionsgeschehen hat ihre Ursache nicht nur im Humusgehalt, sondern auch im Salzgehalt, der im Jahresdurchschnitt 1 % (TS) beträgt und flockend auf die Bodenkolloide wirkt. Das spürbare Absinken der Erstwirkung des Anwendungsjahres in den folgenden Jahren hat seine Ursache vermutlich in der Auswaschung und Verteilung der Salze, besonders des stark vertretenen  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  im Bodenprofil.

## Erosionsversuch ALTENBAMBERG

2. Gewitterregen am 8. 8. 65 – 26mm/30min



In Abbildungen 2 und 3 sind Ergebnisse aus einem Erosionsversuch mit Müllkompost auf Gehängelehm ( 28 % Ton) bei einem Gefälle von 58 % dargestellt und zwar

- a) im Jahr der Wiederholungsdüngung und
- b) ein Jahr darauf.

Gleichzeitig wurde der negative Einfluß ständiger Bodenbearbeitung berücksichtigt. Die 7-jährige Beobachtung des Versuchs zeigte, daß der Bodenabtrag um 41 bzw. 67 % vermindert werden konnte.

### Erosionsversuch ALTENBAMBERG

3. Gewitterregen am 14.6.66 - 30mm/20min

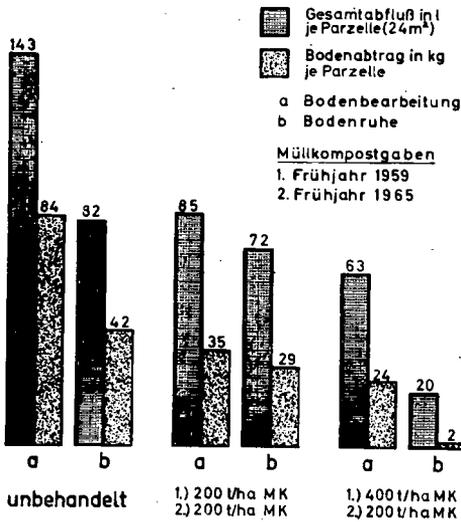


Abb. 3

## Die Bildung von Huminsäuren durch Bodenmikroorganismen

K. Haider und J. P. Martin <sup>+)</sup>

Von *Aspergillus*-, *Epicoccum*- oder *Stachybotris*-Arten, einigen Streptomycceten oder von *Azotobacter*-Arten ist bekannt, daß sie Huminsäuren bilden.

Bei unseren Untersuchungen wurden *Epicoccum nigrum* und *Stachybotris atra* in einer Nährlösung kultiviert, die nur Glukose und Asparagin als C- und N-Quelle enthielt. In diesen Nährlösungen bildeten sich während des Wachstums der Organismen Huminsäuren in einer Ausbeute zwischen 2 - 6 g je 15 l des Nährmediums. Der Kohlenstoffgehalt dieser Huminsäuren lag zwischen 53 - 59 %, ihr Stickstoffgehalt zwischen 6 - 8 %. Die Huminsäuren sind sehr stabil gegen den Abbau durch Bodenmikroorganismen, ihr Stickstoffgehalt kann zu etwa 50 % in Form freier Aminosäuren durch salzsaure Hydrolyse oder Proteasen abgespalten werden. In ihren physikalischen Eigenschaften waren sie einer Vergleichshuminsäure aus Braunkohle ähnlich.

Die Huminsäurebildung in den Kulturmedien setzte bei einem pH von etwa 6 - 7 ein und verlief rasch. Ein Zusatz verschiedener phenolischer Ligninspaltstücke erhöhte die Menge an Huminsäuren.

Eine reduktive Spaltung der Huminsäuren mit Natriumamalgam ergab ein Gemisch von etwa 14 verschiedenen Phenolen, die zum großen Teil identifiziert wurden. Meistens handelte es sich dabei um Resorcinderivate, wie Orcin, Orsellinsäure, 3, 5-Dihydroxybenzoesäure und ähnliche Verbindungen.

---

+) Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig - Völkenrode  
Direktor Prof. Dr. W. Flaig und  
Agricultural Experiment Station, University of California, Riverside

Die gleichen Phenole liessen sich vor Einsetzen der Huminsäurebildung in den Nährlösungen nachweisen. Untersuchungen über den Bildungsmechanismus der Huminsäuren ergaben, daß von E. nigrum Orsellinsäure und Cresorsellinsäure aus nichtaromatischen Vorstufen gebildet werden und diese Verbindungen durch Decarboxylierung, Einführung weiterer Hydroxylgruppen und Oxydation von Methylgruppen in etwa 20 verschiedene Phenole überführt werden. Unter anderem bilden sich dabei autoxydable Methyl-hydroxyhydrochinone, die bei pH 6 oder 7 mit anderen Phenolen oder auch mit Aminosäurederivaten, die von den Pilzen an die Nährlösung abgegeben werden, reagieren und die Huminsäure bilden. Zugesezte Phenole, wie Kaffeesäure, Ferulasäure, p-Hydroxycimtsäure oder Protocatechusäure werden durch teilweisen Abbau der Seitenkette, durch Demethylierung und Einführung weiterer Hydroxylgruppen in leichtoxydierbare Phenole überführt.

#### Literatur:

1. Martin, J.P.; S.J. Richards and K. Haider:  
Properties and decomposition and binding action in soil of humic acid synthesized by *Epicoccum nigrum*.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 657 (1967)
2. Haider, K. and J.P. Martin:  
Synthesis and transformation of phenolic compounds by *Epicoccum nigrum* in relation to humic acid formation.  
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31, 766 (1967)

## Die Bedeutung der städtischen Siedlungsabfälle für die Humusversorgung der Böden

H. Kick <sup>+)</sup>

Seit Jahrhunderten dienten Abfälle (Müll und Fäkalien) aus den Städten in den Niederlanden zur Melioration der sogenannten "Fehnkolonien" (abgetorfte Flächen). Auch bei uns finden sich schon um die Jahrhundertwende Berichte über Müll- und Kehrriechterverwertung im deutschen landwirtschaftlichen Schrifttum (1, 2). Gute Erfahrungen machte man bei der Bemüllung von größeren Sand- und Moorflächen. In Zeiten großer Düngerknappheit erinnerte man sich regelmäßig der städtischen Abfälle, sogar der Abbau von Altmüllhalden zur Herstellung von Düngern wurde vorgeschlagen. Das starke Hervorkehren der Humusfrage in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg, die Bedeutung der Humusstoffe für die Ertragsfähigkeit des Bodens, der nach der Meinung mancher, kaum sachverständiger aber umso interessanter sich gebärdender Autoren, angeblich katastrophale Humusraubbau, der den sicheren Ruin unserer Landwirtschaft unvermeidlich mache, trugen dazu bei, daß die Kompostierung städtischer Abfälle geradezu als der Rettungsanker für die Landwirtschaft hingestellt wurde. Eine falsche Einschätzung der Möglichkeiten und wenig realistische Kalkulationen waren die Folge. Städtische Abfälle in Form des Müllkompostes, Müllklärschlammkompostes und des Klärschlammes - von Industrie und Gewerbeabfällen sei zunächst abgesehen - können aber zweifellos mit Vorteil im Landbau eingesetzt werden, wenn ihre Eigenschaften und die Bedingungen für ihren Einsatz beachtet werden. Besonders aussichtsreich sind Weinbau, Obstbau, Sonderkulturen mit hohem Humusbedarf sowie Bodenverbesserung in dringenden Fällen, z.B. kalk-humus- und nährstoffarme Böden.

---

+) Agrikulturchemisches Institut der Universität Bonn

Im übrigen liegt der Anfall an organischen Stoffen in der Form der städtischen Abfälle bei etwa 5 % der insgesamt in der Landwirtschaft für die Humusversorgung zur Verfügung stehenden organischen Masse (Tab. 1).

Hinsichtlich ihres Gehaltes an organischer Masse sind die verschiedenen Müllkomposte und der Klärschlamm durchaus mit Stallmist vergleichbar, wenn auch die organische Masse der Komposte oder des Klärschlammes sich von der organischen Masse des Stallmistes unterscheidet. Man kann daher bei Preisvergleichen nicht ohne weiteres den Preis der organischen Masse des Stallmistes oder des Düngertorfes zugrunde legen. Alle städtischen Abfälle enthalten auch beachtliche Nährstoffmengen (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, B, Mo), wobei besonders der Gehalt an Spurenelementen und basisch wirksamen Stoffen sowie der Gesamtsalzgehalt beachtet werden müssen, vor allem auch um Überdosierung zu vermeiden.

Bei der Aufbereitung der Komposte zu einem im Landbau verwertbaren Material stehen neben humuswirtschaftlichen Fragen auch Probleme der Hygiene im Mittelpunkt des Interesses. Den berechtigten Forderungen der Hygiene entspricht wohl am ehesten eine aerobe Rotte, bei der das Material etwa 3 Wochen bei Temperaturen  $> 55^{\circ}\text{C}$  gehalten wird. Je nach den Dimensionen der Kompostmieten bilden sich verschiedene Rottezonen in der Miete aus, von denen die oberste, der Atmosphäre am nächsten liegende und daher aerobe Zone meist durch starkes Pilzwachstum sich auszeichnet, während die mittleren und unteren Zonen einer Miete auch anaerobe Verhältnisse zeigen.

Im Zusammenhang mit Kompostierungsversuchen wurden mit Komposten aus den verschiedenen Zonen einer Miete nach 5 bis 6-monatiger Rottezeit Vegetationsversuche durchgeführt (3), die klären sollten, ob die Rottebedingungen einen entscheidenden Einfluß auf die Kompostwirkung haben (Tab. 2). Die Unsicherheit bei der Versuchsanstellung lag in der Hypothese, daß überall 20 % des Gesamtstickstoffes der Kompostgabe als verfügbar angesetzt waren. Für jedes Prüfglied war dann auf eine verfügbare N-Menge von 1000 mg je Topf (Pr. Gl. 2) mit  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  aufgefüllt worden. Die Kompostgaben waren auf der Basis von 50 g wirksamer organischer Masse (WOS) berechnet. Von Einfluß auf das Ergebnis ist der verhältnismäßig hohe Salzgehalt, der im Boden durch die Komposte hervorgerufen wird (letzte Spalte Tab. 2). Dadurch wird wahrscheinlich schon der Ertrag bei den Kompostgaben gedrückt. (Vergleich Pr. G. 2 mit den übrigen Prüfgliedern)

Der verfügbare Anteil des Stickstoffes im Kompost lag, aufgrund der Versuchsergebnisse bei etwa 10 % des Gesamt-N. Die allerdings verhältnismäßig geringen Unterschiede in den **Korn**erträgen, die bei Kompostgaben aus den verschiedenen Schichten auftraten, sind möglicherweise durch die N-Bindung hervorgerufen, wobei auch das C/N mitspielt (Pr.G. 37). Besondere Wirkstoffe (Antibiotika u. dergl.) scheinen wenig Bedeutung zu haben (Tab.3), denn die Zerstörung löslicher organischer Stoffe (Preßsaft aus den Komposten) durch  $H_2O_2$  hatte keine nennenswerte Wirkung. Auch hier hat die Salzzufuhr eine gewisse Bedeutung, denn die Preßsäfte waren ziemlich salzhaltig (vorletzte Spalte in Tab. 3). Aus einem von uns durchgeführten Dauerversuch (Tab. 4) läßt sich erkennen, wie sich Müllkomposte auf den Gehalt des Bodens an organischer Masse auswirken. Die Gehalte an organisch gebundenem und im NaOH löslichem Kohlenstoff sind bei den Kompostgaben ganz beträchtlich angestiegen und haben die Stallmistwirkung auch bei vergleichbaren Gaben übertroffen (Pr.Gl. 3, 4, 6). Auf dem Feldstück sind diese Unterschiede schon von weitem durch dunklere Färbung des Bodens der mit den Komposten gedüngten Teilstücke zu erkennen. Auch die Erträge des Versuches haben sich unter dem Einfluß der Müllkomposte und des Klärschlammes günstig entwickelt, vor allem ist eine beachtliche Nachwirkung zu beobachten. Da die Müllkomposte meist mehr als 5 % basisch wirksame Anteile, berechnet als CaO, enthalten, steigt auch der pH-Wert des Bodens bei der Kompostanwendung regelmäßig an, d.h. die Kompostgaben wirken wie eine Kalkdüngung.

Die Verwertung städtischer Abfälle im Landbau liegt sicherlich nicht nur im Interesse der Städte, die ihre Abfallstoffe beseitigen müssen, sondern im Interesse des Landbaus, wenn der Standort gute Voraussetzungen bietet und die Eigenschaften dieser Stoffe sorgfältig beachtet werden. Regeln für die Anwendung lassen sich heute durchaus geben (4).

TABELLE 4

Gehalt an  $C_t$  und  $C_{NaOH}$  lösli.

nach 10jähriger Versuchsdauer

(Parabraunerde)

Pr.Gl.	Durchschnittl. Gabe in t/ha u. Jahr	% $C_t$	% $C_{NaOH}$ lösli.	pH <sub>KCl</sub>
2.	ohne org. Düngung niedrige Mineraldüngung	1,11	0,41	6,1
8.	ohne org. Düngung hohe Mineraldüngung	1,10	0,16	6,0
3.	16,9 Klärschlamm 5,6 Müllkompost	1,33	0,42	6,8
4.	43,4 Müllklär- schlammkompost	1,76	0,62	7,4
6.	28,5 Klärschlamm 8,4 Müllklär- schlammkompost	1,57	0,62	7,1
7.	62,9 Müllklär- schlammkompost	2,02	0,59	7,5
10.	15 Stallmist	1,15	0,45	6,8

## SCHRIFTTUM

1. Vogel, H.T. Verwertung von Hausmüll und Straßenkehrschutt.  
Dt. Landwirtschaftliche Presse 21,  
242-243, 1894
2. Thiesing, H. Die landwirtschaftliche Verwertung des Haus-  
mülls,  
Mitt.,Dt. Landwirtsch.-Ges,17, 279-282  
1902
3. Poletschny, H. Die Nachrotte von aufbereitetem Frischmüll  
bei Zumischung von Braunkohle,  
Papier und Abwasserklärslamm und die  
Wirkung der Komposte auf das Pflanzen-  
wachstum.  
Diss, Bonn 1965
4. Kick, H. Die Anwendung der festen Siedlungsabfälle  
(Müll- und Müllklärslammkompost,  
Klärslamm) im Landbau und ihre Beurtei-  
lung.  
in: Forschung und Beratung  
Reihe B, Wissenschaftliche Berichte der Land-  
wirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn,  
Heft 6, 5-77, 1962,  
Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH  
Hiltrup bei Münster, Westf.

Tabelle 1

Jährlicher Anfall an org. Masse in Siedlungsabfällen,  
Stallmist und Ernterückständen

	Ges. Tr.M. $10^6$ t	org.Tr.M. $10^6$ t	nach Kompost. bzw. Ausfäulung $10^6$ t
Müll	7,8 - 8,0	2,3 - 2,4	1,6
Klärschlamm nicht ausgef.	1,2	0,8	<u>0,5</u> 2,1
Stallmist	~ 24,0	~ 20	
Ernterückstände und Wurzeln	~ 20 - 25	<u>23</u> 43	

Tabelle 2

Einfluß verschiedener Rottebedingungen bei der Herstellung von Müll-Klärschlammkomposten (5 Monate Rotte)

(Kompostgaben auf der Basis von 50g WOS je Topf)

Versuchspflanze: Gerste

N-Wirkung der Komposte mit 20% des  $N_t$  angenommen

Prüfgl.	Ent-nahme	mg N als $NH_4, NO_3$	mg N Entzug	g Korn	mmho/cm
2 ohne Komp	—	1000	763	$37,8 \pm 0,9$	0,8
6 } Winter-	o	376	551	$29,2 \pm 2,2$	} 5,5
7 } müll	m	440	545	$24,3 \pm 1,3$	
8 } müll	u	448	542	$26,2 \pm 1,8$	
13 } müll	m	—	251	$13,3 \pm 0,6$	6,2
30 } Winter-	o	676	544	$29,8 \pm 1,4$	} 4,8
31 } müll	m	702	532	$27,4 \pm 0,3$	
32 } + 10% Papier	u	722	535	$31,7 \pm 0,8$	
37 } Papier	m	—	81	$2,1 \pm 0,4$	5,0
42 } Winter-	o	404	592	$27,9 \pm 1,0$	} 4,6
43 } müll	m	422	720	$32,9 \pm 0,6$	
44 } 30% F. S.	u	458	681	$29,4 \pm 1,4$	
49 } (85% $H_2O$ )	m	—	269	$15,7 \pm 0,2$	

	Wintermüll			Wintermüll+10% Papier			Wi.-Müll + 30% Faulschlamm		
	o	m	u	o	m	u	o	m	u
% $N_t$ i. Tr. M.	0,60	0,58	0,58	0,55	0,55	0,54	0,72	0,71	0,68
% WOS i. Tr. M.	9,60	10,4	10,5	17,1	18,2	18,6	12,1	12,3	12,6
$C_{WOS} / N_t$	9,30	10,4	10,5	18,0	19,6	20,8	9,8	10,0	10,8

Tabelle 3

Wirkung von Presssäften von Müllkomposten  
Basis 50 g WOS, N-Ausgleich,  
Versuchspflanze: Senf

Prüfgl.	Komp.	Ent- nahme	Beh. des Pressaftes	spez. Leitf. des Pressaftes mmho/cm	g Tr. M. je Gefäß
1	-	-	-	-	14,6 ± 0,2
4	Sommer- müll	o	-	7,1	12,3 ± 0,2
5			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		12,4 ± 0,1
7		m	-	7,4	12,1 ± 0,4
8			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		11,6 ± 0,5
10			-		12,0 ± 0,3
11	u	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	7,4	12,0 ± 0,1	
13	Sommer- müll + Faul- schlamm	o	-	5,9	13,4 ± 0,3
14			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		13,1 ± 0,3
16		m	-	5,2	13,3 ± 0,1
17			H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		13,8 ± 0,4
19			-		13,4 ± 0,3
20	u	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	6,9	14,9 ± 0,1	

Düngung: 750 mg N als NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>

1000 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> } löslich  
1500 mg K<sub>2</sub>O }

## Untersuchungen zur Klasifizierung der organischen

### Bodensubstanz

J. Chr. Salfeld <sup>+)</sup>

Nach der klassischen Theorie verlaufen die logarithmisch aufgetragenen Huminstoffspektren annähernd linear. Die Spektren verschiedener Huminsäuren unterscheiden sich durch die Steigung und werden durch einen Quotienten zweier Extinktionen charakterisiert. Daraus ergibt sich ein lineares Ordnungsschema in dem alle Huminstoffe nach der Größe eines Extinktionsquotienten sortiert werden. Tatsächlich zeigen die Spektren jedoch neben dem allgemeinen Verlauf des Abfalls der Extinktion nach längeren Wellen, der ein solches Spektrum als Huminstoffspektrum charakterisiert, mehr oder weniger individuelle Züge, die sich als Spektrum eines individuellen Huminstoffes ausweisen. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, daß man diese individuellen Züge im sichtbaren Gebiet ohne größeren Aufwand mit erfaßt, wenn man die Spektren nicht durch einen, sondern durch mindestens drei Extinktionsquotienten charakterisiert.

Mit einer Gruppe von 52 Huminsäurepräparaten, die nach verschiedenen Methoden aus verschiedenen Böden isoliert wurden, wurde untersucht, wieweit es möglich ist, Huminstoffpräparate aufgrund der so charakterisierten Spektren zu unterscheiden mit dem Ziel, ein möglichst differenziertes Ordnungsschema für die in Böden und ähnlichen Systemen gebildeten Huminstoffe zu entwickeln. Darüberhinaus sollte diese Untersuchung eine Vorarbeit für einen entsprechenden Vergleich unter Verwendung möglichst vieler dazu geeigneter und mit hinreichender Genauigkeit meßbarer Eigenschaften sein.

---

+) Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. W. Flaig

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei Meßwerte verwendet, nämlich die Quotienten aus den Extinktionen bei 400 und 500 nm, 500 und 600 nm sowie 600 und 700 nm.

In Anlehnung an ein von Sneath (1) entwickeltes Verfahren wurde jedes Spektrum mit jedem anderen verglichen. Das mit Sichtlochkarten durchgeführte Vergleichsverfahren war so eingerichtet, daß 9 Ähnlichkeitsgrade unterschieden werden konnten.

Nach Reduktion auf zwei Ähnlichkeitsgrade wurde eine optimale Verteilung, bei der die ähnlichen Objekte möglichst nahe beieinander, die unähnlichen möglichst weit voneinander entfernt liegen sollen, nach einem einfachen optisch-mechanischen Verfahren erhalten. Das Ergebnis ist in der Abb.1 wiedergegeben. Die Punkthaufen stellen Gruppen von Huminsäuren mit ähnlichen Spektren dar. Sie fallen weitgehend mit einer Gruppierung der Huminsäuren nach ihrer Herkunft zusammen.

Ähnlichkeitsdiagramm der Spektren von Huminsäuren aus verschiedenen Böden.

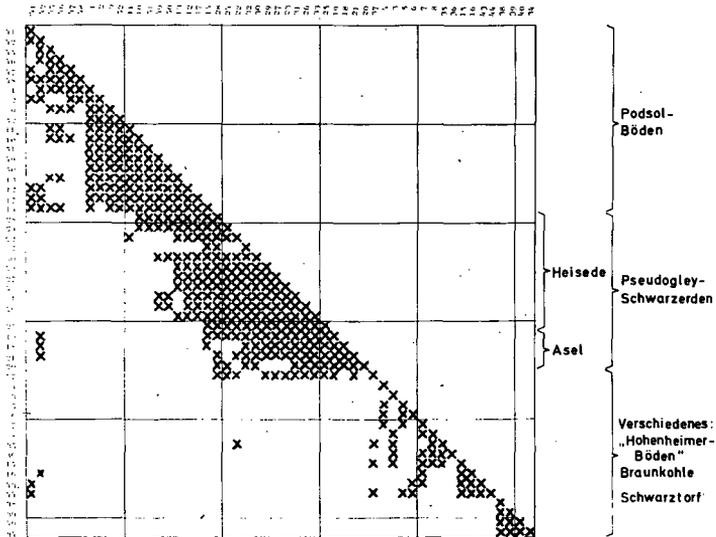


Abb.1 Ähnlichkeitsdiagramm der Spektren von Huminsäuren aus verschiedenen Böden

Wenn Objekte, wie im vorliegenden Falle die Huminsäuren, ausschließlich durch Meßzahlen von Eigenschaften beschrieben sind, lassen sie sich als Punkte in einem  $n$ -dimensionalen Raum mit den  $n$  Meßzahlen als Koordinaten darstellen. Als Maß für die Ähnlichkeit zweier Huminsäuren kann dann der Abstand der ihnen zugeordneten Punkte definiert werden. Gruppen ähnlicher Huminsäuren erscheinen in diesem Modell als räumlich ausgedehnte Punkthausen. Die Abb. 2 zeigt ein Modell, in dem die oben genannten Huminsäurespektren als Punkt mit den drei Extinktionsquotienten als Koordinaten dargestellt sind. Es ergibt sich ein räumlich differenziertes Bild, in dem die Gruppen der Spektren von Huminsäuren ähnlicher Herkunft voneinander getrennt sind. Würden die Spektren, wie üblicherweise, nur durch einen Extinktionsquotienten charakterisiert, so wird das räumlich stark gegliederte Bild auf eine lineare Punktfolge reduziert, die Punkte oder Spektren liegen in diesem Falle auf der Raumdiagonalen.

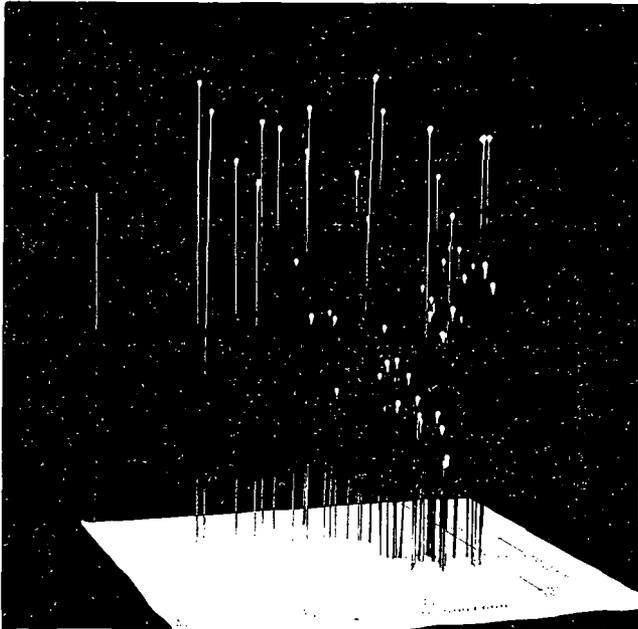


Abb. 2 Modell einer Darstellung von Huminsäurespektren als Punkt in einem dreidimensionalen Koordinatensystem

#### LITERATUR

1. Sneath, P.H.A.: The application of computers to taxonomy. J.gen.Microbiol.17, 201-226 (1957)



## Zur Charakterisierung von Humusstoffen durch

### Gelfiltration

H. Söchtig <sup>+)</sup>

Die Möglichkeit einer Charakterisierung von Humusstoffen verschiedener Herkunft durch ihre Verteilung über Molekularsiebe (Sephadex-Gele), die Reproduzierbarkeit der Verteilung sowie das Auftreten von Fraktionen von Humusstoffen in den Verteilungsdiagrammen wurde geprüft.

Um den störenden Einfluß von Salzen (1) weitgehend auszuschalten, wird der Extrakt der Humusstoffe (nach Vorbehandlung des Bodens mit 0,1 n Salzsäure und dreimaligem Auswaschen mit Wasser, mit 0,1 n Natronlauge) mit jeweils 1 g Portionen Amberlite IR-120 in H-Form geschüttelt, bis der pH-Wert der Lösung unter 7 ist. Anschließend wird mit Natronlauge potentiometrisch auf pH 7,0 titriert und mit einer Lösung des Salzes, das als Elutionsmittel verwendet wird, so eingestellt, daß Humusstoff- und Elutionslösung äquimolar sind. Die Mengen Boden und Extraktionsmittel sind so gewählt, daß die Extinktion der Lösung der Humusstoffe nach einer Verdünnung von 1 : 50 bei 400 nm ca. 0,8 beträgt.

Die Elutionsdiagramme von Humusstoffen aus Podsol und Schwarzerde über verschiedene Sephadex-Gele mit Natriumtetraborat und Natronlauge sind in der **Abb. 1** dargestellt. Unter den Diagrammen sind im Maximum die aus der Beziehung von Andrews (2) erhaltenen Kennzahlen entsprechend "Teilchengewichten globulärer Proteine" angegeben.

---

<sup>+)</sup>  Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft  
Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. W. Flaig

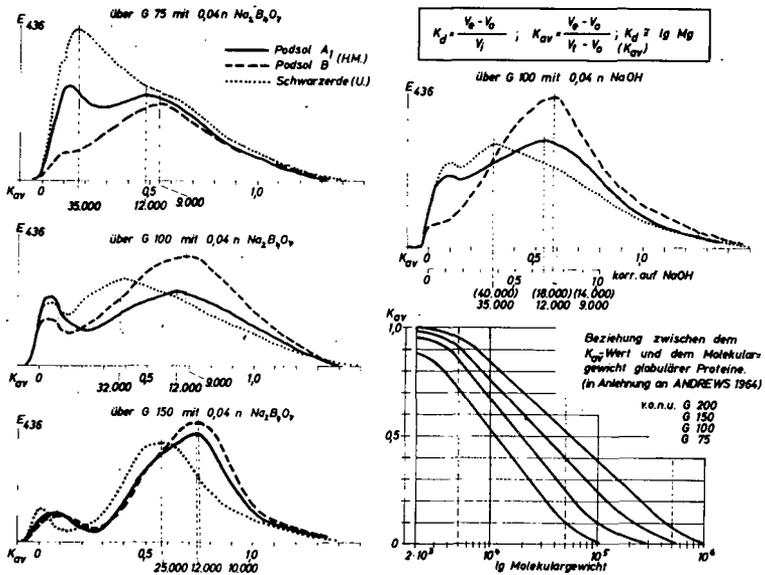


Abb. 1 : Elutionsdiagramme verschiedener Humusstoffe über Molekularsiebe und Teilchengewichtsbeziehung globulärer Proteine nach Andrews (2).

Die Maxima der Elutionsdiagramme sind charakteristisch unterschiedlich für Humusstoffe verschiedener Herkunft. Die Kennzahlen der Maxima stehen für die aus Podsol, nicht jedoch für die aus Schwarzerde, in einer Beziehung zu "Teilchengewichten globulärer Proteine". Beziehungen zum Teilchengewicht von Humusstoffen müssen durch Messungen mit der Ultrazentrifuge geprüft werden. Als Kennziffer für ein an die Gelfiltration gebundenes Charakterisierungsmerkmal sind die  $K_{av}$ -Werte für einen bestimmten Gelyp eher anwendbar, als die aus der Beziehung nach Andrews ermittelten Kenngrößen.

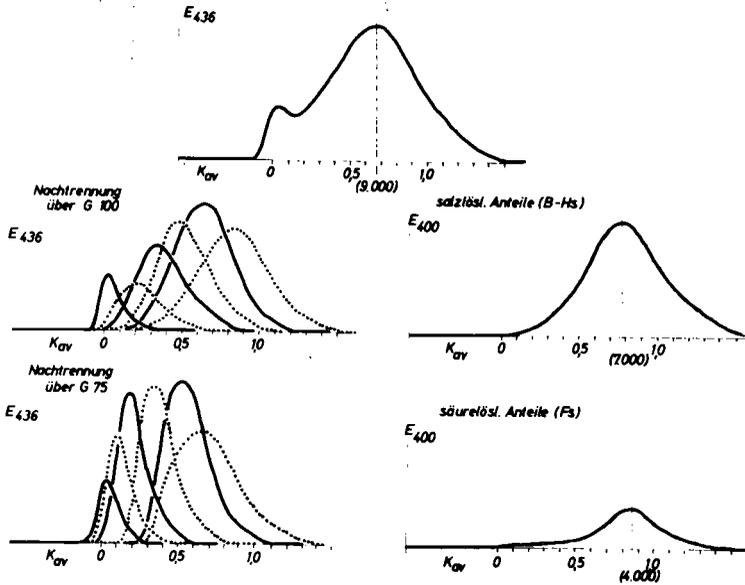


Abb. 2 Nachtrennung und weitere Aufarbeitung einer Trennung von Humusstoffen aus Podsol B über G 100 mit 0,04 n Natrium-tetraborat.

Werden die gefärbten Anteile während der Elution neben der automatischen Registrierung der Farbtiefe (Abb. 2) in Volumenfraktionen aufgefangen und letztere einzeln erneut über Molekularsieve geschickt, sind diese Fraktionen deutlich voneinander abgesetzt (Abb. 2, links). Es werden also bei der Gelfiltration deutlich unterschiedlich reagierende Anteile reproduzierbar erfasst.

Werden die gleichen Fraktionen nacheinander mit Neutralsalz versetzt, zentrifugiert, die Restfärbung gemessen, anschließend auf pH 1,0 angesäuert, zentrifugiert und erneut die Restfärbung gemessen, so ergibt sich eine Verteilung dieser Restfärbung, wie sie die Abb. 2 rechts zeigt. Demnach werden unter den hier verwendeten Bedingungen zuerst die salzflockbaren, dann die säureflockbaren und zuletzt die säurelöslichen Anteile der Humusstoffe eluiert.

LITERATUR:

- 1) Posner, A.M.: Importance of electrolyte in determination of molecular weights by "Sephadex" gel filtration with especial reference to humic acid.  
Nature 198, 1161-1163 (1963)
- Söchtig, H.: Auftrennung von Huminstoffen durch Gelfiltration.  
Mitt.Dt.Bodenk. Ges. 4, 297-300 (1965)
- 2) Andrews, P.: Estimation of the molecular weights of proteins by Sephadex gel filtration.  
Biochem. J. 91, 222 - 233 (1964)

Grenzwerte der Nährelementgehalte in Pflanzen  
und ihre Auswertung zur Ermittlung des Dünger-  
bedarfs

A. Finck<sup>+)</sup>

Um die Pflanzenanalyse als Methode zur Ermittlung des Düngerbedarfs zu vervollkommen, wird für eine Reihe von Kulturpflanzen eine Tabelle der Symptom-, Ertrags- und Toxizitäts-Grenzwerte aller wichtigen Nährelemente angeführt.

Die darin enthaltenen Werte sind nach zahlreichen Literaturangaben interpoliert und werden als 'wahrscheinlichste Werte' angesehen, was eine teilweise künftige Korrektur jedoch nicht ausschließt. Ausgehend von den Bereichen der Nährstoffversorgung wird ein Vorschlag zur Auswertung im Hinblick auf den Düngerbedarf gemacht.

---

<sup>+)</sup>  Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Kiel,  
Olshausenstraße 40-60



## Untersuchungen zur Toxizität von Aluminium und

### Mangan auf sauren Böden

J. Friedrichsen u. A. Finck <sup>+)</sup>

#### I. EINLEITUNG

Unter den zahlreichen Faktoren, die den "Säureschaden" an Kulturpflanzen verursachen können, nehmen auf sauren Standorten im Überschuß vorkommende Al- und Mn-Ionen eine wichtige Stellung ein. Die Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums durch höhere Konzentrationen dieser Ionen im Nährmedium unter Laborbedingungen ist zwar seit langem bekannt (Scharrer und Schropp, 1936, Löhnis, 1951, Vlamis, 1953, Neenan, 1960), es gibt jedoch nur wenige Studien über die relative Bedeutung dieser Faktoren auf sauren Standorten. Im Rahmen einer Dissertation über die Ursachen der Säureschäden an Kulturpflanzen auf Böden Schleswig-Holsteins (Friedrichsen, 1966) wurden daher die Bedingungen des Auftretens von Al- und Mn-Toxizität und ihre Bedeutung in Vergleich zu anderen Faktoren näher untersucht.

#### II. UNTERSUCHUNGSMATERIAL und METHODEN

Die Untersuchung erfolgte an Pflanzen- und Bodenproben, die von insgesamt 19 "Säurefeldern" des Braunerde-, Podsol- und Marschgebietes Schleswig-Holsteins stammten. Zur Vereinfachung werden diese Böden in den weiteren Ausführungen kurz als Braunerden (einschließlich der Parabraunerden), Podsole und Marschen bezeichnet. Von jedem Säurefeld wurden in den Jahren 1964 und 1965 während der Hauptvegetationszeit im Juni die gesamten oberirdischen Teile von Hafer- und Gerstenpflanzen und Bodenproben des Oberbodens (Entnahmetiefe 0 - 20cm) aus dem Zentrum des Säureschadens, der Übergangszone und dem "normalen" Standort entnommen und zur Analyse herangezogen. Die pH-Werte der untersuchten Säurefelder schwanken in folgendem Bereich:

---

+) Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel

Braunerden	pH 3,9 - 6,0
Podsole	pH 3,7 - 7,1
Marschen	pH 2,8 - 4,5

Die Untersuchungen an natürlich versauerten Standorten wurden durch zwei Vegetationsversuche mit künstlich angesäuerten Oberböden einer Braunerde, eines Podsoles und einer Marsch erweitert. Alle drei Böden wurden durch Behandlung mit  $H_2SO_4$  bzw.  $CaO$  auf sieben gleiche pH-Stufen im Bereich von pH 3,4 bis 7,6 eingestellt und mit Hafer und Rotklee kultiviert.

In den Böden wurden die Gehalte an wasserlöslichem und austauschbarem Aluminium (Extraktion mit  $H_2O$  bzw. 1 n  $KCl$ ; Bestimmung mit Oxychinolin in Anlehnung an Frink und Peech (1962) und Koch (1964), sowie das austauschbare und aktive Mangan nach Schachtschabel (1955) analysiert. Die im folgenden Text für Al und Mn als "austauschbar" bezeichnete Fraktion schließt den wasserlöslichen Anteil ein. Im Pflanzenmaterial erfolgte die Bestimmung der Gesamtgehalte an Al und Mn.

### III. ERGEBNISSE

#### 1. Aluminium- und Mangangehalte von Böden in Abhängigkeit von der Bodenreaktion

Die Gehalte der untersuchten Böden an austauschbarem Al variieren in Abhängigkeit vom pH-Wert auf Braunerden und Podsolen zwischen 0 und 120 ppm, auf den Marschen zwischen 5 und 900 ppm Al. Die auffallend hohen Gehalte der Marschen sind in erster Linie auf die extrem tiefen pH-Werte dieser Böden zurückzuführen (Abb. 1).

Aus Abb. 1 geht ferner hervor, daß oberhalb pH 5,4 praktisch kein Al in austauschbarer Form gefunden wird und die Gehalte unterhalb pH 4,4 sprunghaft ansteigen. Zwischen den Al-Gehalten und dem pH-Wert besteht auf allen Böden eine enge negative Korrelation (B-Werte = 50 - 80 %).

Ganz ähnliche Verhältnisse liegen bei den künstlich angesäuerten Böden vor. Bei gleicher Bodenreaktion liegen die Al-Gehalte der Braunerden und Podsole jedoch über denen der Marschen (Abb. 2). Die korrelationsstatistische Auswertung ergibt, daß die Al-Gehalte auf allen drei Böden nach Umrechnung in logarithmische Werte in einer sehr engen negativen Abhängigkeit zur Bodenreaktion stehen. (B-Werte: Braunerden 92%, Podsole 98 %, Marschen 72%).

Die Gehalte der Böden an wasserlöslichem Al zeigen dagegen keine Abhängigkeit vom pH-Wert, sind wesentlich geringer und variieren auf den Braunerden und Podsolen zwischen 1 und 5 ppm, auf den Marschen zwischen 2 und 30 ppm Al mit einer Ausnahme, bei der 89 ppm Al bei pH 2,9 gefunden wurden.

Die Gehalte an austauschbarem Mangan variieren auf den natürlich versauerten Standorten zwischen 10 und 35 ppm und zeigen auf allen Böden eine geringe negative Korrelation mit dem pH-Wert, die nur bei den Podsolen signifikant ist (B = 35%).

In den künstlich angesäuerten Böden des Vegetationsversuches liegen wesentlich höhere Mn-Gehalte vor, weil Mn im Vegetationsgefäß im Gegensatz zum Freiland nicht ausgewaschen wird. Die Gehalte korrelieren nach Umrechnung in logarithmische Werte sehr eng und negativ mit dem pH-Wert, wie aus Abb. 3 ersichtlich ist. Die B-Werte aller drei Böden liegen über 90 %.

## 2. Aluminium- und Mangangehalte von Pflanzen in Abhängigkeit von der Bodenreaktion

Der starke Anstieg des Austausch-Aluminiums und z.T. auch des Mangans bei sinkender Bodenreaktion wirkt sich entsprechend auf die Al- und Mn-Gehalte der Pflanzen aus, was in Abb. 4 dargestellt ist.

Abb.4 zeigt, daß die Aluminiumgehalte von Hafer- und Gerstenpflanzen natürlich versauerter Braunerden und Marschen von etwa 15 ppm Al auf etwa 150 ppm ansteigen. Auf Podsolen steigen die Gehalte in Einzelfällen sogar auf über 300 ppm Al mit sinkender Bodenreaktion an. Blätter stark geschädigter Rotkleepflanzen des Vegetationsversuches enthalten sogar über 500 ppm Al (Abb. 5).

Die Mn-Gehalte von Getreidepflanzen der natürlich versauerten Standorte steigen mit sinkender Bodenreaktion nur wenig an, obgleich die Gehalte über einen weiten Bereich von 4 bis 300 ppm schwanken. Eine signifikante Abhängigkeit der Mn-Gehalte der Haferpflanzen von der Bodenreaktion liegt nur bei den Podsolen vor (  $B = 46 \%$  ).

Im Vegetationsversuch dagegen korrelieren die Mn-Gehalte der Hafer- und Rotkleepflanzen entsprechend den Mn-Gehalten der Böden sehr eng und negativ mit dem pH-Wert (B-Werte für  $\lg \text{Mn} = 60 - 80\%$  ), wobei die Mn-Gehalte unterhalb pH 4 in einzelnen Fällen in Hafer auf 1500, in Rotkleeblättern sogar auf 4000 bis 5000 ppm ansteigen (Abb. 6).

Ein besonderes Kennzeichen säuregeschädigter Felder war der überaus starke Unkrautbewuchs dieser Standorte mit Ackerspörgel oder Ackerknöterich. Selbst auf den extrem sauren Marschen mit pH-Werten unter 3,0 war das Wachstum von Ackerspörgel kaum beeinträchtigt, obgleich die Kulturpflanzen fast abgestorben waren. Die Untersuchung ergab, daß diese Unkräuter Al-Gehalte von 600 bis 800 ppm aufwiesen und damit erheblich über den Werten der Kulturpflanzen lagen. Das vermehrte Auftreten dieser Unkräuter auf sauren Standorten dürfte daher vor allem auf die Verträglichkeit hoher Al-Gehalte im Pflanzengewebe zurückzuführen sein.

#### IV. DISKUSSION

##### 1. Grenzwerte für Al- und Mn-Toxizität in Pflanzen

Für Aluminium sind Grenzwerte in Pflanzen kaum bekannt. Einer Arbeit von Rees und Sidrak (1961) mit Wasser- und Sandkulturversuchen ist zu entnehmen, daß junge, gesunde Gerste einen Al-Gehalt von 38 ppm und durch Al-Zusatz bereits geschädigte Gerste einen Gehalt von 52 ppm Al aufwies. Der Grenzwert muß daher zwischen diesen Gehalten liegen.

Aus den Ergebnissen des eigenen Vegetationsversuches kann gefolgert werden, daß der Grenzwert für Al-Toxizität für junge, etwa 45 cm hohe Haferpflanzen bei Gehalten zwischen 50 - 60 ppm, für Rotkleeblätter zwischen 70 - 80 ppm in der Trockensubstanz liegt. Diese Grenzwerte resultieren aus folgender Überlegung: Sowohl Vlamis (1953) als auch Schmehl, Peech und Bradfield (1950) berichten übereinstimmend, daß Al-Toxizität starke Ertragsdepressionen bei Kulturpflanzen bewirkt, während Mn-Toxizität zu keinem merkbaren Er-

tragsrückgang führt, solange nicht starke Symptome in Erscheinung treten. Nach Bussler (1958) scheiden höhere Pflanzen überschüssiges Mn zunächst in physiologisch unwichtigen, nicht assimilierenden Zellen in Form von unwirksamen  $MnO_2$  aus. Es ist daher bei der Festsetzung dieser Grenzwerte im Vegetationsversuch davon ausgegangen, daß der erste merkbare Rückgang des Pflanzenertrages auf Al-Toxizität zurückzuführen ist, da die übrigen Nährstoffgehalte der Pflanzen in einem Bereich liegen, der mit dem Ertragsrückgang nicht in Verbindung gebracht werden kann.

Auf Mn-Toxizität in Pflanzen weisen Gehalte über 1000 ppm im Pflanzengewebe hin. Als Symptom-Grenzwert geben PLANT (1954) für Markstammkohl 1000 ppm, Löhnis (1951) für Bohnen 1300 ppm, für Luzerne 500 - 1000 ppm Mn an. Bei Rotklee stellten wir Symptome fest, wenn die Gehalte der Blätter auf über 500 ppm Mn anstiegen.

## 2. Das Auftreten von Al- und Mn-Toxizität in Pflanzen auf sauren Braunerden, Podsolen und Marschen

Durch den Vergleich der Al- und Mn-Gehalte von Getreidepflanzen (vornehmlich von Hafer) der sauren Standorte Schleswig-Holsteins mit den genannten Toxizitäts-Grenzwerten läßt sich in der Abb. 7 dargestellte Zusammenhang feststellen.

Bei zunehmender Versauerung der Böden tritt Al-Toxizität an Haferpflanzen zuerst auf Podsolen, und zwar unterhalb pH 4,4, danach auf Braunerden unterhalb pH 4,2 und erst unterhalb pH 3,4 auf Marschen auf. Die gleiche Reihenfolge zeigt sich bei den künstlich angesäuerten Böden. Auf den Braunerden und Podsolen liegt ein weiterer, durch die unterbrochene Linie gekennzeichnete Übergangsbereich vor, in dem Al-Toxizität jedoch nur in Einzelfällen auftritt. Die Tatsache, daß Al-Toxizität an Pflanzen auf Braunerden, Podsolen und Marschen bei sehr unterschiedlichen pH-Werten auftritt, läßt sich nicht mit der absoluten Höhe der Gehalte an wasserlöslichem oder austauschbarem Aluminium im Boden erklären, sondern, wie Abb. 8 zeigt, mit dem Anteil des austauschbaren Al im Boden (KCl-lösliches Al) an der Austauschkapazität.

Aus dieser Abbildung geht klar hervor, daß bei den bereits genannten pH-Werten für Braunerden, Podsole und Marschen, bei deren Unterschreiten Al-Toxizität an Getreide zu erwarten ist, der Anteil des austauschbaren Al an der Austauschkapazität auf allen drei Böden die Grenze von etwa 5% überschreitet. Dies Ergebnis wird durch den Vegetationsversuch bestätigt.

Während Al-Toxizität bei genügend starker Versauerung auf allen drei Bodentypen den Säureschaden an Getreidepflanzen verursacht, tritt Mn-Toxizität mit einer Ausnahme an Gerstenpflanzen eines Podsol und den künstlich angesäuerten Böden nicht an natürlich versauerten Standorten auf. Die Mn-Gehalte der Pflanzen steigen selbst auf den extrem sauren Marschen mit pH-Werten unter 3 nur auf etwa 20% des Toxizitäts-Grenzwertes an. Daher hat Mn-Toxizität im Rahmen der Bodenacidität als Ursache der Säureschäden an Kulturpflanzen keine Bedeutung. Diese Aussage wird noch durch den bereits genannten Sachverhalt bestärkt, daß Mn-Toxizität, verglichen mit Al-Toxizität, das Wachstum nur wenig beeinträchtigt, solange nicht starke Symptome in Erscheinung treten.

Auf allen sauren Standorten wird Al-Toxizität stets von starkem Mg-, Ca- oder P-Mangel an Kulturpflanzen begleitet (Friedrichsen, 1966). Statistische Berechnungen mit Hilfe der multiplen Regression und Reduktion ergeben, daß Al-Toxizität, gefolgt von Mg-Mangel, das Pflanzenwachstum von allen beteiligten Faktoren vermutlich am stärksten beeinträchtigt.

## V. Zusammenfassung

Al- und Mn-Toxizität sind zwei der zahlreichen möglichen Faktoren, die den "Säureschaden" an Kulturpflanzen verursachen können. Es wurden die Bedingungen des Auftretens von Al- und Mn-Toxizität und ihre Bedeutung im Rahmen der Bodenacidität an insgesamt 19 "Säurefeldern" des Braunerde-, Podsol- und Marschgebietes Schleswig-Holsteins sowie an einem Vegetationsversuch mit künstlich angesäuerten Böden untersucht. Folgende Ergebnisse wurden erhalten:

1. Als Grenzwerte für Al-Toxizität in Pflanzen konnten für Haferpflanzen (während des Schossens) Gehalte von 50 - 60 ppm, für Rotkleeblätter (bei Blühbeginn) Gehalte von 70 - 80 ppm Al in der Trockesubstanz ermittelt werden.
2. Bei fortschreitender Versauerung der Böden tritt Al-Toxizität an Getreidepflanzen auf, wenn die pH-Werte von Braunerden unter pH 4,2, von Podsolen unter pH 4,4 und von Marschen unter pH 3,4 absinken.

3. Bei den genannten pH-Werten übersteigt der Anteil des austauschbaren plus wasserlöslichen Aluminiums auf allen drei Bodentypen 5 % der Austauschkapazität. Die absolute Höhe des austauschbaren bzw. wasserlöslichen Aluminiums im Boden ist dagegen nicht ausschlaggebend für das Auftreten von Al-Toxizität an Kulturpflanzen.
4. Mn-Toxizität an Kulturpflanzen hat für natürlich versauerte Standorte Schleswig-Holsteins keine Bedeutung, da die Mn-Gehalte der Pflanzen selbst auf extrem sauren Marschen nur auf etwa 20 % des Toxizitäts-Grenzwertes ansteigen.

## VI. Literatur

1. Bussler, W.: Manganvergiftung bei höheren Pflanzen.  
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde., 81, 256-265, 1961.
2. Friedrichsen, J.: Ursachen von Säureschäden an Kulturpflanzen auf Böden Schleswig-Holsteins.  
Diss. Kiel 1966.
3. Frink, C.R. and Peech, M.: Determination of aluminium in soil extracts.  
Soil Sci., Baltimore 93, 317-324, 1962.
4. Koch, O.G.: Handbuch der Spurenanalyse. S. 302. Springer, Berlin 1964.
5. Löhnis, M.P.: Manganese toxicity in field and marked garden crops.  
Plant a. Soil, The Hague 3, 193-221, 1951.
6. Neenan, M.: The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reaction of varieties thereto. Plant a. Soil, The Hague 12, 324-338, 1960.

7. Plant, W.: An analysis of the acid soil complex by the use of indikator plants. Plant a. Soil, The Hague 5, 54-66, 1954.
8. Rees, W.J. and Sidrak, G.H.: Interrelationships of aluminium and manganese toxicities towards plants. Plant a. Soil, The Hague 14, 101-107, 1961.
9. Schachtschabel, P.: Bestimmung des aktiven Mangans im Boden. In Thun, R.: Methodenbuch Bd. 1, S. 199. Neumann, Radebeul 1955.
10. Scharrer, K. und Schropp, W.: Über die Wirkung des Aluminiums auf das Pflanzenwachstum. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd., 45, 83, 1936.
11. Schmehl, W.R., Peech, M. and Bradfield, R.: Causes of poor growth of plants on acid soils and beneficial effects of liming. Soil Sci., Baltimore 70, 383-394, 1953.
12. Vlamis, J.: Acid soil infertility as related to soil-solution and solid phase effects. Soil Sci., Baltimore 75, 383-394, 1953.

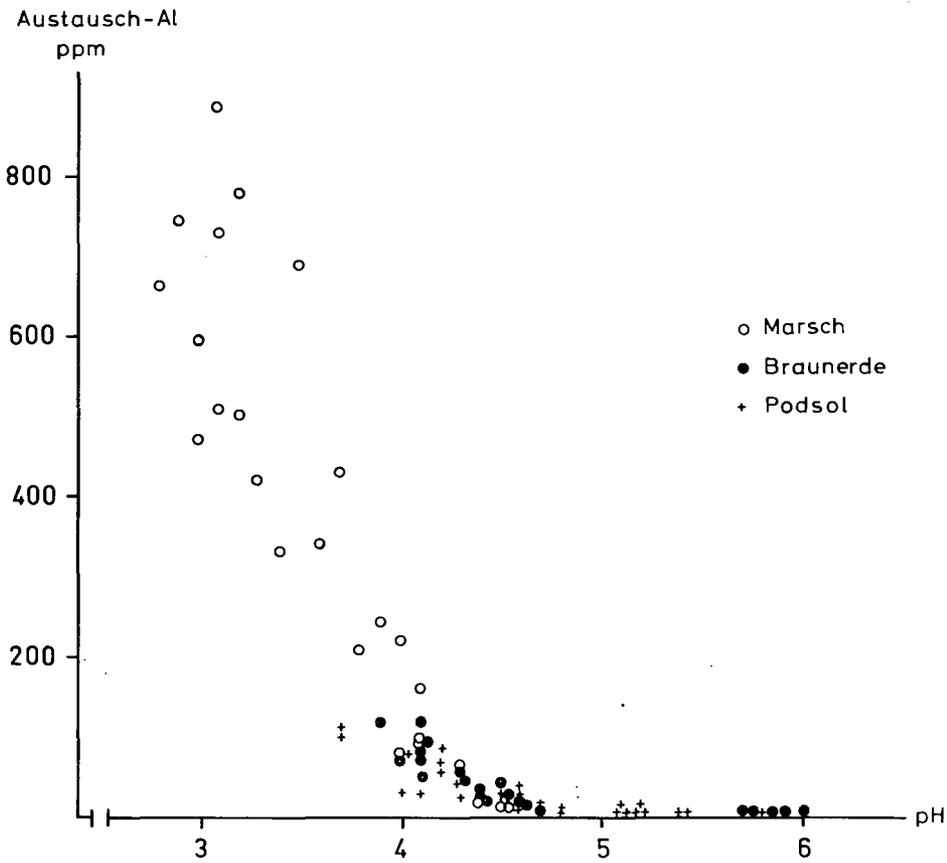


Abb.1: Die Gehalte an austauschbarem Aluminium von Braunerden, Podsolen und Marschen in Abhängigkeit von der Bodenreaktion

Austausch-Al

ppm

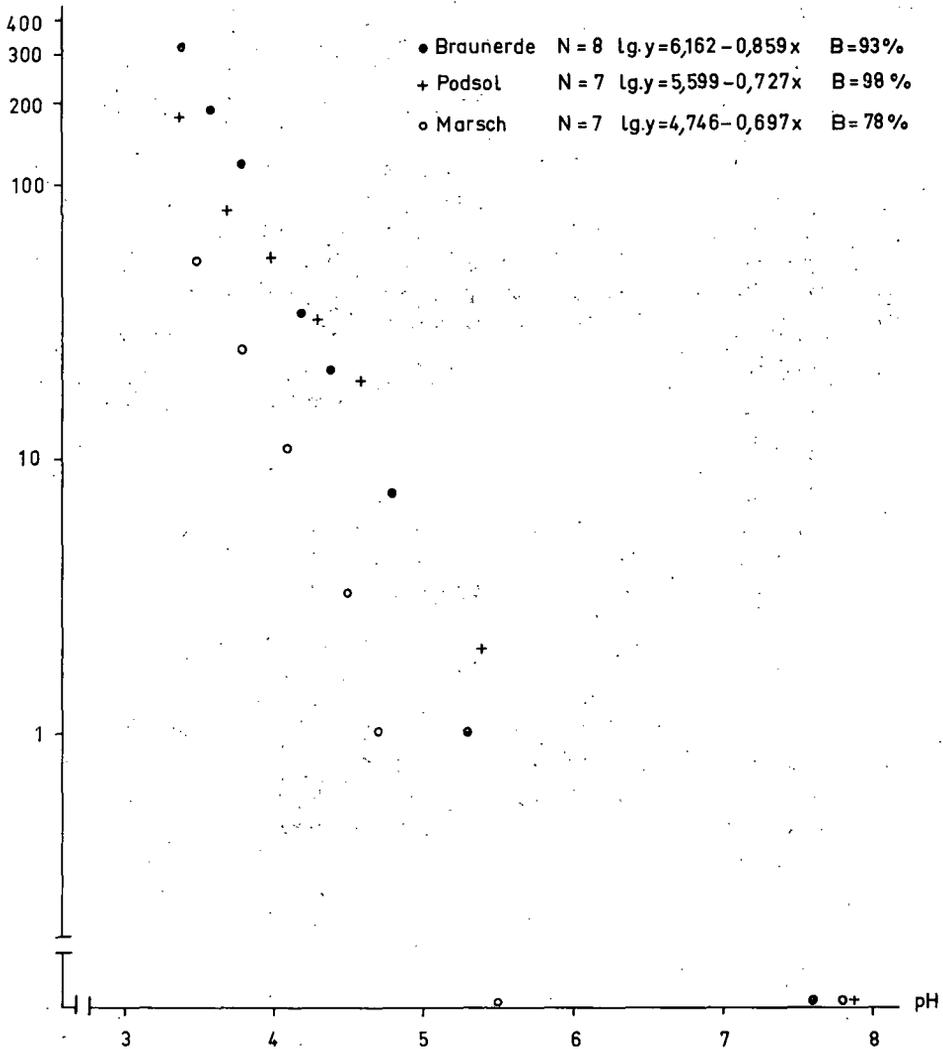


Abb. 2: Die Gehalte an austauschbarem Aluminium (lg. Maßstab) von künstlich angesäuerten Böden in Abhängigkeit von der Bodenreaktion

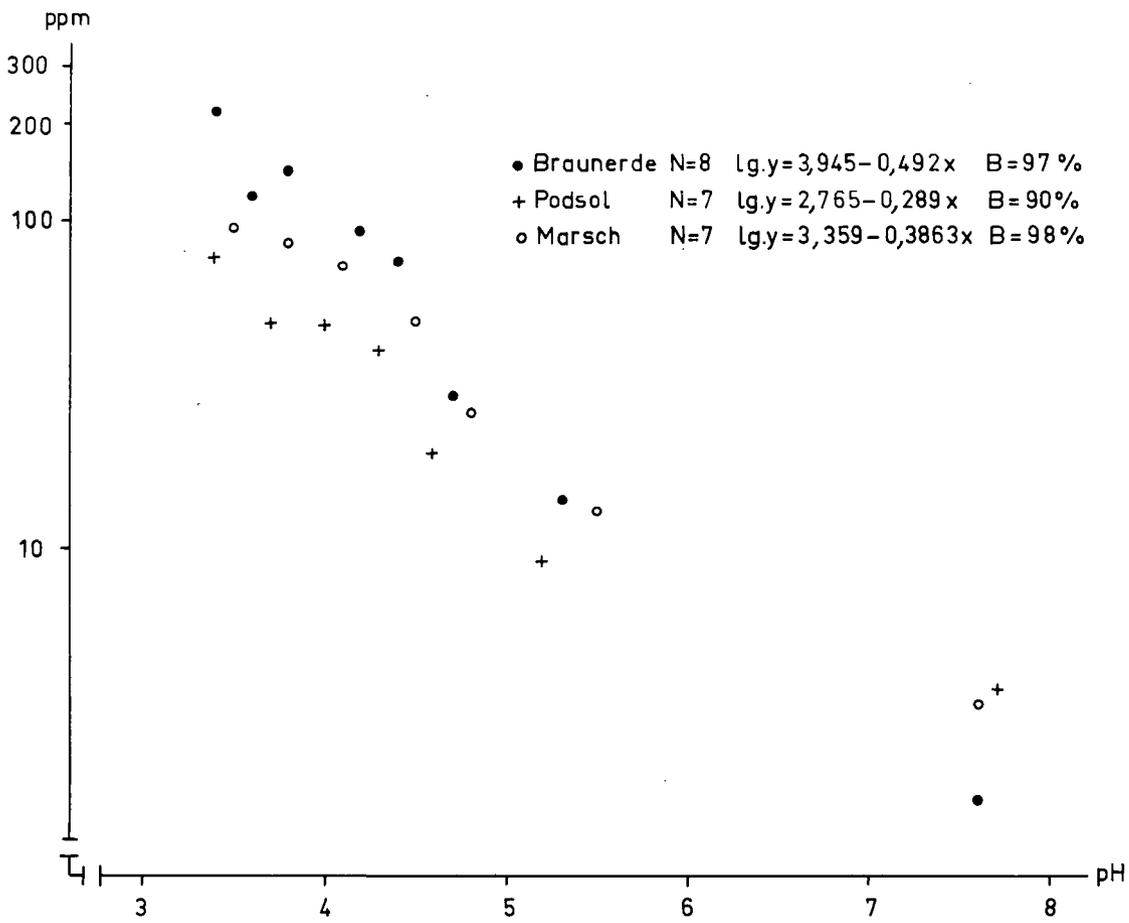
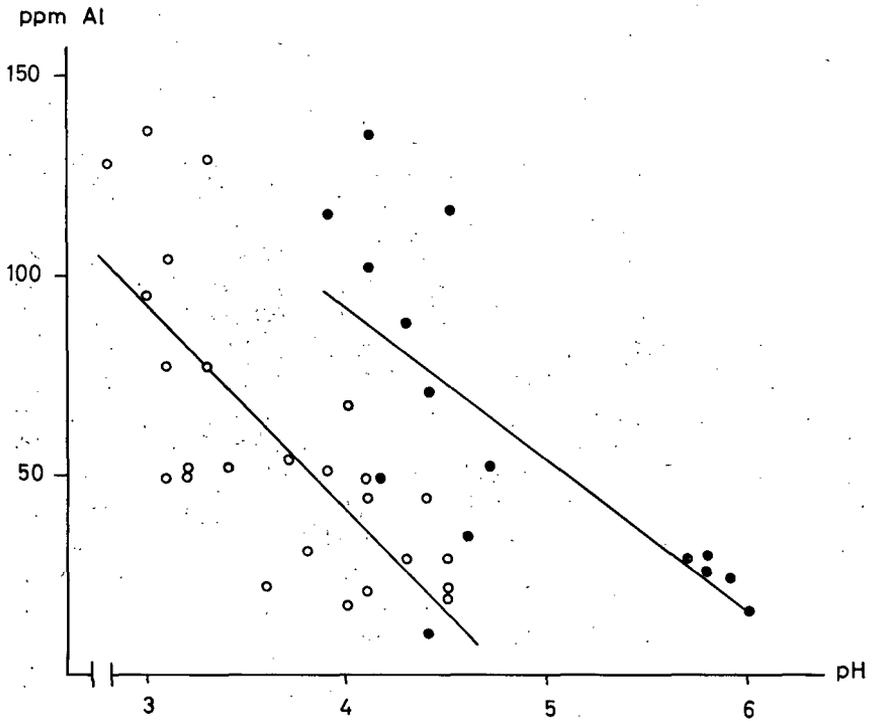


Abb.3: Die Gehalte an austauschbarem Mangan (lg.Maßstab) von künstlich angesäuerten Böden in Abhängigkeit von der Bodenreaktion



● = Gerste (Braunerde) N = 15  $y = 242,13 - 37,8x$  B = 49%  
 ○ = Hafer ( Marsch ) N = 26  $y = 261,00 - 54,6x$  B = 54%

Abb.4: Aluminiumgehalte von Hafer- und Gerstenpflanzen in Abhängigkeit von der Bodenreaktion (Feldproben)

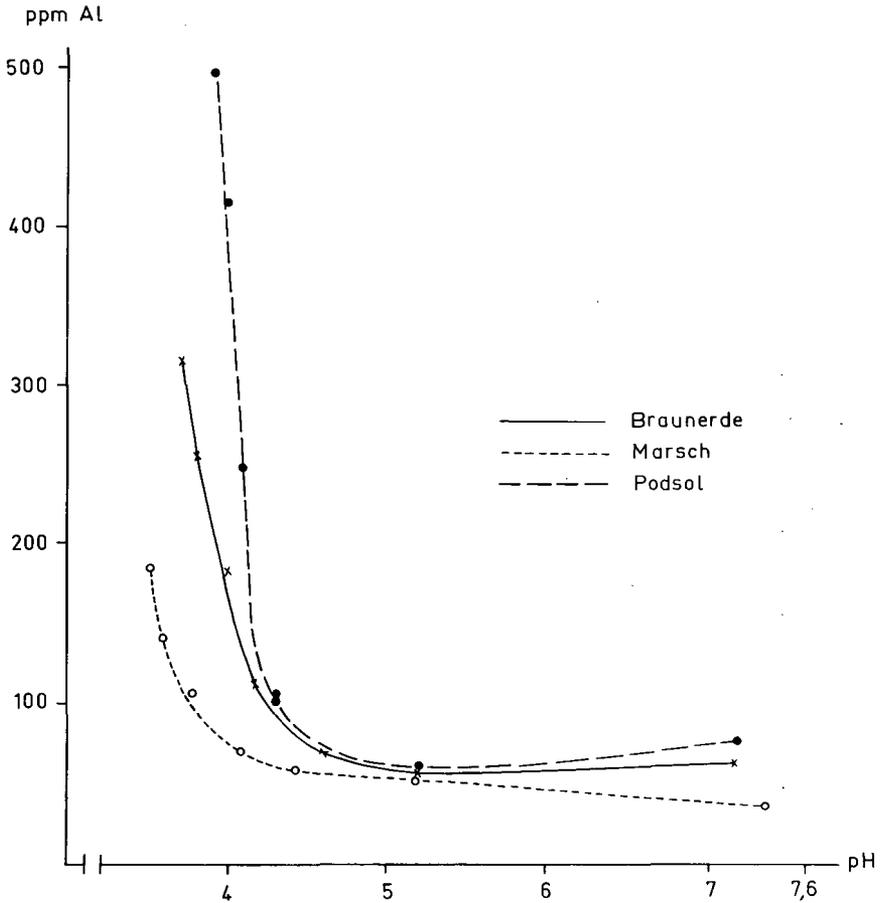


Abb.5: Aluminiumgehalte von Rotkleeblättern in Abhängigkeit von der Bodenreaktion auf künstlich angesäuerten Böden

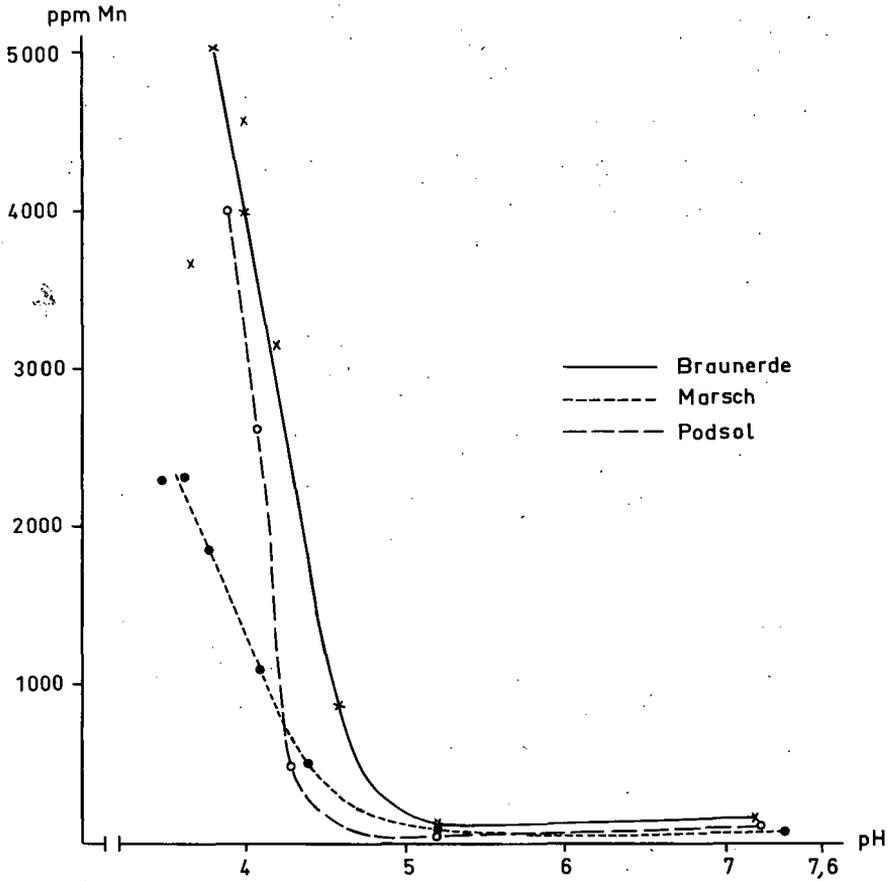


Abb.6: Der Mangangehalt von Rotkleeblättern in Abhängigkeit von der Bodenreaktion auf künstlich angesäuerten Böden

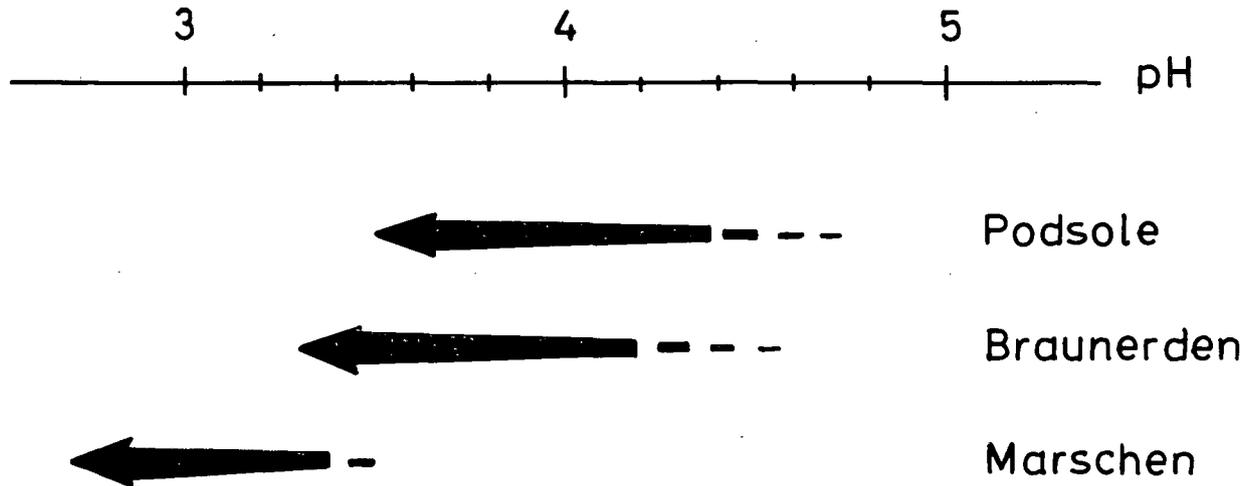


Abb.7: Das Auftreten von Al-Toxizität an Getreide in Abhängigkeit von der Bodenreaktion

Austausch-Al in % der  
Kationen-Austausch-Kapazität

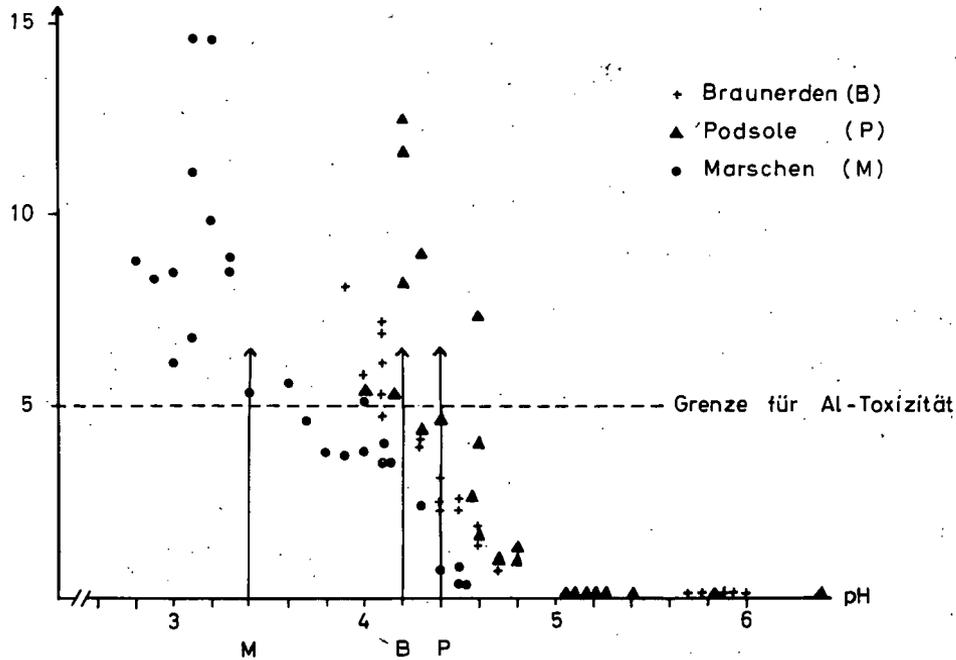


Abb.8: Die Beziehung zwischen dem Aluminium-Anteil an der Austausch-Kapazität und der Bodenreaktion

## Über die quantitative Bestimmung der Aufnahme von Phenolcarbonsäuren durch die Wurzeln von Weizenkeimpflanzen

H. Harms <sup>+)</sup>

Aus der organischen Bodensubstanz lassen sich durch verschiedene Extraktionsmittel Phenole isolieren, die dort entweder frei oder in leicht hydrolysierbarer Form vorliegen. Da diese Substanzen das Pflanzenwachstum beeinflussen können, sowie als ökologischer Faktor unmittelbar die chemische Zusammensetzung einer Pflanze verändern, wurde die Aufnahme von Carboxyl-<sup>14</sup>C-markierter p-Hydroxybenzoe-, Vanillin- bzw. Syringasäure durch die unbeschädigten Wurzeln von Weizenkeimpflanzen untersucht.

Die Anzucht der Keimpflanzen erfolgte nach einem speziell entwickelten Verfahren unter sterilen Kulturbedingungen. Wie auf Autoradiogrammen der Pflanzen zu erkennen ist, wurden die applizierten Substanzen von den Pflanzen über die Wurzel aufgenommen und über die gesamte Pflanze verteilt. Sie sind jedoch im Sproß besonders in den während der Inkubationszeit gebildeten Organen angereichert. Die Blattadern heben sich als leitende Gewebe auffällig vom übrigen Gewebe ab.

Von der in Sproß und Wurzel getrennten, dann homogenisierten und gefriergetrockneten Pflanzenmasse, wurden aliquote Anteile zu Kohlendioxid, in BaCO<sub>3</sub> überführt und die Verteilung der Aktivität über die Pflanzenorgane bestimmt.

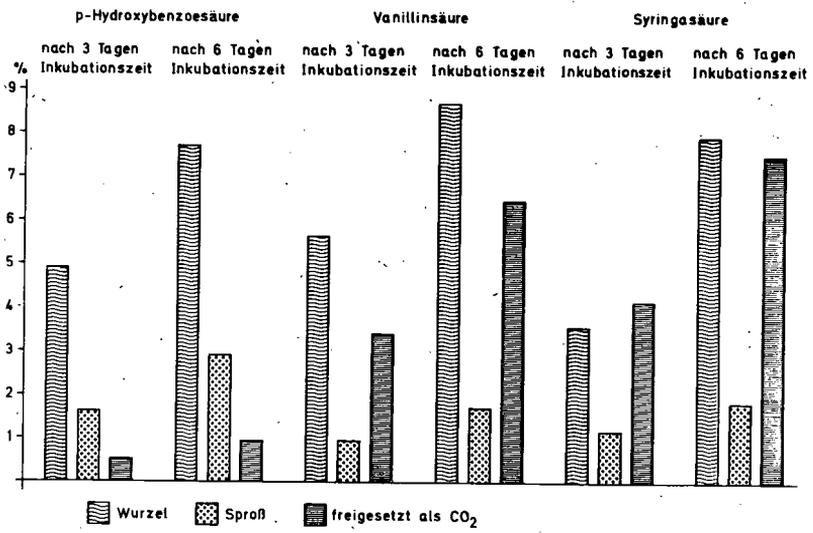
Eine Verlängerung der Inkubationszeit führte zu einer vermehrten Aufnahme der markierten Phenolcarbonsäuren in die Pflanze. Die maximale Aufnahme erfolgte bei einem pH-Wert der Nährlösung, der dem pK-Wert der applizierten Substanz entsprach. Ein relativ hoher Anteil an aktivem Kohlendioxid wird

---

<sup>+)</sup>  Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode  
Direktor: Prof. Dr. W. Flaig

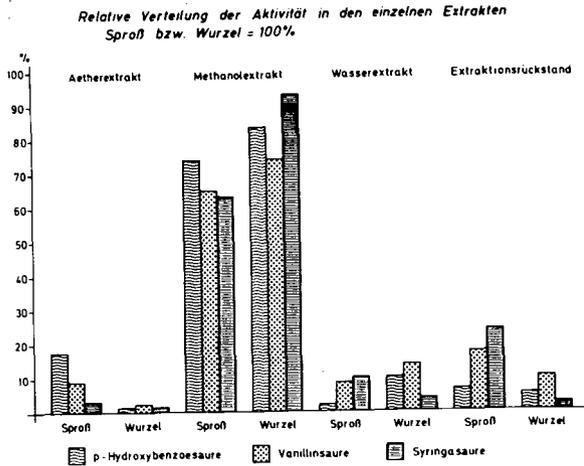
von den Pflanzen freigesetzt. Die Ausscheidung von markiertem Kohlendioxid ist bei p-Hydroxybenzoesäure geringer und bei Syringasäure höher als bei der Vanillinsäure. Anscheinend spielt hierfür die Zahl der Sauerstofffunktionen am Benzolring eine Rolle.

*Aufnahme der applizierten Phenolcarbonsäuren pro Pflanze in % der zugesetzten Menge*



**Abb.1** Aufnahme der applizierten Phenolcarbonsäuren pro Pflanze in % der zugesetzten Menge.

Um die aufgenommenen Phenolcarbonsäuren und deren Umwandlungsprodukte erfassen zu können, wurde die Pflanzentrockenmasse vom Sproß und von der Wurzel nacheinander mit den unterschiedlich polaren Lösungsmitteln Äther, Methanol und Wasser extrahiert. Es zeigte sich, daß sich die Hauptmenge der Aktivität in den Methanolextrakt überführen ließ.



**Abb.2** Relative Verteilung der Aktivität in den einzelnen Extrakten

Durch Anwendung verschiedener Hydrolyseverfahren und chromatographischer Methoden konnte nachgewiesen werden, daß die Aktivität in den Pflanzen in den applizierten Phenolcarbonsäuren sowie in den Glukosiden und Glukoseestern dieser Verbindungen lokalisiert ist. Die applizierten Phenolcarbonsäuren werden also nach der Aufnahme in der Pflanze sowohl in Glukoside als auch Glukoseester überführt, wobei die Glukoseester wiederum glukosidisch gebunden sein können.

#### LITERATUR

Harms, H.: Untersuchungen zur Aufnahme von phenolischen Ligninspaltstücken durch die Wurzeln von Weizenkeimpflanzen. Dissertation Justus Liebig-Universität Giessen 1967.



## Einfluß von pH-Wert und Stickstoffangebot auf das Ionengleichgewicht in der Pflanze

A. Jungk <sup>+)</sup>

Aus elektrostatischen Gründen muß zwischen den positiven und den negativen Ionenladungen in der Pflanze ein Gleichgewicht bestehen. Dieses Kationen-Anionen-Gleichgewicht wird aus anorganischen Kationen einerseits sowie aus anorganischen und organischen Anionen andererseits gebildet. Es ist

von theoretischem Interesse, weil es eine unmittelbare Verbindungsstelle zwischen dem Mineralstoffhaushalt und dem Stoffwechsel der organischen Säuren darstellt  
und

von praktischer Bedeutung, weil unter bestimmten Bedingungen der Ertrag mit dem Gehalt an organischen Anionen korreliert.

Der pH-Wert des Nährmediums und die Stickstoffernährung sind Faktoren, die die Menge der an diesem Gleichgewicht beteiligten Ionen und den Anteil der einzelnen Komponenten wesentlich beeinflussen. Der Gehalt der organischen Anionen der Pflanze steigt im allgemeinen mit dem pH-Wert des Nährmediums an, er sinkt dagegen insbesondere mit zunehmendem Ammonsalzangebot ab.

Um einen Beitrag zur Kenntnis der Wechselwirkung zwischen dem pH-Wert und der Stickstoffernährung zu leisten, wurden Versuche mit intakten Tomatenpflanzen in vollständigen, belüfteten Nährlösungen durchgeführt. Unter dem Einfluß steigender Ammoniumnitratkonzentration der Nährlösung (30 bis 1000 ppm N) ergab sich bei pH 5,4 ein anderer Verlauf des Gehalts der organischen Anionen als bei pH 7,0. Im Konzentrationsbereich unter 100 ppm N ergaben sich bei pH 7,0 mit abnehmender N-Konzentration zunehmend höhere Gehalte

---

<sup>+)</sup>  Institut für Pflanzenernährung der Technischen Hochschule Hannover,  
Hannover, Herrenhäuser Straße 2

der organischen Anionen als bei pH 5,4. Oberhalb 100 ppm N hatte pH 7,0 dagegen niedrigere Gehalte der organischen Anionen als bei pH 5,4 zur Folge.

Dieses Resultat wird wie folgt erklärt: Die Erhöhung des pH-Werts im Nährmedium führt im Normalfall zu erhöhter Kationenaufnahme und damit, soweit es sich um Metallkationen handelt, zu vermehrter Akkumulation dieser Ionen. Dadurch wird der Kationengehalt und, wenn die Akkumulation anorganischer Anionen unverändert bleibt, der Gehalt der organischen Anionen erhöht. Enthält aber das Nährmedium Ammoniumionen, so wird durch die pH-Erhöhung auch die  $\text{NH}_4$ -Aufnahme verstärkt. Oberhalb eines gewissen Schwellenwertes führt die  $\text{NH}_4$ -Ernährung allgemein zur Depression des Gehalts der organischen Anionen. Daher ist es verständlich, daß die Erhöhung des pH-Wertes, die bei ausschließlichem Nitrat-N-Angebot und bei geringer Ammonitratkonzentration zur Erhöhung des Gehalts der organischen Anionen führt, unter Bedingungen das Gegenteil bewirkt, die die  $\text{NH}_4$ -Aufnahme so begünstigen, daß die depressive Wirkung des  $\text{NH}_4$ -Ions überwiegt.

Weiter hat sich ergeben, daß der Ertragsverlauf mit dem Verlauf des Gehalts der organischen Anionen eng korreliert. Dies stützt die Auffassung, daß ein bestimmter Gehalt der organischen Anionen in der Pflanze eine der Voraussetzungen für einen hohen Ertrag darstellt. Trifft dies zu, so ist die Schädwirkung des  $\text{NH}_4$ -Ions durch seinen Einfluß auf den Gehalt der organischen Anionen in der Pflanze zu erklären. Durch die Erhöhung des pH-Wertes wird die Grenze supraoptimaler  $\text{NH}_4$ -Konzentrationen im Nährmedium nach niedrigeren Werten verschoben.

## Die Beeinflussung der Nährstoff-Aufnahme durch Huminstoffe

E. Schlichting <sup>+)</sup>

Huminstoffe und Tonminerale können die Nährstoffmobilität durch Ionensorption mindern, erstere die Aufnahme überdies direkt durch Komplexbildung oder indirekt durch Veränderung des Aneignungsvermögens der Pflanzen beeinflussen. Um diesen spezifischen Effekt zu prüfen, wurden je 3 Haferpflanzen in 500 ml-Standkulturen (3 Parallelen) mit Nährlösungen sowie mit Suspensionen aus ungereinigten Huminsäuren (aus Heidepodsol-A<sub>H</sub>) und HCl-gewaschenen Tonmineralen (Bentonit Geisenheim) gleicher Sorptionskapazität (7 mval/l) bis zur Reife gezogen und analysiert. Die gewählte Dosis liegt etwa zwischen dem Bereich nachweisbarer physiologischer Wirkung gelöster Huminstoffe in Wasserkultur (einige ppm) und der Humuskonzentration in entsprechenden Böden (500 g/l Bodenlösung). Kupfer wurde variiert. Problematisch ist die Berücksichtigung des Huminsäure-Cu (180 µg/l).

Während des Wuchses traten Mangelsymptome für Fe (behooben durch mehrfache Fe-Citrat-Gabe) besonders und für Cu (Weißspitzigkeit, Nachschosser) nur in Huminsäure-Kultur auf. Fig. 1 zeigt das (enges Korn: Stroh-Verhältnis, geringe Halmlänge, große Halmzahl) sowie die Tatsache, daß auch Bentonit die Erträge unspezifisch (d.h. ohne Auftreten spezieller Mangelsymptome) senkt.

Da Konzentrationen für Aussagen über die Beeinflussung der Nährstoffaufnahme nicht beweisend sind, wurden in Fig. 2 gleich die entzogenen Mengen dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Kolloide allgemein die Aufnahme senkten, mit Ausnahme allerdings von Mg und Mn bei Bentonit und von P bei Huminsäure (trotz geringerer Erträge bes. an Korn). Der Vergleich von Huminsäure und Bentonit zeigt, daß erstere die Aufnahme von P spezifisch fördert, die von K und N kaum und von Mg nur wenig, von Mn und besonders von Fe und Ca aber deutlich senkt. Beim Cu ist die Beurteilung schwieriger (s.o.). Daß die Aufnahme

---

+) Institut für Bodenkunde der Universität (LH) Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim

nicht so stark gesenkt wurde wie auf Grund der Mangelsymptome zu vermuten wäre, mag z.T. daran liegen, daß die Pflanzen der Huminsäure-Kulturen bei Ernte nicht voll ausgereift waren.

Es erheben sich nun die Fragen, inwieweit diese Effekte allgemein gültig für Huminstoffe oder typisch für Podsol-Huminsäuren sind und wodurch sie verursacht werden. Förderung der P- und Senkung der Ca-Aufnahme wurden von mehreren Autoren bei verschiedenen Huminstoffen gefunden, Senkung der Cu-Aufnahme besonders bei solchen aus Podsolen. Bei den anderen Nährstoffen ist das Bild uneinheitlich. Bislang ist kaum zu entscheiden, ob das auf Art und Menge der Huminstoffe oder Besonderheiten der Versuchsanstellung zurückzuführen ist. Dafür wären Experimente mit anderen Huminstofffraktionen und aus anderen Böden erforderlich. Dann auch erst wäre auf Grund näherer Untersuchungen Aufschluß über den Wirkungsmechanismus zu erlangen.

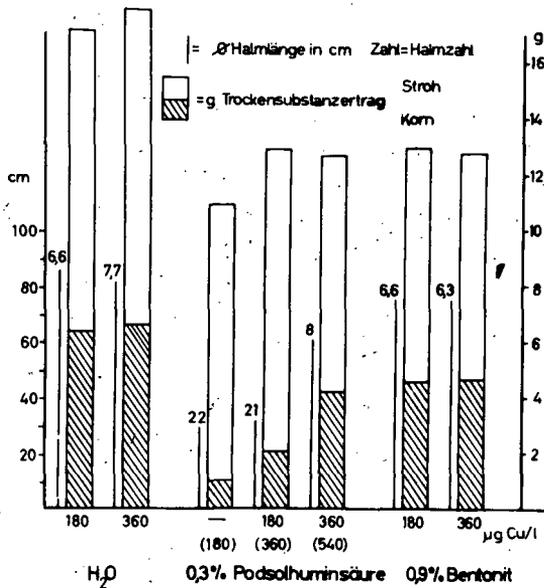


Fig.1 Haferwuchs in verschiedenen Kulturlösungen

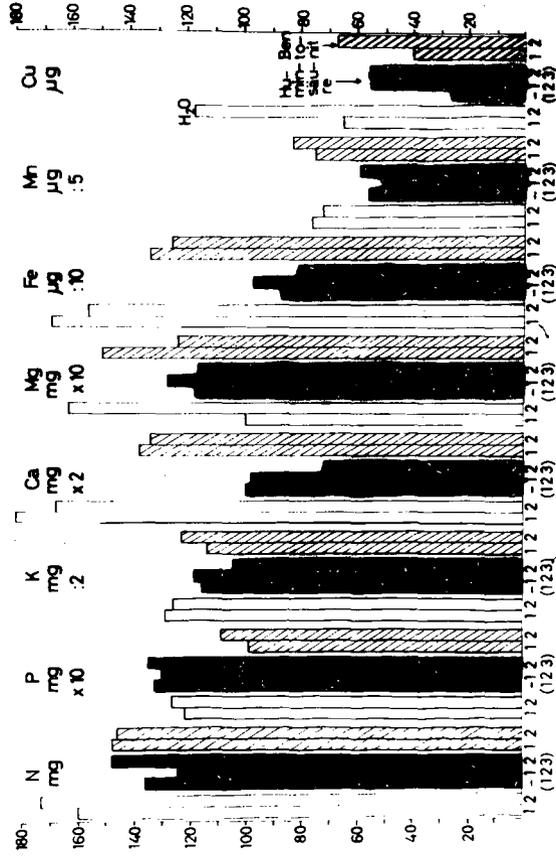


Fig.2 Nährstoffmengen in Sprossen von Hafer in verschiedenen Kulturstufen  $\beta=50 \mu\text{g}/\text{l}$



## Einfluß von Antibiotika und Aminosäure-Antimetaboliten

### auf Wachstum und Manganaufnahme von Hafer-

#### keimpflanzen

W. Wilms <sup>†)</sup>

Die Akkumulation von Substanzen biologischer Herkunft in der Rhizosphäre, die das Mikroorganismenleben, wie das Wachstum höherer Pflanzen stimulieren oder inhibieren, ist seit langem bekannt. Die biochemischen Mechanismen, die solche Wirkstoffe auslösen, seien es Vitamine, Phytohormone, Antibiotika oder Antimetaboliten überall anzutreffender Stoffwechselmetaboliten sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen, wobei insbesondere Fragen des mikrobiellen Antagonismus oder des Pflanzenwachstums, bzw. deren molekulare Grundlagen im Vordergrund standen ( 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7). Die Vielzahl der Stoffe, die in einer Rhizosphäre Wirkstoffcharakter entfalten können, ist kaum zu übersehen. So isolierten Sheikova und Georgieva (8) aus 345 bulgarischen Böden 1200 Actinomycetenstämme, von denen fast die Hälfte antagonistisch auf Bakterien und niedere Pilze wirken. Die Pflanze synthetisiert nach Fowden (9) noch mindestens 60 Aminosäuren, die, soweit wir wissen, nicht am Aufbau der Proteine teilnehmen und teilweise als Antimetaboliten im Stoffwechsel anderer Organismen auftreten können. So ist in der Familie der Leguminosen Canavanin weit verbreitet, jedoch für solche Arten, die es nicht besitzen in hohem Maße toxisch (10). Bodanzky und Pearlman (11) berichten von 43 aus Antibiotika identifizierten abnormen Aminosäuren. Ein großer Teil dieser Antibiotika wird von Mikroorganismen synthetisiert, die als Rhizosphärenbewohner auftreten können.

Unser Augenmerk richtete sich in eigenen Versuchen auf den Einfluß von Antibiotika und Aminosäure-Antimetaboliten, die in der Rhizosphäre auftreten kön-

---

†) Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

nen, auf das Wachstum, Transpiration und insbesondere die Nährstoffaufnahme von Haferkeimpflanzen. Nach der Hypothese der Verknüpfung der Salzaufnahme mit der Proteinsynthese, die zuerst von Steward und Millar (12) aufgestellt wurde und auf deren Grundlage Ellis und andere (13) die Inhibierung der Salzaufnahme von Rübenschnitten durch D-Serien erklärten, wurden Substrate gewählt, von denen eine physiologische Aktivität erwartet werden konnte.

Die Versuche, deren Ergebnisse hier nur ganz kurz umrissen werden sollen, gingen aus von Puromycin und Kinetin. Puromycin wurde von Porter u.a. (14) erstmals aus einer Kultur des Aktinomyzeten *Streptomyces alboniger* gewonnen, der aus einem Boden isoliert wurde. Die inhibierende Wirkung des Puromycins auf die Proteinsynthese von Mikroorganismen ist auf molekularer Ebene weitgehend aufgeklärt (15), Versuche an höheren Pflanzen sind uns nicht bekannt.

Unsere Versuche wurden in Hydrokultur durchgeführt. Als Repräsentant der Nährstoffaufnahme diente Mangan-54. Die Einwirkungsdauer der geprüften Substrate wurde kurz (24 Std.) gewählt, um weitgehend - soweit das mit höheren Pflanzen unter dieser Fragestellung überhaupt möglich ist - sekundäre Effekte auf die Nährstoffaufnahme einzuschränken. Die Pflanzen wurden getrennt nach Sproß und Wurzel geerntet und analysiert, nachdem nach Abschluß der Mangan-Aufnahmepériode (24 Std.) die der Substrat-Aufnahmepériode folgte, die Pflanze zwei Stunden in einer nichtmarkierten Nährlösung gestanden hatte, um die austauschbare Wurzel-Manganfraktion zu bestimmen.

Wir gewannen somit drei Manganfraktionen: Sproß-Fraktion, Wurzel = nicht austauschbare Manganfraktion der Wurzel und Wurzel<sup>na</sup> = austauschbare Manganfraktion. Diese Aufteilung läßt sehr interessante Aufschlüsse über den physiologischen Ort der Wirksamkeit der verschiedenen eingesetzten Komponenten auf den Fluß der Manganaufnahme bei Haferpflanzen zu. Wir unterstellen dabei eine Kompartimentierung des Mangans in der Pflanze und gehen von der Vorstellung aus, daß der Nährstoff aus der Außenlösung zunächst in leicht austauschbarer Form in den freien Wurzelraum diffundiert ( $Wu^a$ ), in der Wurzel in den aktiven Stoffwechsel eingeschleußt wird ( $Wu_{na}^a$ ), um schließlich durch einen aktiven Prozeß in den Sproß transportiert zu werden. Zur Ableitung dieser Vorstellung sei z.B. auf die Untersuchungen von Munns u.a. (16; 17; 18) hingewiesen.

Die kurzgefaßten Tabellen 1 und 2 geben Auskunft über die relativen Trockensubstanzgewichten und Transpirationsraten der Haferkeimpflanzen ( je Glied fünf Pflanzen in drei bzw. vier Parallelen) bzw. über die Mangan-54-Werte der erfaßten Fraktionen in der Pflanze bei max. eingesetzter Konzentration der Substrate gegenüber den O-Gliedern (ohne Substratzusatz = 100). Die aufgetretenen Wachstumsunterschiede sind in den Abbildungen 1 bis 6 dargestellt. Da hier wegen der Kürze der Darstellung nicht im Einzelnen auf die Versuchsergebnisse eingegangen werden kann, sind die Ergebnisse in Tabelle 3 noch einmal in einer digitalen Codierung dargestellt. Hier bedeutet 0 = keine Wirkung, 1 = Wirkung am angegebenen Ort. Es sei hier nur die Anmerkung gestattet, daß auch diese Versuche die enge Verknüpfung der Salzaufnahme mit der Transpiration als physiologische Leistung der Pflanze anzeigen, denn die Tabelle zeigt in jedem Fall, in dem die Manganaufnahme in den Sproß oder in der Wurzel gehemmt wurde, eine Drosselung der Transpiration.

Nun lassen die in Laboruntersuchungen unter Ausschaltung der Bodenphase erzielten Substratwirkungen wie Synthese- und Metabolisierungsleistungen der Mikroorganismen selbst nicht ohne weiteres auf entsprechende Abläufe in der Rhizosphäre eines Bodens schließen. Diese sind an einem natürlichen Standort zweifellos erheblich modifiziert. Die dargestellten Ergebnisse bilden eine Basis für nachfolgende Untersuchungen über die Wirksamkeit der erfaßten Substrate als chemisch ökologische Regelfaktoren am natürlichen Standort.

#### Literatur:

1. E.L. Schmidt u. R.L. Starkey: Soil Microorganisms and Plant Growth substances. *Soil. Sci.*, 71, 221-231 (1951).
2. C.G. Dobbs u. W.H.Hinson: A widespread Fungistasis in Soils. *Nature (Lond.)*, 172, 197-199 (1953).
3. R.M. Jackson: Fungistasis as a Factor in the Rhizosphere Phenomenon. *Natur (Lond.)*, 180, 96-97 (1957).
4. P.W. Brian: The ecological Significance of Antibiotic Production. *Microbial Ecology Symp. Soc. Gen. Microbiol. Cambridge Univ. Press*, p.168-188 (1957).

5. P.J. Harrais u. M. Woodbine: Antibiotic Resistance of Soil Bacteria.  
I. Antibiotic resistance of Bacteria from rhizosphere and nonrhizosphere Soils.  
*Plant a. Soil*, 27, 167-171 (1967)
6. V.N. Vasantharajan u. J.V. Bhat: Interrelations of Soil Microorganisms and mulberry. I. Phytohormon Production by Soil and Rhizosphere Bacteria and their Effect on Plant Growth.  
*Plant a. Soil*, 27, 261-272 (1967).
7. Th. Schmucker: Symbiosen-Antibiosen. In *Fortschr.d.Bot.*, XXVII, 490-492 (1964).
8. G. Sheikova u. J. Georgieva: *Folia microbiol. (Praha)*, 8, 308-312 (1963). In 7.
9. L. Fowden: Die nichtprotonogenen Aminosäuren. *Endavour*, 21, 35-42 (1962).
10. K. Mothes: Zur Problematik der metabolischen Exkretion bei Pflanzen.  
*Die Naturwiss.*, 53, 317-323 (1966).
11. M. Bodanzky u. D. Pearlman: Are Peptide Antibiotics small Proteins? *Natur (Lond.)*, 204, 840 (1964).
12. F.C. Steward u. K.F. Millar: Salt Accumulation in Plants. A Reconsideration of the Role of Growth and Metabolism. *Symp.Soc.Exp.Biol.*, 8, 367-406 (1954)
13. R.J.Ellis, K.W. Joy u. J.F.Sutcliffe: The Inhibition of Salt Uptake by D-Serine  
*Phytochemistry*, 3, 213-219 (1964).
14. J.N. Porter, R.L. Hewitt, C.W. Hesseltine;  
G. Krupta, J.A. Lowery, W.S. Wallace,  
N. Bohonos u. J.H. Williams Achromycin: A new Antibiotic having trypanocidal Properties.  
*Antibiot. & Chemotherapy*, 2, 409-410 (1952).
15. D. Nathans: In *Antibiotics I*. Ed. D. Gottlieb & P.D. Shaw, Springer 1967, S.259-277.
16. D.N. Muns, C.M. Johnson u. L. Jacobson: Uptake and Distribution of Manganese in Oat Plants. I.  
*Plant a. Soil*, 19, 115-126 (1963)

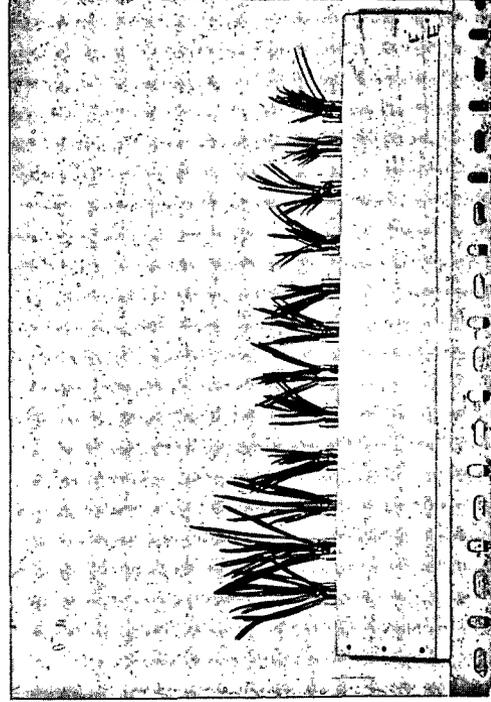


Abb. 1 Puromyc. 0; 0,5; 1, 0; 2, 0 mM

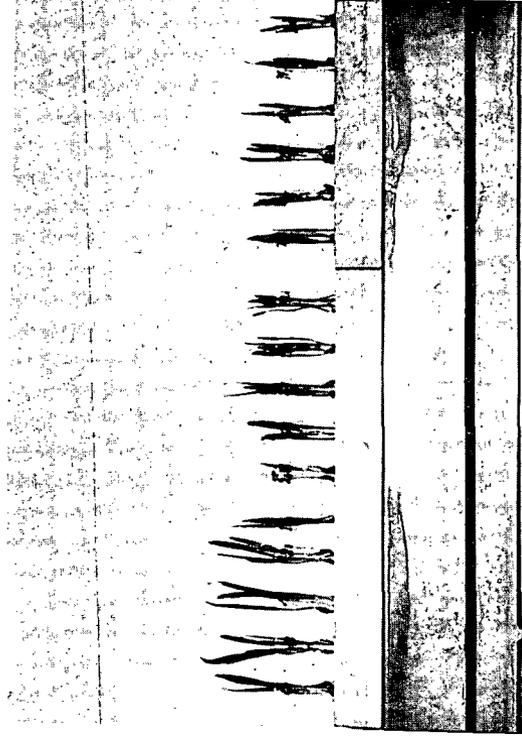


Abb. 2: 6-Dimeth.0; 0,5; 1, 0; 2, 0 mM



Abb. 3: Adenin 0; 0,5; 1, 0; 2, 0 mM

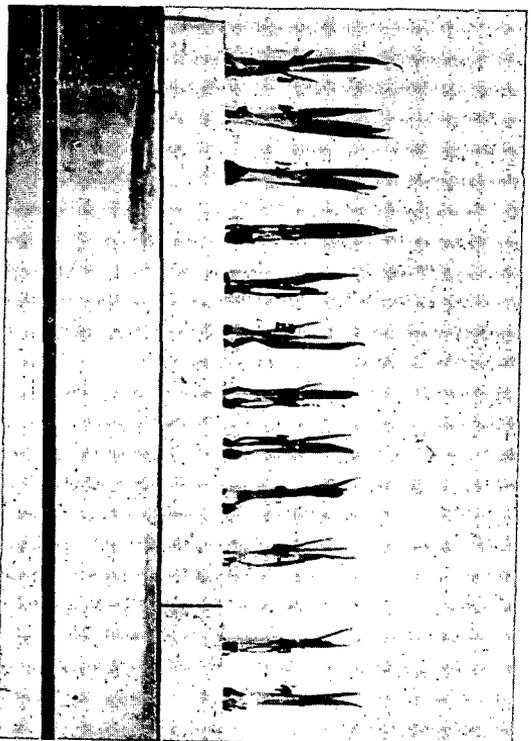


Abb. 4: Kinetin 0;  $10^{-2}$  mM



Abb. 5: Furf. 0; 0,5; 1,0; 2,0; 10,0 mM

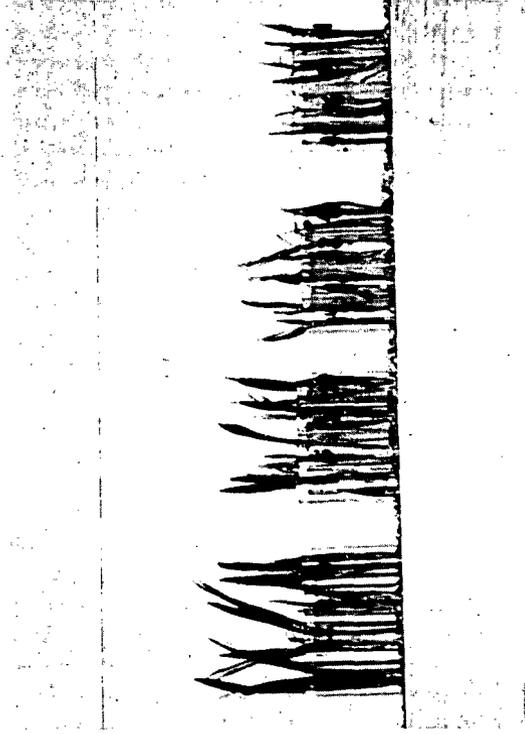
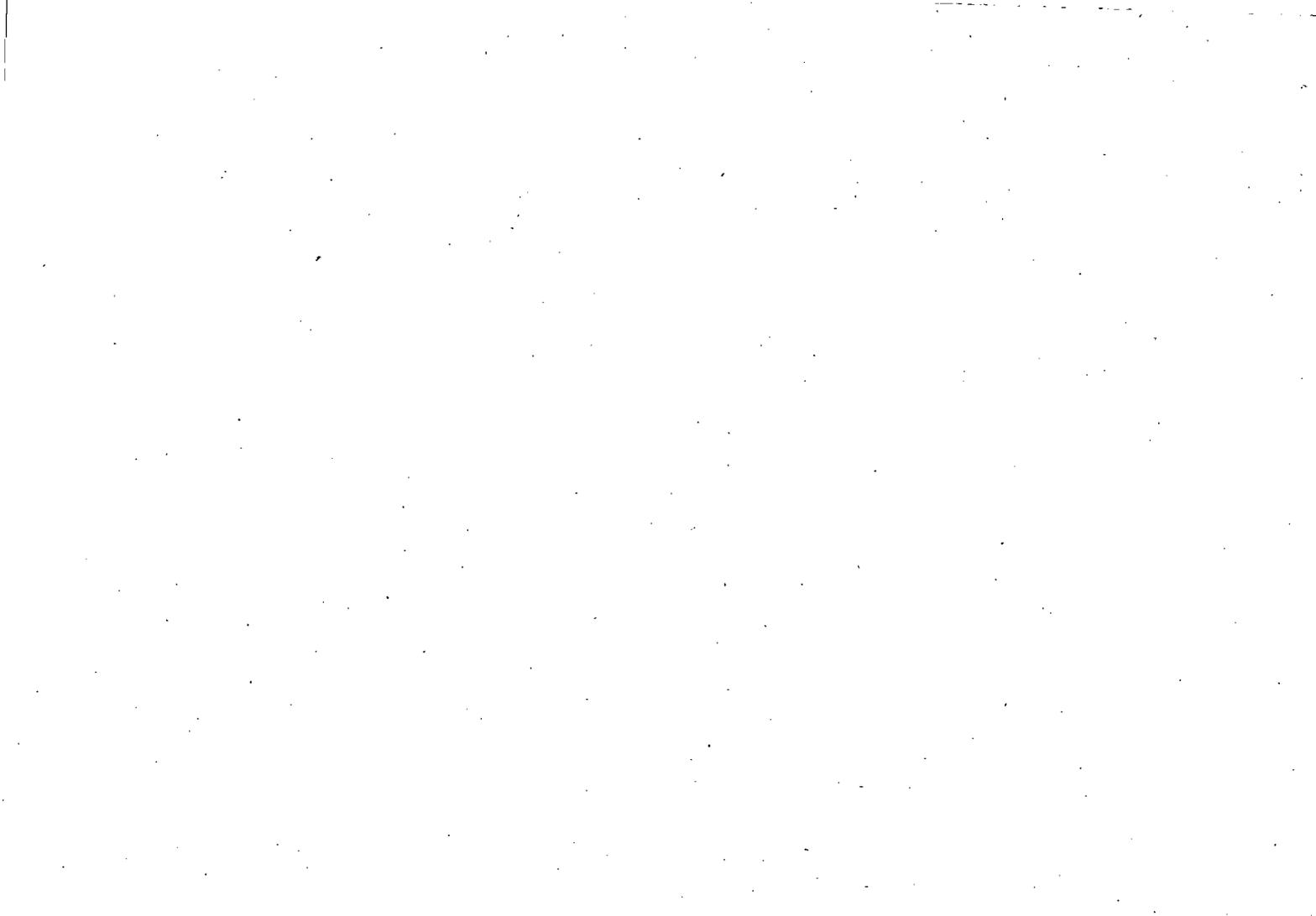


Abb. 6: Canavanin 0; 1,0; 2,0; 10,0 mM



Flockungsverhalten definierter Tonsuspensionen aus  
Lagerstätten und Böden I. Flockungsschwellenwerte  
und Flockungsvolumen

H. Gebhardt <sup>+)</sup>

Übersicht

Obwohl das kolloidchemische Verhalten der Tonsubstanz unserer Böden häufig im Vordergrund ökologisch-acherbaulicher und bodengenetischer Fragestellungen steht, ist über die "Flockungsschwellenwerte" (9) von Bodensuspensionen bisher wenig bekannt. Als flockend wirkende Elektrolyte kommen bei schwach alkalischer bis schwach saurer Bodenreaktion vor allem Ca-Ionen und im stark sauren Milieu hauptsächlich Al-Ionen in Betracht (8). Anhand von Profilbilanzen konnte nachgewiesen werden, daß bei zunehmender Versauerung unserer Böden nicht nur die Verlagerung dispergierter Tonbestandteile, sondern auch die Tonbildung selbst gehemmt werden (1). Trotzdem kann gerade der ursächliche Zusammenhang zwischen der Hemmung pedogenetischer Teilprozesse bei stark saurer Bodenreaktion und den unter diesen Bedingungen vorhandenen "aggregat-stabilisierenden Substanzen" nicht als geklärt angesehen werden. - Um vor allem die Frage beantworten zu können, ob für die Verlagerungsbereitschaft von Bodenton mehr die Tonmineralart oder mehr die Art der pedogenetischen Überprägung der Tonteilchen - z.B. in Form von Humat- oder Sesquioxidhüllen - ausschlaggebend ist, wurde das Flockungsverhalten korngößenmäßig, mineralogisch und pedogenetisch definierter Feintonfraktionen untersucht.

Methoden

Die Tone wurden im Zentrifugen-Verfahren gewonnen (10). Die Dispergierung erfolgte in reinem CO<sub>2</sub>-freiem Wasser. Carbonathaltige Proben wurden vorher bis zur Selbstdispergierung mit gekühltem CO<sub>2</sub>-haltigem Wasser behandelt. 50 mg der so gewonnenen lufttrocknen Tone wurden in Sedimentations-Röhr-

<sup>+)</sup>  Institut für Bodenkunde, Göttingen, von-Siebold-Straße 4

chen der Janert'schen Quellapparatur (4) eingewogen und erneut in reinem Wasser geschüttelt. Es ergaben sich jetzt stabile 0,2 %-ige Suspensionen, deren Flockungsverhalten bei + 4°C (Kühlschrank!) wie folgt geprüft wurde:

1. Sorptionsgänge: Zugabe steigender Mengen von  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ - und  $\text{CaCO}_3$ -Lösungen bis zur Ausflockung. Abzentrifugieren der Tongleichgewichts-Lösung (TGL) und Bestimmung von H-, Ca- und Al-Ionen in der TGL. Ständige Prüfung der TGL auf andere Kationen wie Na, K, Mg, Mn und Fe, die Einfluß auf das Flockungsverhalten nehmen können.
2. Desorptionsgänge: Erneute Dispergierung der abzentrifugierten Tone in reinem Wasser und Zugabe steigender Mengen salzsaurer, schwefelsaurer und Kohlensäurer Lösungen bis zur Ausflockung. Abzentrifugieren etc. (s.1)

## Material

Herkunft und Mineral-Zusammensetzung der Feintone sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Ausgehend von Lagerstätten-Tonen kaolinitischer, illitischer und montmorillonitischer Zusammensetzung wurden Bodentone mit entsprechendem Mineralbestand aber unterschiedlicher pedogenetischer Überprägung für die Untersuchungen ausgewählt. Die Art der bodengenetischen Überprägung geht aus den Bodentypen- bzw. Horizontangaben und dem Mineralbestand selbst hervor. Der kaolinitische Feinton der Bänderparabraunerde (Dransfeld bei Göttingen) enthält z.B. erhebliche Mengen Lepidokrokit (s.a. 2), während sich die Tonprobe E aus der Lehmreidsina Wernershöhe durch einen hohen Montmorillonit- und Humusgehalt auszeichnet (vgl. 7).

## Ergebnisse

In Tab. 2 sind die Flockungsschwellenwerte (FSW) der untersuchten Tonsuspensionen innerhalb dreier pH-Bereiche und in Abhängigkeit von der Anionenart dargestellt. Allgemein läßt sich zunächst für alle Tone sagen:

- a) Mit abnehmendem pH-Wert der TGL sinken die FSW,
- b) Erst im niedrigsten pH-Bereich sind Al-Ionen nachweisbar.  
Spezielle Unterschiede im Flockungsverhalten der einzelnen Tone treten erst in pH-Bereichen über 4 auf :

- c) Die FSW der C-Horizonttöne (Proben AB und LeC) stimmen noch mit denen der Lagerstätten-Töne überein.
- d) Die B-Horizonttöne zeigen eine verstärkte Verlagerungsbereitschaft (erhöhte FSW der Proben IB und LeB).
- e) Al-Töne aus den S-Horizonten scheinen dagegen flockungsanfälliger zu sein (erniedrigte FSW der Proben 40 SB und 30 S).
- f)  $\text{HCO}_3^-$ -Anionen senken die FSW der kaolinitischen und illitischen Töne sehr stark.
- g) Der montmorillonitische Ton aus dem Mull-A-Horizont der Lehmrandsina zeigt eine stark erhöhte Dispergierungsbereitschaft in allen pH-Bereichen und unabhängig von der Anionenart.
- h) Das Flockungs-Volumen (FV) der Lagerstätten-Töne ist 2 - 3 mal so groß wie das der Bodentöne.

### Deutung der Ergebnisse

In Abb. 1 ist die Abhängigkeit der FSW vom pH-Wert der TGL dargestellt. Deutlich fallen die erhöhten FSW des Mull-A-Horizonttönes und der Bt-Horizonttöne ins Auge (Schutzkolloidwirkung der organischen Substanz bzw. des Eisenoxidhydrats!), während die S-Horizonttöne eine geringe Erhöhung der Flockungsneigung gegenüber den C-Horizont- und Lagerstätten-Tönen erkennen lassen. Obwohl organische Substanzen im Boden normalerweise flockungsstabilisierend wirken, beobachteten bereits Quirk et al (5) eine Förderung der Dispergierung durch organische Komponenten, sobald "das Material in Suspension vorliegt". Auf eine höhere Dispergierungs-Bereitschaft von Braunlehm-Bt-Horizonttönen und die flockende Wirkung von  $\text{HCO}_3^-$ -Anionen weist Zimmermann (12) hin. Die Flockung der Töne erfolgt in den Sorptions- und Desorptionsgängen bei gleichen Ca-Konzentrationen in der TGL (Tab. 2). Dieses Fehlen von Hysterese-Effekten und die dispergierende Wirkung von reinem  $\text{CO}_2$ -freiem Wasser (s. Methoden) deuten daraufhin, daß Ca-Sättigungsgrad bzw. V-Wert keinen direkten Einfluß auf das Flockungsverhalten der Töne haben (s.a. 12). Röntgenographische Untersuchungen an Montmorilloniten zeigten ebenfalls, daß ein noch zu 60 % mit  $\text{Ca}^{++}$  belegter Ton bereits die kristallographischen Eigenschaften eines sog. "Ca-Tones" verliert (3). Eine Interpretations-Möglichkeit für die bei den Lagerstätten-Tönen auftretenden erhöhten Flockungs-Volumina (FV) bietet Abb. 2: Nach Schofield et al. (6) tragen Tonmineral-Plättchen im sauren Milieu positive Kantenladungen. Es erfolgt daher nicht wie im alkalischen Bereich eine Fläche-Fläche-Anlagerung (Typ a), sondern eine Kante-Fläche-Anlagerung

(Typ b). Deutet man das größere FV als voluminöse "Kartenhaus-Struktur" (Typ b, s.a. 11), so müßte das kleinere FV der Bodentone durch eine Fläche-Fläche-Anlagerung verursacht werden. Dies ist im sauren Milieu möglich, wenn positiv geladene Sesquioxyd-Abscheidungen nicht nur an den Kanten lokalisiert sind, sondern auch auf den Basisflächen auftreten (Typ c).

### Zusammenfassung

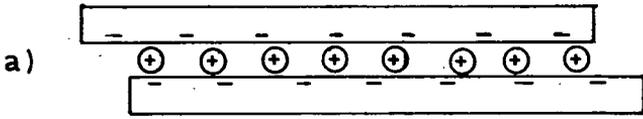
Aus den mitgeteilten Flockungsschwellenwerten der untersuchten Feinton-Suspensionen ergibt sich vor allem daß die Verlagerungs-Bereitschaft von Bodentonen nicht von der Mineralart, sondern hauptsächlich von der Art der pedogenetischen Überprägung der Tonteilchen abhängig ist. Besonders im sauren Milieu ist daher nicht mit einer mineral-selektiven Tonverlagerung zu rechnen. Fest an den Ton gebundene Humussubstanzen führen zu einer beträchtlichen Erhöhung der Flockungsschwellenwerte.

### Literatur

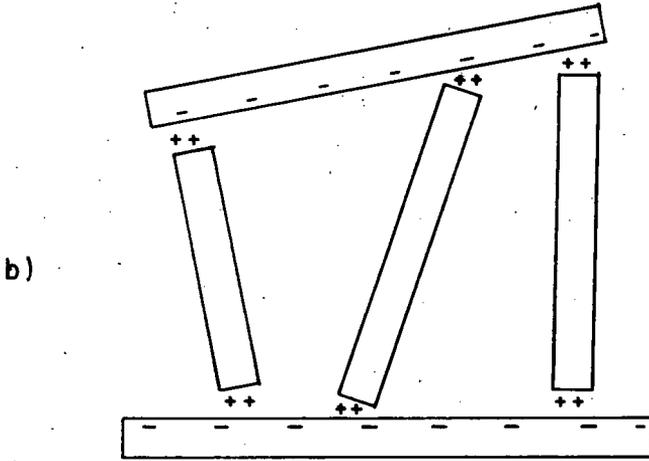
1. Gebhardt, H. Mitt.Deutsche Bodenkundl.Ges. 4, 91-100 (1965)
2. Gebhardt, H.,  
Meyer, B.,  
Scheffer, F.: Mineralogische Schnelluntersuchung der Grobton-, Schluff- und Feinsandfraktionen von Böden mit dem Phasenkontrastmikroskop  
Zeiß-Mitt. 4, 309-322 (1967)
3. Gebhardt, H.,  
Ehlers, W.u.  
Meyer, B.: Kristallographisches Verhalten von Kaolinit, Illit und Montmorillonit in Abhängigkeit von der K-Ca-Belegung,  
Zeitschr. Pflanzenernährg.u.Bodenkd. (im Druck)
4. Janert, H.: Bodenkundl. Praktikum  
VEB-Verlag Technik, Berlin (1953)
5. Quirk, J.P. u.  
Schofield, R.K.: Effect of Electrolyte Concentration on Soil Permeability, J. of Soil Sci 6, 164-178 (1955)
6. Schofield, R.K. u.  
Samson, H.R.: Clay Minerals Bulletin 2, 45-51 (1953)

7. Schwertmann, U.: Zeitsch. Pflanzenernährg. u. Bodenkd. 95, 209-227 (1961)
8. Schwertmann, U.: Mitt. Deutsche Bodenkundl. Ges. 4, 129-130 (1965)
9. Stauff, J.: Kolloidchemie  
1. Aufl. Springer Verlag, Berlin (1960)
10. Tanner, C.B. u. Jackson, M.L.: Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 12, 63-65 (1947)
11. Weiss, A., Fahn, R. u. Hoffmann, U.: Nachweis der Gerüststruktur in thixotropen Gelen,  
Naturwissenschaften 15, 351-352 (1952)
12. Zimmermann, H.: Die Ursachen der Tonverlagerung und Gefügeveränderungen in Parabraunerden und mitteleuropäischen Kalkstein-Braunlehmen.  
Diss. Landw. Fak. Univ. Göttingen (1962)

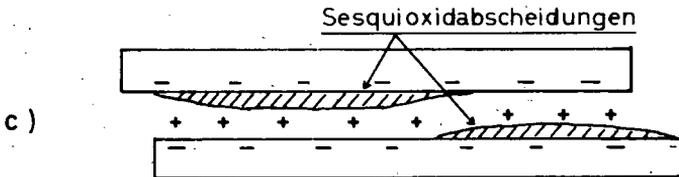
**Abb.2: Typen der elektrochemischen Koagulation**



**Fläche-Fläche Anlagerung**  
(geringes Flockungsvolumen)

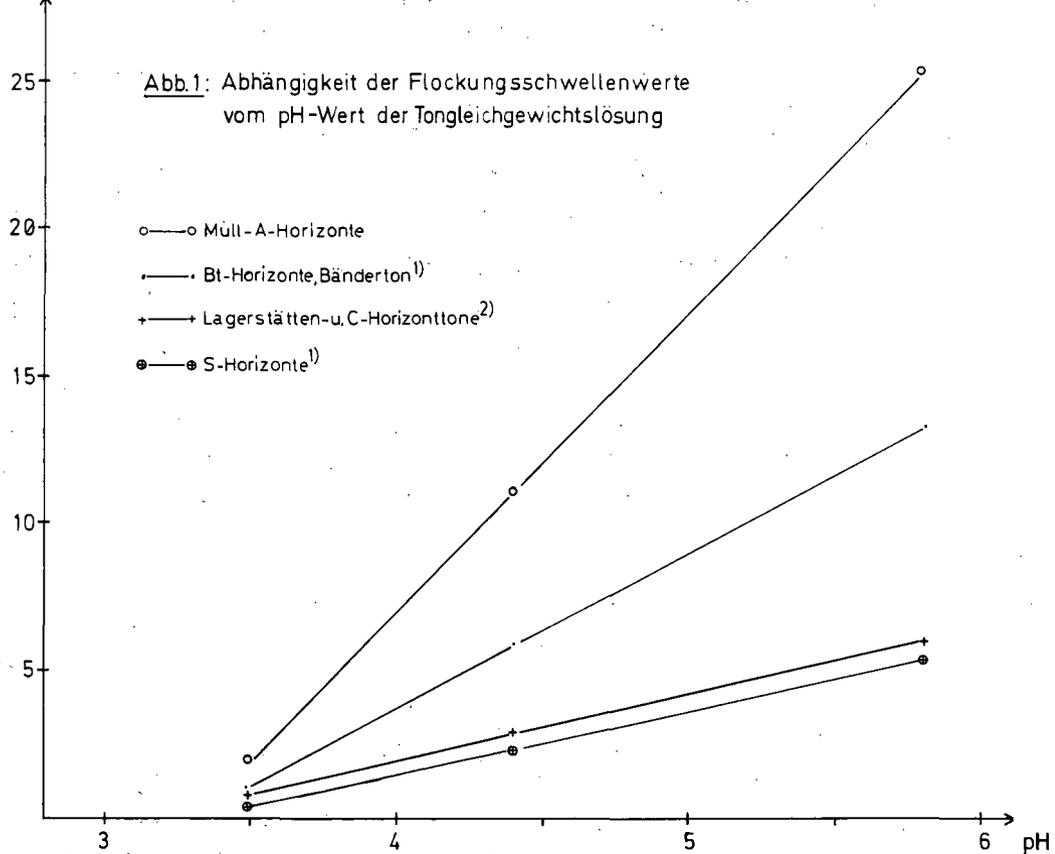


**Fläche-Kante Anlagerung**  
(voluminöse Kartenhausstruktur)



**Fläche-Fläche Anlagerung**  
(geringes Flockungsvolumen)

Ca<sup>++</sup>-Konz. (f/ml)



1) S-Horizonte u. Ton innerhalb der Bänder (IB) } nur bei Cl<sup>-</sup> u. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> als Anionen  
2) Fithian Illit u. Ton außerhalb der Bänder (AB) }

**Tab.2: Flockungsschwellenwerte 0,2%iger Tonsuspensionen**  
(Ca-u. Al-Konz. der Tongleichgewichtslösung in  $\gamma$ /ml).

Probe	Anion = $\text{Cl}^-$				Anion = $\text{SO}_4^{--}$			Anion = $\text{HCO}_3^-$	FV <sup>+</sup> (ml/g)
	ph4,7-5,8 Ca	ph4,0-4,5 Ca	ph3,4-3,8 Ca	Al	ph4,0-4,5 Ca	ph3,4-3,8 Ca	Al	ph4,0-4,5 Ca	
K	6-9	2-3	<0,7	0	1-2	0,6	0	0,9-1,3	<u>36</u>
AB	4-10	2-3	<0,9	<1,5	2-3	<0,5	<1,0	<0,5	14
IB	<u>12-14</u>	<u>3-4</u>	<0,7	<1,6	<u>8-9</u>	<0,6	<1,0	<0,5	14
L2	4-7	2-3	<1,5	0	2-3	<1,2	0	<0,5	40
I	5-8	2-3	<1,1	0	1-2	<0,6	0	<0,5	<u>38</u>
LeC	4-6	2-3	<0,8	<0,5	3-4	1-2	<0,7	1-3	<u>36</u>
LeB	9-12	<u>5-6</u>	1-2	<0,5	<u>5-6</u>	<0,7	<0,7	<u>3-6</u>	14
40SB	3-5	1-2	<1,2	<0,5	1-2	<0,5	<1,0	<0,5	16
30S	5-7	1-3	1-2	<0,5	1-3	1-2	<0,5	<0,5	14
B	16-20(Na)	3-5	<1,6	0	2-3	1-2	0	4-6	<u>60</u>
N	4-7	4-6	1-2	0	3-4	1-2	0	2-5	26
<u>E</u>	<u>18-27</u> Sorption	<u>9-11</u> Desorption	1-2	0	<u>9-11</u> Sorp.+Des.	1-2	0	<u>15-20</u> Desorption	18

(+FV=Flockungsvolumen, gemessen in einer Suspension von 50 mg Ton in 25 ml Lösung

Tab. 1: Herkunft u. Mineralbestand der Feintonfraktionen (0,06 - 0,2  $\mu$ )

Probe	Herkunft der Tonfraktion	Mineralbestand (%)
K	Kaolinit, Oberwinter	K- 90 I- 10
AB	Bänderbraunerde, Tertiärsand	K- 80 L- 20
IB	(AB=Außerhalb B, IB=Innerhalb Bänder)	K- 65 L- 35
L2	Foss. Laterit, Obervorschütz/Hess.	K- 90 M-10
I	Illit, Fithian	I ~ 95 C ~ 5
LeC	Parabraunerde, Löß, Lenglerl-Gött.	I ~ 45 M ~ 55
LeB	(C = C-Horizont, B = Bt-Horizont)	I ~ 50 M ~ 50
40SB	Pseudogley-Parabraunerde, Löß	I ~ 50 AM ~ 50
30S	Hanggley, Löß (extrem vernäbt)	I ~ 50 AC ~ 30 K ~ 20
B	Bentonit, Geisenheim	M ~ 100
N	Nontronit, Garfield/Wash.	M ~ 100
E	Lehmreidsina, Wernershöhe	M ~ 80 I ~ 20 <sup>+</sup> )
<p>+ ) n. SCHWERTMANN K = Kaolinit, L = Lepidokrokit, M = Montmorillonit (einschließlich kontrahierbare 14-Å-Mineraie), AM = z.T. Al-blockierte 14-Å-Mineraie, AC = Al-Chlorit, C = Chlorit</p>		



## Mineralogische Untersuchungen an Nordsee-Schlick

Eberhard Kalk <sup>+)</sup>

Zur Charakterisierung des Ausgangsgesteins schleswig-holsteinischer Marschböden sowie zur besseren Erfassung der in diesen ablaufenden bodengenesischen Prozesse wurden an drei Nordsee-Schlick unterschiedlicher Korngrößenzusammensetzung (Proben H : Hindenburgdamm, S : Sterdebüll und W : Westerhof) umfangreiche mineralogische Untersuchungen durchgeführt.

Hierzu wurden die Proben nach schonender Aufbereitung und Abtrennung der Tönkomponente in die gebräuchlichen Kornfraktionen aufgetrennt. Orientierende Röntgenuntersuchungen an den Fraktionen zwischen 2 und 200  $\mu$  gaben Aufschluß über ihre qualitative mineralogische Zusammensetzung, besonders über das Vorkommen der bei diesen Untersuchungen im Vordergrund stehenden Karbonat-Mineralen : Calcit (in sämtlichen drei Proben enthalten), Dolomit (in Probe S und W) und Siderit (in Probe H und W).

Die daran anschließende mineraloptische Bestimmung des quantitativen Mineralbestands ergab Quarzgehalte zwischen 18 und 40, Feldspatgehalte zwischen 7 und 12, sowie Phyllosilikatgehalte zwischen 16 und 7 %. Die Quarz- und Feldspatgehalte stehen in positiver, die Phyllosilikatgehalte in negativer Beziehung zum Grobkornanteil der Proben, während die Karbonate und Schwerminerale keine derartige Abhängigkeit zeigen. Der überwiegend organogen gebildete Calcit ist durch mehr oder weniger stark ausgeprägte Auflösungserscheinungen gekennzeichnet. Anzeichen für seine Neubildung waren lediglich auf kugelförmige Organismenreste (vielleicht freigesetzte Foraminiferenkammern) beschränkt. Bereits im ersten Auflösungsstadium wird eine Eisenkonkretionsbildung beobachtet. Probe H enthält die meisten, Probe W die wenigsten Eisenhydroxidkonkretionen.

---

+) Dr. Eberhard Kalk, Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel

Zur Unterscheidung von Calzit, Dolomit und höher lichtbrechenden Karbonaten (Ankerit und Siderit) wurde die Bestimmung des quantitativen Mineralbestands an Streuimmersionspräparaten unter Anwendung des Phasenkontrastverfahrens mit  $\alpha$ -Monobromnaphthalin als Einbettungsmittel wiederholt. Durch unvermeidbare Verluste bei der Präparation lagen die absoluten Karbonatgehalte niedriger als bei der zuerst durchgeführten Gesamtauszählung. Wenn man jedoch die in den drei Proben H, S und W ermittelten Calzit- (71, 48 und 43 %) und die Dolomitgehalte (9, 16 und 20 %) auf die zuerst bestimmten Werte bezieht, ergibt sich erneut die bereits für den Quarz, den Feldpat und die Phyllosilikate geltende Beziehung zur Korngrößenzusammensetzung (negativ für Calzit und positiv für Dolomit). Der Dolomitgehalt der Gesamtproben liegt zwischen 0,6 und 1,7 Gewichts-%. Die Angaben über die höher lichtbrechenden Karbonatminerale sind infolge ihrer zu geringen Mengenanteile zu großen statistischen Streuungen unterworfen und infolgedessen zu ungenau. Sie ließen sich deshalb nicht zur Korngrößenzusammensetzung der Proben in Beziehung setzen.

Um auch diese in ausreichender Menge untersuchen zu können und dadurch zu gesicherteren Ergebnissen zu gelangen, wurden die in der Fraktion 20 - 63 und 63 - 200  $\mu$  enthaltenen hoch lichtbrechenden und spezifisch schweren Karbonatminerale gemeinsam mit der eigentlichen Schwermineralkomponente bei  $D=2,85$  ( $2,87 = \text{spez. Gewicht des Dolomit}$ ) abgetrennt und nach Einbettung in Aroclor ( $n_D = 1,665$ ) quantitativ ausgezählt. Das Ergebnis deckt sich etwa mit dem der vorausgegangenen qualitativen und quantitativen Bestimmung der Karbonatminerale (Zunahme des Dolomit- und Siderit- (bzw. Ankerit-) -Gehaltes mit steigendem Grobkornanteil. Die Frage, ob dabei auch das Alter der Sedimente eine Rolle spielt, konnte bisher nicht geklärt werden ( $W > S > H$ )<sup>+) . Die Schwerminerale Hornblende, Olivin, Epidot und Ilmenit nehmen von H über S nach W ab, die opaken Minerale, die Schwermineralumwandlungsprodukte, die Titan- und Eisen-Minerale, der Turmalin und der Apatit nehmen dagegen zu. Der Pyroxen nimmt in der groben Fraktion (63 - 200  $\mu$ ) zu, in der feinen Fraktion (20 - 63  $\mu$ ) dagegen ab. Dieses Verhalten der Schwerminerale läßt sich ebenfalls nur mit der bereits mehrfach erwähnten Beziehung zur Körnung der Proben erklären.</sup>

---

+ ) Zur Frage der Bildungsumstände des in den drei Schlickten enthaltenen Dolomits soll in Kürze eine Altersbestimmung an einer zu diesem Zweck angeereicherten Probe durchgeführt werden.

Bei Einbettung in  $\alpha$ -Monobromnaphthalin und in ein Gemisch aus  $\alpha$ -Monobromnaphthalin und Methylenjodid vom Brechungsindex  $n = 1,679$  ( $n_g$ -Wert von reinem Dolomit nach Träger) wurde an den Dolomiteilchen häufig ein heterogener Aufbau beobachtet. Zur Aufklärung dieses Phänomens wurden die Proben mit saurer Alizarin-S-Lösung oder mit Kaliumferricyanid behandelt. Durch Kombination dieser mikrochemischen Anfärbemethoden mit dem Phasenkontrastverfahren konnten verschiedene Übergangsstufen von Calzit zu Dolomit und von Ankerit zu Siderit nachgewiesen werden. Die heterogene Zusammensetzung einzelner Karbonateilchen äußerte sich zuweilen in einer mit Alizarin-S erzielter verschieden starker Anfärbung unmittelbar aneinandergrenzender Partien und (bei Anwendung des Phasenkontrastverfahrens und Einbettung in  $\alpha$ -m-Monobromnaphthalin)erkennbarer unterschiedlicher Lichtbrechung. Auf die Anwesenheit von Aragonit, der jedoch nur in einem einzigen Fall nachgewiesen werden konnte, wurde durch zusätzliche Einstellung der Achsen- bzw. Konoskopischen Bilder regelmäßig geachtet, so daß eine Überlagerung von Calzit und Aragonit in all diesen Fällen ausgeschlossen werden konnte.



## Der Mg-Haushalt tonreicher Böden in Abhängigkeit von

### Tonmineralbestand und Umwandlung

K.-H. Papenfuß <sup>+)</sup>

Tonmineralogische Untersuchungen an einer Dolomit-Rendzina der Schwäbischen Alb und Pelosolen aus mesozoischen Sedimentgesteinen gaben interessante Hinweise auf eine mögliche Mg-Fixierung durch Einlagerung von  $Mg_3(OH)_6$  in aufgeweitete Zwischenschichten von Tonmineralen. Dieser Fixierungsmechanismus wäre von praktischem und theoretischem Interesse.

Das Magnesium kann im Boden karbonatisch und silikatisch gebunden sein. Nach den Analysendaten von den oben genannten Proben läßt sich für die Verwitterbarkeit der Mg-Bindungsformen folgende Reihe aufstellen: karbon. gebundenes Mg > hydrat. Zwischenschicht-Mg > als Hydroxid gefälltes Zwischenschicht-Mg > primäres Gitter-Mg. Bei höheren Dolomitgehalten wird der Mg-Haushalt allein durch das karbonatisch gebundene Mg bestimmt. Erst nach weitgehender oder vollständiger Dolomitauflösung erlangt das silikatisch gebundene Mg eine größere Bedeutung. Eine Mg-Fixierung unter Bildung von Mg-Bodenchlorit würde der Verarmung des Bodens entgegenwirken. Dieser Frage sollte an geeignetem Material nachgegangen werden.

Für die Bildung von Mg-Chlorit müssen folgende Bedingungen vorausgesetzt werden:

1. eine ausdauernde starke Mg-Quelle
2. ein aufnahmefähiges Tonmineral
3. basische Reaktion der Bodenlösung

Unter Berücksichtigung dieser Forderungen kamen für weitere Untersuchungen Böden aus Gesteinen des oberen Muschelkalk und des Malm in Frage. (In der

<sup>+)</sup>  Institut für Bodenkunde der Universität (LH) Hohenheim, Stuttgart-Hohenheim

Tonfraktion von Böden aus montmorillonitreichen basischen Tuffen konnte keine Chloritbildung festgestellt werden.)

Untersucht wurden die Tonfraktionen aus Horizontproben verschiedener Rendzinen und des Lösungsrückstandes mehrerer dolomitischer Kalksteine. Weder im Muschelkalk noch im Malmkalk ist ein  $14 \text{ \AA}$ -Mineral als wesentliche Komponente in der Tonfraktion vorhanden. Der Unterschied im Tonmineralbestand liegt im wechselnden Gehalt von Kaolinit und Illit. Außerdem variiert der Anteil der quellenden Schichten des Illits etwas.

Ganz anders ist der Tonmineralbestand der Böden, die sich aus diesen Gesteinen entwickelt haben. Der deutlichste Unterschied im Vergleich zur Tonfraktion des Ausgangsgesteins zeigt sich in dem starken Anteil eines  $14 \text{ \AA}$ -Minerals. Wie die Röntgenanalyse gezeigt hat, ist ein großer Teil hiervon Chlorit. Die Aufnahmen zeigen außerdem, daß dieser Chlorit von unten nach oben im Profil zunimmt und thermisch stabiler wird. Neben dem reinen Chlorit gibt es zahlreiche Übergangsstufen zwischen Illit und Chlorit in Form von Wechsellagerungsmineralen. Ausgangsmaterial und basische Bodenreaktion sprechen für einen Mg-Chlorit, der sich wahrscheinlich über die Zwischenstufe eines quellendes Chlorits gebildet hat.

Die chemischen Analysendaten zeigen eine deutliche K-Verarmung und Mg-Zunahme der Bodentonminerale gegenüber der Tonfraktion der Ausgangsgesteine. Diese Ergebnisse stützen die obige Annahme.

Durch Laborversuche mit einem Montmorillonit (Wyoming) konnte gezeigt werden, daß unter den oben genannten Voraussetzungen Mg als Mg-Hydroxid in quellende Schichten eingebaut werden kann.

Der Einfluß von organischer Substanz auf die Bildung  
von Eisenoxiden  
U. Schwertmann <sup>+)</sup>

Die Alterung und Kristallisation der amorphen Fe(II)-hydroxide wird durch die Anwesenheit von organischer Substanz vielfältig beeinflusst. Vorläufige Versuche zeigten, daß erst die Entfernung der organischen Substanz aus Bodenproben, die amorphe Fe-oxide enthalten, deren Kristallisation ermöglicht. Andererseits verhindert die Zugabe von C-haltigen Lauge-Extrakten von Böden die Kristallisation synthetischer Fe-oxide. Zur Aufklärung des Mechanismus wurden synthetische Fe-oxide in Gegenwart von Citrat gealtert. Dabei kann die Alterung sowohl verhindert, verzögert, als auch in eine andere Richtung gelenkt werden. Außerdem treten Veränderungen im Kristallhabitus auf. Diese Einwirkung ist pH-abhängig. Da auch die Sorption des Citrats in gleichem Sinne pH-abhängig ist, wird vermutet, daß die Alterung durch Sorption des Citrat-Anions verhindert wird. Modifikationen im Kristallhabitus lassen Vermutungen über den Ort der bevorzugten Citratsorption zu.

---

<sup>+)</sup>  U. Schwertmann,

Institut für Bodenkunde der Technischen Universität Berlin



## Die Bedeutung der erweiterten Fraktionierung bei tonmineralogischen Untersuchungen

H. Tributh <sup>+)</sup>

### EINLEITUNG

In zunehmendem Maße tritt mit der Intensivierung und Verbesserung von tonmineralogischen Untersuchungen der Begriff der "Tonfraktion" und dessen Abgrenzung gegenüber Schluff und die weitere Unterteilung des Tons in Einzelfraktionen in den Vordergrund. In den letzten Jahren sind einige Veröffentlichungen erschienen, die eine Trennung der Teilchen innerhalb der Fraktion  $< 2 \mu$  aufweisen. Die Abb. 1 gibt einen Überblick über die bisher vorgenommenen Tontrennungen.

Am Beispiel einer Sauren Braunerde aus Buntsandstein und einer Pseudogley-Parabraunerde aus Löß soll versucht werden, durch stärkere Unterteilung der Tonfraktion  $< 2 \mu$  die genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften zu erreichen.

Über die Technik der Tontrennung mit Hilfe von Zentrifugen, sowie Präparierung der Tone für Röntgenaufnahmen und anderer methodischer Fragen kann an dieser Stelle nicht berichtet werden, deshalb muß auf die im Fotodruck vorliegende Dissertation verwiesen werden.

### 2. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

#### 2.1 Die Austauschkapazität (AK) und ihre Beziehung zur Korngröße

Die Werte der Gesamtaustauschkapazität ( $AK_t$ ), bestimmt bei pH 8, 2 nach Mehlich, lassen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den gleichen Fraktionen

---

+) Institut für Bodenkunde der Justus Liebig-Universität Giessen

von I/B<sub>v</sub> (Saure Braunerde) und IV/SB<sub>t</sub> (Pseudogley-Parabraunerde) erkennen (Tab. 1). Es besteht eine lineare Beziehung der AK<sub>t</sub> zum Logarithmus der Korngröße, so daß sich mit Hilfe eines Faktors die AK<sub>t</sub> für jede Korngrößeneinheit errechnen läßt. Dadurch ist es auch möglich aus den Werten der Korngrößenanalyse die AK<sub>t</sub> rechnerisch zu ermitteln. Auf Grund der Abhängigkeit der AK<sub>t</sub> von der Korngröße können Mineralunterschiede aus der Höhe der AK<sub>t</sub> nicht abgeleitet werden.

Dagegen erlaubt die Auswertung der permanenten Austauschkapazität (AK<sub>p</sub>) Aussagen über die mineralogische Zusammensetzung und die Höhe der variablen Austauschkapazität (AK<sub>v</sub>) läßt Beziehungen zum Grad der Verwitterung und Allophanbildung erkennen (Tab. 1).

## 2.2 Die lineare Schrumpfung

Mit Hilfe der linearen Schrumpfung lassen sich an den fraktionierten Tönen auf einfachste Weise und ohne apparativen Aufwand Änderungen im Mineralbestand erkennen. Wie die Abb. 3 zeigt, haben nur Teilchen  $< 2 \mu$  ein meßbares Schrumpfvermögen. Darin unterscheidet sich die größte Tonfraktion vom Feinschluff gegenüber den sonst bestehenden Übergängen.

## 2.3 Die Bestimmung des Mineralbestandes mit Hilfe der Röntgenanalyse

Die qualitative Auswertung der Röntgendiagramme zeigt eine Veränderung der Mineralzusammensetzung in den einzelnen Fraktionen an. Die Differenzierung geht so weit, daß in der kleinsten Fraktion  $< 0,01 \mu$  jeweils nur noch ein Peak vorhanden ist. Bei der Pseudogley-Parabraunerde aus Löß ist dies ein Mineral, welches sich auf  $18 \text{ \AA}$  aufweiten läßt und bei der Sauren Braunerde aus Buntsandstein verbleiben nur schwache Interferenzen eines  $10 \text{ \AA}$ -Minerals. Die als Montmorillonite bezeichneten  $18 \text{ \AA}$ -Minerale der Fraktion  $< 0,01 \mu$  verhalten sich gegenüber Erhitzung instabil. Die durch Instabilität verursachte Auslöschung der Interferenzen tritt bei den  $10 \text{ \AA}$ -Mineralen gleicher Korngröße bei thermischer Beanspruchung und auch nach Glycerinbehandlung auf.

Die Ermittlung der relativen Reflexintensität durch Planimetrieren des Flächenanteils der Minerale im Röntgendiagramm ermöglicht quantitative Aussagen über die in den einzelnen Fraktionen vertretenen Minerale. Der Rückgang der Reflexintensitäten in den kleinsten Fraktionen von I/B<sub>v</sub> und der hohe Anteil der AK<sub>v</sub> zeigen die Zunahme von röntgenamorphen und allophanen Bestandteilen als Folge einer intensiven Verwitterung an.

### 3. VORSCHLÄGE FÜR ZUKÜNFTIGE FRAKTIONIERUNGEN

Die Vorschläge für Abgrenzungen bestimmter Korngrößen innerhalb der Tonfraktion  $< 2 \mu$  sind im unteren Teil der Abb. 1 den bisherigen Trennungsbereichen gegenübergestellt. Als Grundlage für die Benennung in Grob-, Mittel- und Feinton sollte die unter Vorschlag II vorgenommene Dreiteilung der Gesamttonfraktion dienen.

Der Fragestellung entsprechend können diese Fraktionen weiter unterteilt (III) oder auch teilweise zusammengefaßt werden (I).

### 4. ZUSAMMENFASSUNG

Die Unterteilung der Gesamttonfraktion  $< 2 \mu$  in weitere Fraktionen ermöglicht eine genauere Kennzeichnung des Mineralbestandes und seiner Eigenschaften.

Darüber hinaus wird durch die erweiterte Tonfraktionierung eine dynamische Betrachtung der Tonentwicklung möglich.

Tabelle 1: Kationenaustauschkapazität in mval/100 g

Teilchengröße in $\mu$	Gesamt- ladung	permanente Ladung	variable Ladung	permanente Lad. in % zur Ges.Lad.	variable Lad. in % zur Ges.Lad.
<b>a) Profil I/B<sub>v</sub></b>					
< 0,02	91,3	30,8	60,5	33,7	66,3
0,02-0,06	62,5 x	22,8 x	39,7	36,5	63,5
0,06-0,1	51,7 x	22,4 x	29,3	43,3	56,7
0,1-0,2	42,2	23,8	18,4	56,4	43,6
0,2-0,6	35,2	15,9	19,3	45,2	54,8
0,6-2	24,7	11,1	13,6	44,9	55,1
< 2	49,9	18,7	31,2	37,5	62,5
2-6	11,3	5,8	5,5	51,3	48,7
6-20	5,0	2,1	2,9	42,0	58,0
<b>b) Profil IV/SB<sub>t</sub></b>					
< 0,02	87,7	50,4	37,3	57,5	42,5
0,02-0,06	71,9	46,8	25,1	65,0	35,0
0,06-0,1	56,4	39,5	16,9	70,0	30,0
0,1-0,2	49,1	37,0	12,1	75,1	24,9
0,2-0,6	41,5	25,2	16,3	60,7	39,3
0,6-2	28,2	17,9	10,3	63,5	36,5
< 2	51,6	34,6	17,0	67,0	33,0
2-6	12,9	7,8	5,1	60,5	39,5
6-20	5,0	2,9	2,1	58,0	42,0
<b>c) "Standardminerale" (1)</b>					
Bentonit	118,0	112,0	6,0	94,9	5,1
Vermikulit	85,0	85,0	0,0	100	-
Illit	19,1	11,5	7,7	60,0	40,0
Halloysit	17,8 (2)	5,5	12,3	30,9	69,1
Kaolinit	4,4 (2)	1,1	3,3	25,0	75,0
Gibbsit	5,5	0,0	5,5	-	100
Goethit	4,1	0,0	4,1	-	100
"Egmont" (3) (Allophane)	51,0	10,3	40,7	20,2	79,8
"Alumino- silicat" (4)	88,0	12,0	76,0	13,6	86,4

(1) Auszugsweise nach MEHLICH und THEISEN (1966)

(2) Zweischichtminerale je nach Hydratation zwischen 4,4 und 17,8 mval

(3) FIELDS (1955)

(4) Hergestellt aus Lösungen von  $\text{AlCl}_3 + \text{CH}_2\text{O}$  und  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ; mit NaOH bei pH 8,2 titriert; Si/Al-Verhältnis etwa 1

Abb.: 1

Bisherige Tontrennungen:	Schwertmann 1961	< 0,06																																				
	Kundler 1961; Theisen 1966	< 0,2																																				
	Schlichting und Blume 1961	< 0,15						< 0,5																														
	Gebhardt-Meyer und Scheffer 1966 Bronger, Graf v. Reichenbach u. Schröder 1966	< 0,2																																				
	Eigene Trennungen I	< 0,1															2 - 6																					
	Eigene Trennungen II	< 0,02			< 0,1												2 - 6																					
	Eigene Trennungen III	< 0,01			< 0,1												2 - 6																					
Vorschläge für zukünftige Unterteilung der 2 <sup>te</sup> Fraktion		0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4	5	6
Zukünftige Tontrennungen:	Vorschlag I	< 0,2												0,2 - 2						2 - 6																		
	Vorschlag II	< 0,02						0,02 - 0,2						0,2 - 2						2 - 6																		
	Vorschlag III	0,006-0,02						0,02-0,06						0,06-0,2						0,2-0,6						0,6 - 2						2 - 6						
		FEINTON												MITTELTON												GROBTON						FEIN-SCHLUFF						

**Abb.: 2 : Lineare Schrumpfung**

Teilchengröße in $\mu$	Schrumpfung I/Bv		Schrumpfung IV/SBt	
	in %	räumlich	räumlich	in %
< 0,02	17,7			39,0
0,02 - 0,06	23,1			36,5
0,06 - 0,1	24,0			34,8
0,1 - 0,2	20,8			29,2
0,2 - 0,6	7,9			12,5
0,6 - 2	4,2			4,6
< 2	21,3			30,3
2 - 6	0,2			0,1
6 - 20	0,0			0,0

## Stellung von Moor und Anmoor in einer Systematik der Böden Deutschlands und ihre zeitgemäße Nutzung

W. Baden <sup>+)</sup>

Zu dieser Frage wird ein Vorschlag aus der Sicht der angewandten Bodenkunde, also im Hinblick auf die Nutzung von Moor und Anmoor gemacht, und zwar sowohl auf die landwirtschaftliche wie auf die torfwirtschaftliche.

Trotz dieser eingegengten Sicht dürfte auch damit eine befriedigende "stufenartige Gliederung in Kategorien unter Berücksichtigung aller bekannten Bodeneigenschaften" möglich sein und insoweit im Sinne Mückenhausen's einer "Systematik der Böden" weitgehend entsprochen werden. Gerade aus dieser Sicht haben wir heute für die Moor- und Anmoorbildungen und die daraus resultierenden Böden, vor allem also was die Bodendynmaik anbetrifft, hinreichende Kenntnisse, mögen sich dieselben uns auch als immer vielgestaltigere Pflanzenstandorte und nutzbare Torflagerstätten bieten. Um so mehr Anlaß ist für eine entsprechende Ergänzung der Systematik der Böden Deutschlands gegeben.

U. a. dürfte damit auch eine befriedigende Charakterisierung seines durch das Ausgangsmaterial bedingten Filtergerüsts und dessen Bedeutung für die Bodenbildung selber und seinen Wasserhaushalt im besonderen gelingen.

### Begriffsbestimmungen

Um "eine einheitliche Sprache zu sprechen", sind einige eindeutige Begriffsbestimmungen unerläßlich. Dieselben werden allerdings je nach der Sicht, aus der man Moorkunde betreibt, verschieden getroffen. Hier kann und braucht das jedoch nur bodenkundlich und zwar vornehmlich im Hinblick auf die angewandte Bodenkunde zu geschehen.

---

+) Staatl. Moor-Versuchsstation in Bremen

Moor ist ein Gelände, das mit einer - im abgelagerten Zustand - wenigstens 2 dm dicken Schicht aus Torfen (Humus) bedeckt, im unentwässerten Zustand sehr wasserreich ist und auf dem - vor allem je nach seinem Kalk-, Säure- und Nährstoffzustand - charakteristische Moorpflanzengesellschaften gedeihen; Moor ist also der übergeordnete geographisch - geologisch - floristische Begriff.

Torf ist demgegenüber der untergeordnete mineralogisch - petrographische Begriff.

Torf ist die im Moor und Anmoor vorherrschende durch den immer noch wenig erforschten Vorgang der "Vertorfung" überwiegend aus pflanzlichen, teils auch aus tierischen Resten entstandene Humussubstanz; er besitzt - im gewachsenen Profil oder daraus herausgelöst - neben für Humusstoffe allgemein kennzeichnenden manche besondere chemische und physikalische, vor allem manche hydrologische Eigenarten, Dieselben äußern sich in dem Maße, wie das Gefüge während der Torfbildung primär oder mit der Bodengenese sekundär, kolloidale Beschaffenheit annimmt, vor allem in starkem Schrumpfen beim Trocknen, in der Bildung harter im Bruch scharfkantiger Brocken und in mehr oder weniger starkem Wiederaufquellen beim Anfeuchten. In gewissen Torfen sind dieselben durch freie Säuren (Humussäuren) besonders ausgezeichnet.

Mit C. A. Weber (11) unterscheiden wir nach wie vor zerteilt pflanzliche Torfe (Mudden) und ganz pflanzliche (eigentliche) Torfe und begründen das mit ihm in erster Linie entwicklungsgeschichtlich:

Mudden sind mehr oder weniger mineralische oder organische Sedimente, finden sich oft in viele Meter mächtigen Schichten auf dem Grund verlandender oder verlandeter Seen, Folgerichtig gehören sie entwicklungsgeschichtlich zu den Niedermoorprofilen - unbeschadet der Tatsache, daß sie nahezu frei von Verbrenlichem sein können, Ihre organische Substanz ist - u.a. durch Wellenschlag und Wassertiere - so stark zerteilt, daß darin Reste der Torfbildner selbst mikroskopisch kaum mehr ausgemacht werden können.

Deshalb werden dieselben als zerteilt pflanzliche Torfe definiert und - mit einer Ausnahme (Lebermudde) - nach der darin vorherrschenden Substanz als Ton-, Sand-, Kalk- bzw. Torfmudde bezeichnet (Tab. 1),<sup>5,6)</sup>

In ganzpflanzlichen Torfen sind dagegen noch so grobe ("ganze") Reste der torfbildenden Pflanzen vorhanden, daß man sie größtenteils mit bloßem Auge erkennen kann. Sie werden nach den darin vorherrschenden subfossilen Pflanzenresten einzelner oder mehrerer Torfbildner benannt und - je nach ihrer Entstehungsweise - als Niedermoor-, Übergangsmoor- oder Hochmoortorfe zusammengefaßt (Tab. 1). Ihrer gibt es eine große Zahl.

Übereinander geschichtet, bilden Mudden und Torfe die Moorprofile. Bodenkundlich ist es deshalb nicht abwegig, beide als das organogene Ausgangsgestein für die darin früher oder später ablaufende Bodenbildung zu definieren. In den Mudden wäre das allerdings nur für ihre organische Substanz berechtigt.

Unter Anmoor verstehen wir zweierlei: Ein Gelände, das in seiner Trockensubstanz 30-15 Gew.% Verbrennliches (Torf, Humus) enthält, und seine Substanz. In seiner Ökologie ähnelt es den Moorbildungen bezüglich mancher Eigentümlichkeiten mehr als den Mineralböden; denn in seinem Gesamtgehalt an Verbrennlichem (Torf, Humus) kommt es den ausgesprochenen Moorbildungen dank eines um das mehrfache höheren Vol.-Gewichtes der trockenen Substanz, als es jene aufweist, praktisch nahe (Abb.1) (3). In seinen obersten beiden Dezimetern macht das Verbrennliche sogar mehr als 50 Vol.% aus (Abb. 2) (7). Dabei ist es einerlei, ob sein Anteil an Verbrennlichem in den obersten beiden Dezimetern primär vorhanden gewesen ist, oder ob es sich darin - wie beispielsweise bei der Heidekultur - erst sekundär durch Vermischen einer dünnen Torf- bzw. Humusaufgabe mit dem liegenden Mineralboden ergeben hat.

#### Moor- und Anmoorböden

Erst in dem Maße, wie sich die Moor- und Anmoorprofile in ihren obersten Lagen beleben und damit der Zersetzung, Humifizierung und Mineralisierung anheimfallen, erfolgt aus ihrem "organogenen Gestein;" die Bildung von Moor- und Anmoorböden.

Wie auf Mineralböden "dient" - in Anlehnung an eine Definition von Scheffer, und Schachtschabel (10) - auch ihr "verwitterter", d.h. zersetzter, humifizierter und mineralisierter "Oberboden nunmehr in verstärktem Maße niederen und hohen Organismen als Lebensraum". Zumindest im Wurzelbett des Moorgrün-

landes und unter Bruchwald hält die Anreicherung mit Humus dessen Abbau die Waage, und der Humus (Torf) wandelt sich dabei allgemein in "stabilere Verbindungen" um. Wie das "Produkt einer solchen (anorganischen, Verf.) Gesteinsumwandlung" können wir deshalb auch das Produkt der Umwandlung der organischen Gesteine auf Moor- und Anmoorprofilen "Boden" nennen. "Durchsetzt mit abgestorbener organischer Substanz" aber sind Torf- und Anmoorböden nicht nur besonders stark, sondern diese Komponente herrscht darin meistens vor, volumemäßig selbst im letzten Fall (Abb. 1 u. 2), und an "Organismen, Wasser und Luft" mangelt es darin auch nicht. Dank dieser Eigentümlichkeiten sind beiden "die charakteristischen Merkmale eines Bodens, organische Substanz und Organismen-tätigkeit", sogar in besonders hohem Maße zu eigen. Diese Parallele gilt ohne Einschränkung dort, wo Torf- und Anmoorböden noch "unverwittertes organisches Gestein" bedecken, um so mehr, als sie dort nicht nur die Fähigkeit haben, den Pflanzen als Standort zu dienen und Pflanzenerträge zu erzeugen, sondern sogar eine besonders große "Bodenfruchtbarkeit" aufweisen; denn gerade dort halten sie bei ordnungsgemäßer Bewirtschaftung bezüglich ihrer Ertragsleistung Vergleichen mit besten Mineralböden stand.

## Die Entwicklung von—Torf-(Humus-)böden

### Natürliche Entwicklung zu Böden

Unter Rieden und Grünlandpflanzengesellschaften der Niedermoore und Übergangsmoore (auch "Grünlandmoore" genannt) erfolgt die Entwicklung zu Böden ebenso wie unter Bruchwald oder unter einer Heidenarbe des Hochmoores und Heidepodsols zwar schon von Natur, aber jeweils nur so tief, wie die Durchlüftung eine hinreichende Durchwurzelung gestattet. Während der altüberkommenen und weit verbreiteten naturgegebenen Grünlandnutzung ist diese natürliche Bodenbildung anthropogen zwar in mancherlei Weise gefördert worden, aber trotzdem über das Stadium von "Halbkulturen" meistens nicht hinausgekommen.

### Entwicklung auf der Moor- und Anmoorkultur

Durch Kultivierungsmaßnahmen wird die Bodenbildung in dem Maße gefördert, wie damit die Durchlüftung verstärkt, der Kalk-, Säure- und Nährstoffzustand erforderlichenfalls für Grünland, Acker und Gemüsebau aufgebessert und damit zugleich das Wurzelbett belebt wird. Das letzte geschieht dann in so wirksamer Weise, daß selbst zuvor fast unzersetzte Torfe oder ihre unzersetzten subfossilen

Pflanzenreste nach wenigen Jahren nicht nur einen Oberboden mit dem für leistungsfähige Kulturen erwünschten Gefüge aufweisen, sondern sogar schon bald einer weitergehenden Zersetzung, Humifizierung und Mineralisierung entgegen gewirkt werden muß. Das gilt für Niedermoorkulturen in ganz besonderem Maße, früher oder später aber auch für Hochmoorkulturen.

### Rückbildung (Schwund) von Torf und Anmoor

Nach Naturkatastrophen oder mit stetiger natürlicher Beeinträchtigung der ökologischen Voraussetzungen für die Entstehung von Torfen wird spontan oder im Laufe der Zeit ihre Rückbildung um so intensiver ausgelöst und ablaufen, wie damit "wachsende" Moor- oder Anmoorbildungen entwässert, durchlüftet, belebt und von rezenten Pflanzen durchwurzelt werden. Weit schneller und nachhaltiger wird dieselbe jedoch durch menschliche Eingriffe gefördert. Mag sie bei verständiger Bewirtschaftung der Moorkulturen auch allmählich wieder nachlassen, so klingt sie selbst dann nur auf Dauergrünland und bei Ackernutzung allenfalls unter einer Decke aus Mineral- oder humosen Sandböden ( $> 2$  dm) eines Tages aus, und zwar selbst bei intensiver Nutzung. Vorher kommt dort die Moorbodenbildung weitgehend einem Abbau an organischer Komponente gleich.

Besonders in die Augen fallend ist nach der Entwässerung von Mooren und auf Neukulturen das Phänomen der Moorsackung. Dasselbe ist darin begründet, daß durch Entwässerung der Auftrieb der Torfe im Wasser um das Ausmaß der Grundwasserabsenkung vermindert, d.h. die Spannung (= Setzung) erhöht wird. Damit tritt eine entsprechende Verminderung der einzelnen Torf- und Mudde-lagen und ihrer Mächtigkeit insgesamt ein.

Demgegenüber ist der Torfschwund zwar weniger augenfällig, aber die damit stetig einhergehenden Verluste an wertvoller Bodensubstanz (Mineralisierung) und die stärkere Zersetzung und Humifizierung, d.h. die Wandlung zu einem stabileren, feinkörnigeren, allerdings zur Vermüllung neigenden Gefüge wirken sich aber auf die Leistung und Ertragssicherheit der Moorkulturen immer nachteiliger aus; denn damit werden nicht nur die hydrologischen, sondern auch die thermischen Verhältnisse gegensätzlicher. Der Torfschwund tritt vor allem bei anhaltender Ackernutzung ein, und zwar um so stärker und in um so größere Tiefe, desto kalkreicher Torfe oder Anmoor von Natur sind oder desto stärker hochmoorartige Kulturen überkalkt werden. Dieser Torfschwund macht anfangs selbst auf ordnungsgemäß aufgekalkten Hochmoor- und Sandmischkulturen jährlich einen Höhenver-

lust von etwa 10 cm aus und kann deshalb mit der Zeit den Verlust an Höhenlage durch Sackung sogar übertreffen.

Der größte Torfschwund erfolgt ohne Frage durch Abtorfung, und damit tritt meistens auch der größte Verlust an Höhenlage ein. Vielfach wird die Abtorfung vor allem in wurzelechten Hochmooren soweit betrieben, daß nach der Urbarmachung des dabei resultierenden Leegmoores, d.h. der nach der Abtorfung verbleibenden Torflagen, nur noch von Anmoor die Rede sein kann.

Verständig betrieben und begrenzt führt die Abtorfung zu einer bemerkenswerten Verbesserung der ganzen Wachstumsvoraussetzungen.

**Auch durch Bedeckung** und Vermischung mit Mineralboden, werden die Wachstumsvoraussetzungen auf Moorprofilen mehr oder weniger durchgreifend verändert.

Durch Erosionsvorgänge der einen oder anderen Art können Moore während ihrer Entstehung bei Naturkatastrophen oder auch im Laufe der Zeit so stark mit Mineralboden durchsetzt oder bedeckt werden, daß einzelne Schichten oder ihre oberste Lage die Beschaffenheit des Anmoores bekommen und damit -auch im Hinblick auf ihre Nutzung - als Moore "verschwinden". Das gilt erst recht bei einer so starken Bedeckung mit Mineralboden, daß sie darunter gewissermaßen "begraben" werden.

Auch der Mensch läßt Moor und Anmoor in allen den Fällen "verschwinden", in denen er sie beispielsweise unter Mineralbodenkippen oder Spülfeldern "beerdigt", oder es aus Unverstand durch starken Mineralbodenauftrag tut in der Vorstellung, damit "aus dem Wasser herauszukommen", eine genügende Tragfähigkeit zu erzielen oder nur dadurch "Kulturboden schaffen zu können". Das kann der Fall sein, führt aber ebenso oft zu einer Verschlechterung der ganzen Ökologie.

Deshalb ist bei der Zufuhr von Mineralboden weise Mäßigung geboten. Dieselbe sollte nur so stark erfolgen, daß entweder auf Niedermoor Sanddeckkulturen oder auf Hochmoor Sandmischkulturen resultieren, einerlei, ob der Mineralboden von der Seite zugeführt oder dem Liegenden entnommen wird.

## Stellung von Moor- und Anmoor (-böden) in einer Systematik der Böden Deutschlands

Mückenhausen (8) faßt in seiner Schrift "Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland" die "Böden mit gleicher Hauptrichtung, d.h. mit der gleichen Einwirkungskraft des Wassers" in "Abteilungen" zusammen. Folgerichtig müßten die Moore, wie es darin mit Anmoor erfolgt ist, den betreffenden Abteilungen zugeordnet werden, und zwar teils der "B. Semiterrestrische Böden", teils der "C. Subhydrische Böden".

Trotzdem hält Mückenhausen eine besondere Abteilung "D. Moorböden" aus gutem Grunde für gerechtfertigt; denn

1. Dieselben sind weitaus überwiegend durch den Vorgang der Vertorfung sedimentär und nur zum geringeren Teil sedimentär entstanden, ihre Böden aus Torfen, also gewissermaßen aus organogenen Gesteinen.
2. Dank ihrer weitaus überwiegend organogenen und ausgesprochen kolloiden Bodenkomponente bieten sie gegenüber den anderen Böden als Pflanzenstandorte mancherlei Eigentümlichkeiten, weisen nach Eingriffen von Menschenhand vor allem eine weit regere Bodendynamik als jene auf und sind selbst kurzfristige einschneidenden Wandlungen vom einen zum anderen Moortyp, -richtiger Moorkulturtyp unterworfen.

Beides gilt für Anmoor zwar nur in abgeschwächtem Maße. Trotzdem steht es den ausgesprochenen Moorböden in manchen Eigentümlichkeiten näher als den Mineralböden. Deshalb müßte es folgerichtig ebenfalls in dieser Abteilung D und teils in Abteilung "A. Terrestrische Böden", teils in Abteilung "B. Semiterrestrische Böden" eingereiht werden.

## Grundsätzliche Gliederung von Moor und Anmoor in einer Systematik der Böden Deutschlands +)

Versteht man unter Böden "beliebige dreidimensionale Ausschnitte aus der Pedosphäre von der Streu bis zum Gestein" und in unserem Fall die von der Luft durch Wasser - nicht nur unter Wasser - abgeschlossenen, deshalb seit ihrer Entstehung kaum mehr beeinflussten Torfe als "Organogenes Gestein", dann bieten

---

+ ) Die endgültige Einstufung bzw. Rangordnung bleibt gemeinsamen Überlegungen mit Prof. Dr. Mückenhausen bzw. der Arbeitsgruppe der DBG "Bodensystematik" vorbehalten.

sich auch für uns die drei Moorarten als Klassen (a-c) an, ergänzt durch eine weitere Klasse "d Anmoor", und zwar in folgender Reihe:

- a Hochmoor
- b Übergangsmoor
- c Niedermoor
- d Anmoor.

Die Moorart sagt jedoch moorkulturell, also für die angewandte Bodenkunde deshalb nicht genug aus, weil sie nur die obersten, durchwurzelten Torflagen charakterisiert.

Für die anthropogen ausgelöste Bodendynamik und die damit einhergehende typologische Wandlung des Standortes sind vielmehr Torffolge, Mächtigkeit der einzelnen und der Torflagen insgesamt und Beschaffenheit ihres Liegenden ausschlaggebend. Im Hinblick darauf ist eine weitere Unterteilung in Moortypen und Anmoortypen um so mehr begründet, als damit zugleich die Genese noch differenzierter dargetan wird als durch die Moorart (Klasse), allerdings mit dem Unterschied, daß in einem Fall (Klasse a-c) ausschließlich die Stratigraphie, im anderen Fall (Klasse d) vornehmlich die mehr oligo- oder mehr eutrophe Beschaffenheit der organischen Komponente, wenn auch in gewisser Korrelation mit derjenigen der mineralischen Bodenkomponekte, die Kriterien abgeben muß. Bei der Herausbildung dieser Typen sprechen neben dem Relief des liegenden Mineralbodens zudem spezifische, in erster Linie klimatologisch und hydrologisch bestimmte Bodenbildungsprozesse und spezifische Eigenschaften des Ausgangsmaterials (Oligo- oder Eutrophie zur Zeit der Torfbildung) mit.

Für Wasserhaushalt und Klima im Boden und in der bodennahen Luft aber ist die Mächtigkeit der Torflagen insgesamt ebenso bedeutungsvoll wie für die Frage, ob man bei der Urbarmachung den Weg der Schwarzkultur gehen und die Grünlandnutzung anstreben muß, oder ob man dabei Mineralboden zu Hilfe nehmen soll und danach auf Sandmisch- bzw. Sanddeckkulturen auch längere Zeit ackern kann. Das legt eine Dreigliederung in die Subtypen  $< 8$  dm, 8-12 dm,  $> 12$  dm Torf (nach Vorentwässerung und Hauptsackung gemessen) nahe; damit bekommt man u.a. auch ein Urteil darüber, ob eine Abtorfung lohnt oder nicht.

Für die gleiche Frage bzw. Bewertung ergeben sich weitere Modifikationen mit der Stärke etwaiger Mineralbodenbeimengungen bzw. Mineralbodendecken oder -horizonte, ob von feinerer oder gröberer Körnung, sowie vor allem auch mit der Be-

schaffenheit des liegenden Mineralbodens, mit seinen mehr oder weniger ausgeprägten, verdichteten und wassertragenden Horizonten. Auf Grund dieser Eigentümlichkeiten kann man deshalb mit Fug und Recht in Varietäten gliedern. Die Beschaffenheit (Körnung) des Mineralbodenanteils liefert das Kriterium für Subvarietäten. Dabei ist es zwar letzten Endes einerlei, ob der Mineralbodenanteil naturgegeben oder von Menschenhand zugeführt ist. In einer Systematik sollten aber die anthropogenen Moorböden (Moorkulturtypen), "welche durch die unmittelbare Arbeit des Menschen eine so starke Umgestaltung erfahren haben, daß die ursprüngliche Horizontfolge weitgehend verloren ging" (Mückenhausen), auch in die für sie zutreffenden Abteilungen der anderen Böden eingegliedert werden.

Den lithogenen Ergänzungen der pedogenetischen Kriterien bei Mineralböden entsprechen als Formen bei Moor und Anmoor in etwa die Torfarten (als Ausgangsgestein) und ihre mehr oder weniger weit fortgeschrittene Zersetzung (H = Humifizierung nach v. Post, Tab. 2) bzw. Mineralisierung. Die Formenfülle ist jedoch auch in diesem Fall schier unübersehbar, so daß man in einem Schema nur die jeweils wichtigsten Torfarten aufführen kann und man sich bei der Charakterisierung nach ihrem Zersetzungsgrad, wie es auch aus praktischen Erwägungen genügt, mit der Unterteilung in "wenig ( $< H 4$ ), mittelmäßig ( $H 4-7$ ) und stark ( $> H 7$ ) zersetzt" begnügen sollte.

Was die heute vertretbaren Moor- und Anmoorkulturtypen bzw. die vertretbaren Urbarmachungs- und Nutzungsverfahren anbetrifft, so mag hier die Zusammenstellung der Tabelle 3 genügen.

#### Schematische Gliederung von Moor und Anmoor (-böden)

Damit ergibt sich für die Systematik von Moor und Anmoor in Anlehnung an Mückenhausen (8) folgendes Schema:

##### D Moore

###### a) Hochmoor

als Verlandungsmoor begonnen

I Hochmoortorf über Übergangs- und Niedermoortorf auf Mudden als Versumpfungsmoor begonnen

II Hochmoortorf über Übergangs- (Niedermoor-)torf unmittelbar auf Mineralboden

III Hochmoortorf ohne nennenswerte Übergangsmoortorfe unmittelbar auf Mineralboden (wurzelechtes Hochmoor)

- b) Übergangsmoor
  - I auf Verlandungsmoor
  - II Versumpfungsmoor auf Mineralboden
  
- c) Niedermoor
  - I Verlandungsmoor über Mudden
  - II Versumpfungsmoor ohne voraufgegangene Muddebildung über Mineralboden

Die weitergehende Gliederung in Subtypen, in Varietäten, Subvarietäten und Formen kann für sämtliche Moortypen einheitlich erfolgen:

- (I) > 12 dm Torf
- (II) 8 - 12 dm Torf
- (III) < 8 dm Torf

- 1 Ohne nennenswerte Mineralbodenanteile
- 2 Mit Mineralboden durchsetzt
- 3 Mit Mineralboden bedeckt
- 4 Ohne störende Horizonte bzw. Schichten im Untergrund
- 5 Untergrund stark horizontiert bzw. geschichtet
  - (1) Mineralbodenanteil bzw. -untergrund sandig
  - (2) Mineralbodenanteil bzw. -untergrund tonig
  - (3) Untergrund festes Gestein.

Als Formen sind den Moortypen (D, a-c) (I-III) in erster Linie diejenigen Torf- und Muddearten zuzuordnen, wie sie den Darstellungen von Weber und der Zusammenstellung von Große-Brauckmann (Tab. 1) zu entnehmen sind, zugleich charakterisiert und bewertet nach ihrem Zersetzungsgrad (H).

Bei d) Anmoor

ist eine so differenzierte Gliederung zwar nicht denkbar, aber in folgender Weise auch für praktische Zwecke ausreichend:

- I Hochmoorartiges Anmoor
- II Übergangsmoorartiges Anmoor
- III Niedermoorartiges Anmoor

- (I) < 2 dm Torf
  - (II) 15-30% Verbrennliches wenigstens in den obersten 2 dm
- 1 Ohne schwer durchlässige Lagen im Untergrund
  - 2 Untergrund mit schwer durchlässigen Lagen
    - (1) Mineralbodenanteil bzw. -untergrund sandig
    - (2) Mineralbodenanteil bzw. -untergrund tonig
    - (3) Untergrund festes Gestein

Von dem vielfach selbst in kleineren Mooregebieten anzutreffenden bunten Neben- und Durcheinander der verschiedenen Moortypen und -subtypen mit Anmoor- und mancherlei Mineralböden vermitteln Abb. 3 und 4 ebenso eine Vorstellung wie von der vielgestaltigen Wandlung der Moortypen, wie sie sich infolge natürlicher Rückbildung oder durch anthropogene Eingriffe (Entwässerung, Urbarmachung, Abtorfung) ergeben kann (Abb. 5). In dieser Darstellung bedürfen die von Mückenhausen gebrauchten üblichen Symbole allerdings insofern einer geringfügigen Ergänzung, als für Mudde Mu gewählt und T = Torf in die drei Hauptgruppen HT = Hochmoor-, ÜT = Übergangsmoor- und NT = Niedermoor-torf aufgeteilt werden muß. Die Unterteilung in T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> usw. würde in diesem Fall zu wenig sagen.

In einem solchen Schema bieten die Klassen mit ihren Typen und Subtypen einen Ausdruck für die Genetik (die natürliche wie die anthropogene), in Ergänzung dazu die Varietäten mit ihren Subvarietäten und Formen für das Filtergerüst.

## TABELLE 1

Zusammensetzung und Gliederung häufiger Torfe und Sedimente (Mudden)  
(nach Große-Brauckmann, G., 1961 und 1962)

### Torfe nach den darin vorwiegenden Pflanzenresten

Bleichmoostorf	fast durchweg Hochmoortorf
Wollgrastorf	im allgemeinen Hochmoortorf
Sumpfbeisortf	Hoch- oder Übergangsmoortorf
Kiefernbruchtorf	meist (Hoch- oder) Übergangsmoortorf
Birkenbruchtorf	meist Übergangsmoortorf
Laubmoostorf	meist Übergangs- oder Niedermoortorf
Seggentorf	im allgemeinen Niedermoortorf, vielfach aber auch Übergangsmoortorf
Schilftorf	Niedermoortorf
Erlenbruchtorf	Niedermoortorf

### Sedimente (Mudden) nach ihrer Zusammensetzung aus organischem und mineralischem Material

1. Ohne nennenswerte mineralische Anteile: Mudde allgemein, besondere Ausbildungsformen ausgezeichnet durch
  - a) sehr hohe Elastizität (sog. "Lebermudde")
  - b) hohen Anteil an aufgearbeitetem Torf (Sog. "Torfmudde")
2. Ohne nennenswerte organische Anteile:
  - a) Süßwasserkalk (Seekreide, Alm): mehr oder weniger reines Karbonat
  - b) Süßwasserton: karbonatfrei
  - c) Süßwassermergel (Wiesenkalk, Wiesentonmergel) mehr oder weniger tonreiche Süßwasserkalke bzw. kalkreiche Süßwassertone
3. Mineralische und organische Anteile nebeneinander vorhanden:
  - a) Kalkmudde (vielfach stark elastisch: "Kalklebermudde")
  - b) Tonmudde
  - c) Mergelmudde

TABELLE 2

Zersetzungsgrade nach v. Post

H 1	=	vollständig unzersetzter Torf
H 2	=	fast völlig unzersetzter Torf
H 3	=	sehr schwach zersetzter Torf
H 4	=	schwach zersetzter Torf
H 5	=	mittelstark zersetzter Torf, Struktur deutlich
H 6	=	mittelstark zersetzter Torf, Struktur undeutlich
H 7	=	ziemlich stark zersetzter Torf, Struktur noch erkennbar
H 8	=	stark zersetzter Torf, Struktur sehr undeutlich
H 9	=	<b>fast</b> völlig zersetzter Torf, strukturlos
H 10	=	völlig zersetzter Torf

## LITERATURVERZEICHNIS

1. Baden, W., 1961: Beurteilung und Düngung von Moor und Anmoor. Ruhrstickstoff AG., Bochum
2. Baden, W., 1963: Altbekannte Lehren der Moor- und Anmoorkultur im Lichte neuer hydrologischer und kulturtechnischer Erkenntnisse. Wasser und Boden, 15, S. 237-48.
3. Baden, W., 1965: Die Kalkung und Düngung von Moor und Anmoor, Handbuch für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. Bd. III, S. 1445-1516, Springer-Verlag, Wien - New York
4. Baden, W. u. R. Eggelsmann, 1958: Über die Regelung des Wasserhaushaltes bei Moormeliorationen und die dafür notwendigen Vor- und Folgearbeiten. Wasser und Boden, 10, S. 29-36
5. Große-Brauckmann, G., 1961: Zur Terminologie organogener Sedimente. Geol. Jb. 79, S. 117-44, Hannover
6. Große-Brauckmann, G., 1962: Zur Moorgliederung und -ansprache. Z. f. Kulturtechnik 3, S. 6-29
7. Hilpoltsteiner, L., 1958: Der Anteil des Oberbodens an organischer (verbrennlicher) Substanz in deren Raumwirkung gesehen. Mitt. Landeskultur, Moor- und Torfwirtschaft, 5 (4-6), S. 51-54
8. Mückenhausen, E., 1962: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
9. Overbeck, F., 1942: Über den Aufbau und die regionale Gliederung der industriewürdigen Moore in Nordwestdeutschland. - Ber. z. Raumforschung und Raumordnung, 7, Moor und Torf in der Raumordnung, Verl. K. F. Köhler, Leipzig

10. Scheffer, F. u.P. Schachtschabel, 1960:

Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde.  
1. Teil Bodenkunde, Stuttgart

11. Weber, C.A., 1903:

Über Torf, Humus und Moor. Versuch einer Begriffsbestimmung mit Rücksicht auf die Kartierung und die Statistik der Moore. Abh. Naturw. Verein Bremen, 17, 2- S. 466-84, Bremen

Die heute vertretbaren Moor- und Anmoorkulturtypen (Urbarmachungs- und Nutzungsverfahren)

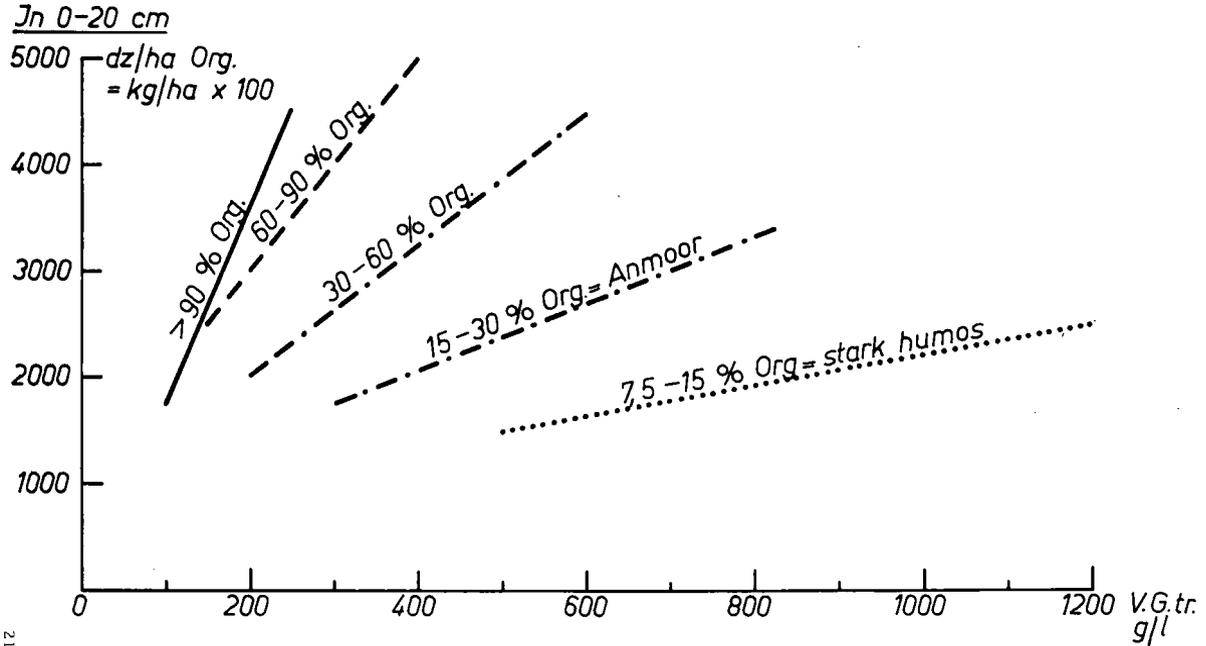
Tab. 3

Moorkulturtyp und Urbarmachungsverfahren	Natürlicher Kalk-, Säure- u. Nährstoffzustand	Grabenböschung	Binnenentwässerung	Zweckmässige Nutzung
<u>Gewachsenes Profil ohne nennenswerte Mineralbodenanteile</u>				
Niedermoorschwarzkultur ohne Umbruch oder bei nur 2-3 dm tiefer Pflugfurche	Kalkreich, schwach sauer bis neutral, stickstoffreich, bisweilen auch reich an anderen Nährstoffen	1 : 1,5 1 : 2,0	Dränung (mittel) oder offene Gräben	Dauergrünland, Acker allenfalls, solange Torfe erst wenig zersetzt
Deutsche Hochmoorkultur bei nur etwa 2 dm tiefer Bearbeitung <sup>††)</sup>	Kalkarm, sehr stark sauer, an lösl. Stickstoff zieml. arm u. auch an übrigen Nährstoffen arm	1 : 0,2	Volldränung(mittel) offene Sammler Volldränung(mittel-eng)	Acker nur solange Torfe erst wenig zersetzt, sonst Grünland, Weide
<u>Gewachsenes Profil, mit Schlack stärker durchsetzt oder bedeckt</u>				
Moormarsch ohne Umbruch oder nur bei 2-3 dm tiefer Bearbeitung	Je nach mehr niedermoorartiger od. hochmoorartiger Beschaffenheit, vielfach jedoch kalireicher	1 : 1 - 1 : 1,5	Dränung(mittel-weit) od. offene Gräben (Verockerungsgefahr)	Dauerweide, Acker bei entspr. Entwässerung zeitweise möglich
<u>Nach tiefgreifender Umwandlung unter Zuhilfenahme von Mineralboden erwachsene Kulturprofile</u>				
Maschinelle Niedermoorsanddeckkultur	Kalk- u. stickstoffreich, i. übrigen nährstoffarm	1 : 1,5	Dränung(mittel-weit) od. offene Gräben	Acker, weizen-u. zuckerrübenfähig, solange Sanddecke erhalten bleibt, Torfe nicht anpflügen
Horizontal geschichtete Sandmischkultur hochmoorartiger Beschaffenheit (Holl. Fehnkultur, Kuhlmaschine, Baggerkuhlung)	Kalkarm, stark sauer u. nährstoffarm	1 : 1	Bedarfsdränung <sup>†)</sup>	Acker, gerste-u. zuckerrübenfähig i. Wechsel m. mehrjähr. Klee gras, solange eine einheitl. stark humose Krume u. ausreichende Vorflut bewahrt bleiben. Sonst Grünland, Mähweide
Schräg geschichtete Sandmischkultur hochmoorartiger Beschaffenheit (Dt. Sandmischkultur, Tiefpflugkultur)	Kalkarm, stark sauer u. nährstoffarm	1 : 1,5	Bedarfsdränung <sup>†)</sup>	Acker, gerste- u. zuckerrübenfähig, ggf. i. Wechsel mit kurzlebigen Klee gras, Dauerweide
<u>Anmoorkultur</u>				
Niedermoorartiges Anmoor (ohne Umbruch od. bis 4 dm tiefe Pflugfurche)	kalk- u. stickstoffreich	1 : 1,5	Bedarfsdränung <sup>†)</sup>	Grünland, Acker
Hochmoorartiges Anmoor (4 dm tiefe Pflugfurche u. Untergrundlockerung)	kalkarm, stark sauer u. nährstoffarm	1 : 1,5	Bedarfsdränung <sup>†)</sup>	Acker, ggf. i. Wechsel mit kurzlebigen Klee gras

<sup>†)</sup> Bei sehr tief gepflügten Moorprofilen (Pflugtiefe > 1,5 m) mit schon stärker zersetzten Torfen und nur geringen Sand Beimengungen, in denen außerdem die Vorfluter nicht bis in den Sanduntergrund einschneiden können, sowie bei solchen Profilen, bei denen der mineralische Untergrund größere Anteile an Schluff u. Ton enthält, ist eine Volldränung erforderlich (mittel-eng)

<sup>††)</sup> Ohne genügend wenig zersetzten Hochmoortorf Besandung aus dem Untergrund mittels Kuhlmaschine, dann meistens Dränung nicht erforderlich

Beziehung zwischen % Org. in der Bodentrockenmasse,  
Vol. Gew. tr. und dz Org. (kg/ha x 100) in 0-20 cm Tiefe.  
Intervalle aus einer großen Anzahl Analysen  
der Moor-Versuchsstation in Bremen



Beziehung zwischen Gew.- u. Vol. %  
des Verbrennlichen (Torf, Humus)  
im Oberboden 0-20cm (n. Hilpoltsteiner)

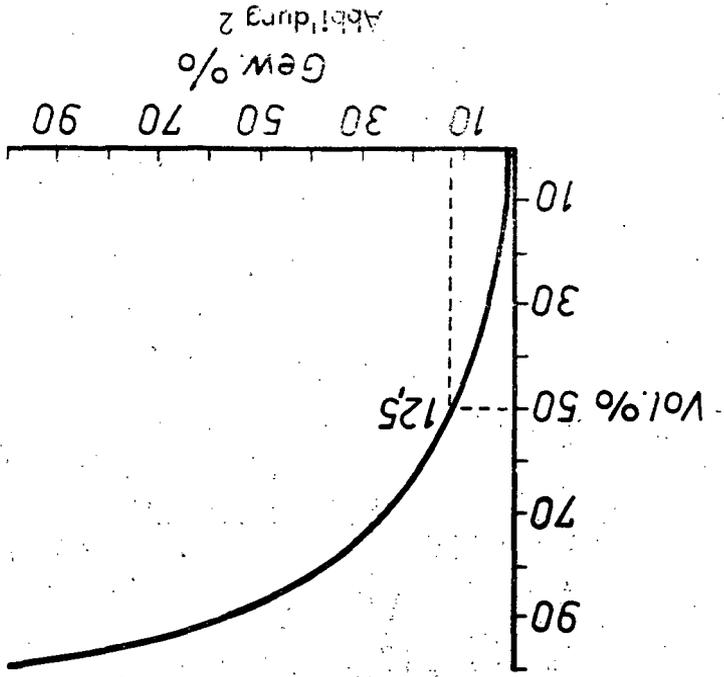
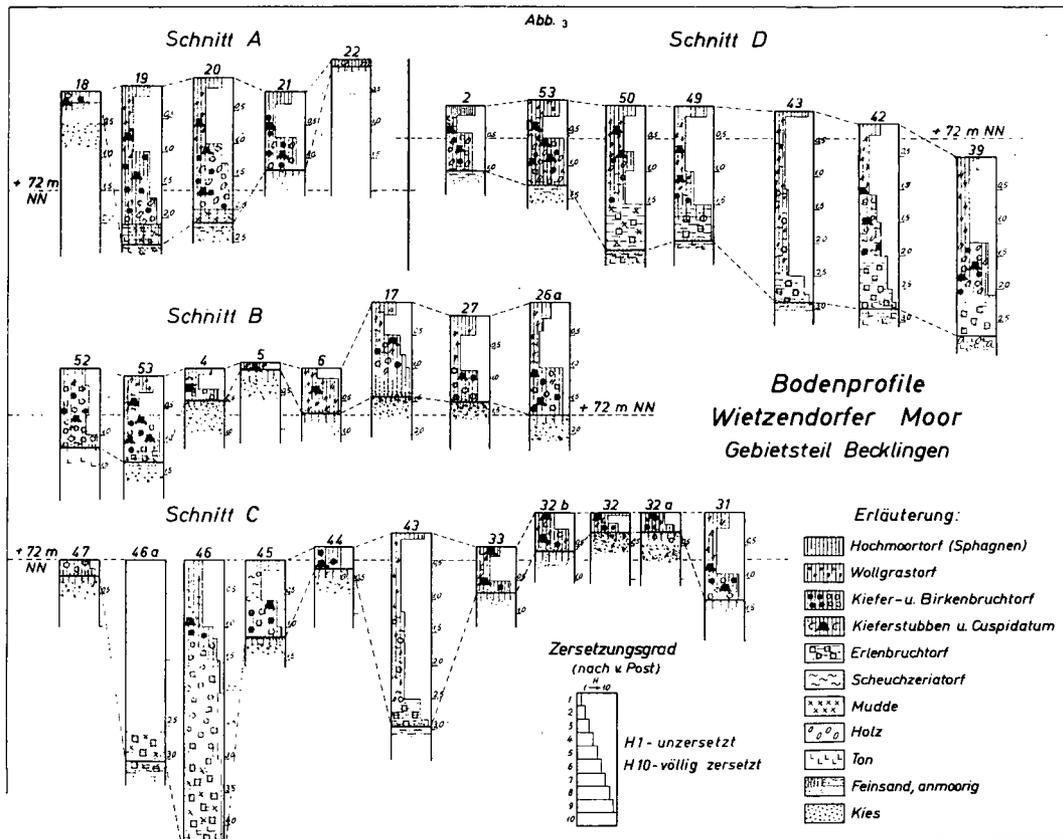


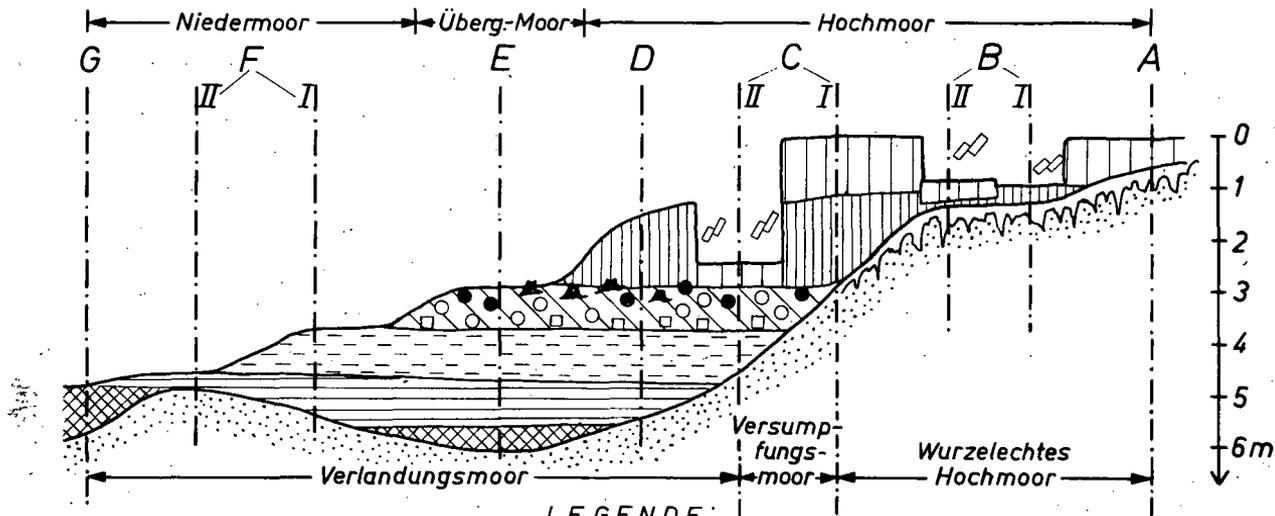
Abbildung 2

Gew. %



# Wichtigste Moorprofile (Moortypen) Nordwestdeutschlands

(Nach W. BADEN u. R. EGGELSMANN 1958)



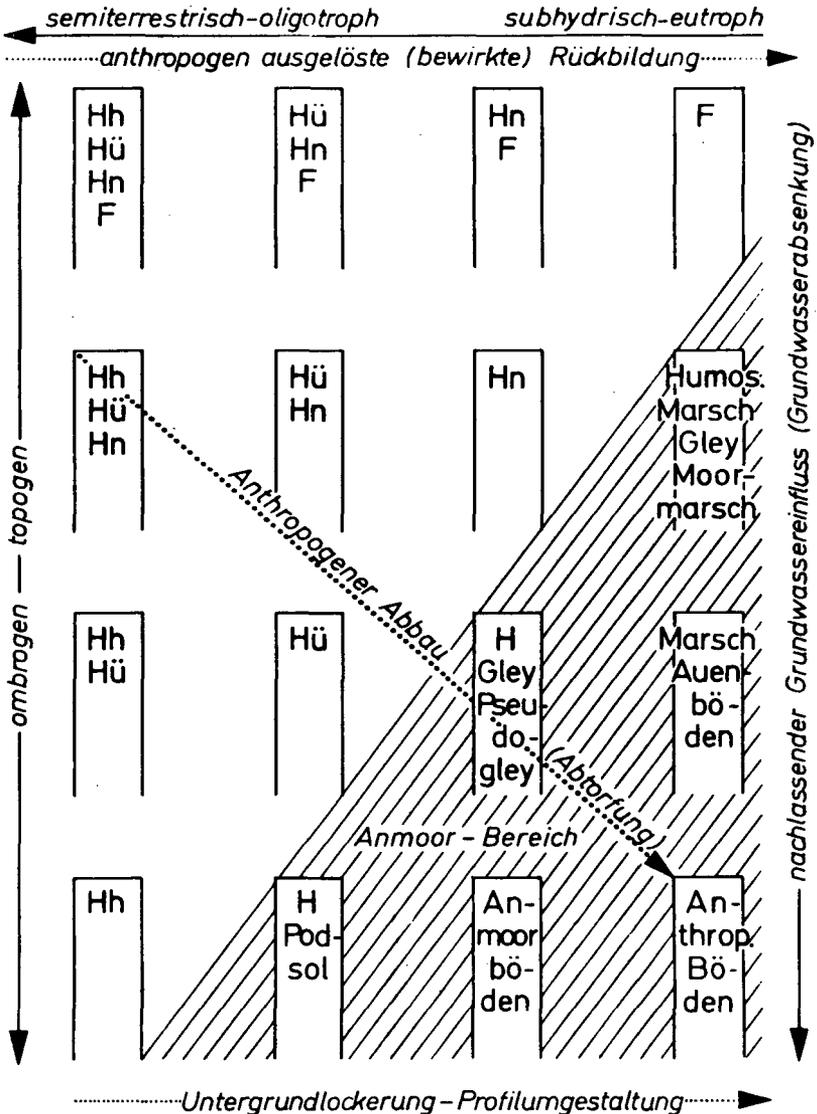
## LEGENDE:

- |  |                                    |  |                |  |            |
|--|------------------------------------|--|----------------|--|------------|
|  | wenig zers. Hochmoor (Weißtorf)    |  | Schilftorf     |  | Birkenholz |
|  | stark zers. Hochmoor (Schwarztorf) |  | Mudden         |  | Erlenholz  |
|  | Bruchtorf                          |  | Kiefernstubben |  | Sand       |
|  | Seggentorf                         |  | Kiefernholz    |  | Ortstein   |

Abbildung 4

*Schematische Darstellung der Übergangsbildungen zwischen den wichtigsten Moortypen u.- subtypen bis zum Anmoor mit darunter häufig liegenden Mineralböden*

*Die ausgezogenen Linien geben die natürliche Entwicklung bzw. Rückbildung an, die gepunkteten die anthropogen ausgelöste bzw. bewirkte Rückbildung*





## Tonverlagerung in den Unterboden entlang von Regenwurm- röhren

Banse, H. J. und Graff, O. <sup>+)</sup>

Auf dem Versuchsfeld "Südgelände" der FAL wurden im Winter 1959/60 Untersuchungen über den Abbau von Getreidestroh im Boden bei unterschiedlichem Tonanteil eingeleitet. Die ausgewählte Parzelle hatte in der Krume einen Tonanteil von 7-8%, der durch Einmischen von Calcium-Bentonit (40 kg lufttrocken je 1m<sup>2</sup>) in einigen Teilstücken angereichert wurde. Gleichzeitig sind 2,5 kg und in den Folgejahren jeweils 1 kg Getreidestroh mit N-Zusatz in organischer Bindung (Blutmehl, Fischmehl) je 1 m<sup>2</sup> dem Boden zugeführt worden. Dadurch stieg die Regenwurmpopulation stark an; darunter vor allem die Art Lumbricus terrestris Linnaeus, welche in Völknerode Röhren bis über 2 m Tiefe anlegt. Die Nahrungsaufnahme der Würmer erfolgt an der Bodenoberfläche oder innerhalb der Krume, wo organische Stoffe vorhanden sind, doch wird immer Mineralboden mitgefressen.

Exkrementen (Wurmlosung) werden teils an der Bodenoberfläche oder innerhalb der Krume abgelegt, teils zur Auskleidung der Wohnröhren im Unterboden verwandt. Insbesondere geschieht dies in Böden oder Bodenhorizonten, wo infolge Überwiegens der Sandfraktion die Röhren ohne eine solche "Tapete" wenig Stabilität besitzen würden.

Es war nun zu erwarten, daß mit den zur Auskleidung der Röhren verwendeten Wurmexkrementen auch Tonanteile aus der Krume in den Unterboden verlagert würden. Dies wurde zunächst durch Schlämmanalysen (nach De Lenheer) überprüft (Tabelle 1) und es konnte in dem auf die Krume folgenden Tiefenbereich von 25 - 50 cm eine signifikante Anreicherung der Tonfraktion in der Röhrenauskleidung gefunden werden. Diese besteht gegenüber dem umliegenden Bodenmaterial wie auch gegenüber den Röhrenabschnitten, die in der gleichen Tiefe auf

---

+) Institut für Humuswirtschaft, Braunschweig-FAL, Bundesallee 50.

dem nicht mit Ton angereicherten Teilstück ausgegraben wurden. Im natürlich gelagerten Boden ist von 25 - 100 cm Tiefe keine Zunahme der Tonfraktion zu verzeichnen.

Im übrigen lassen sich diese im Material der Röhrenauskleidung gefundenen Unterschiede auch an den Werten der Austauschkapazität ablesen (Tabelle 2).

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß die Röhrenauskleidung in den tieferen Bodenbereichen (50 - 75; 75 - 100 cm) im Tongehalt gegenüber den Röhrenabschnitten zwischen 25 - 50 cm stark abfällt. Demnach muß es fraglich erscheinen, ob die Tonanreicherung in den Auskleidungen eine direkte Folge der Wurm-tätigkeit darstellt, denn es wäre nicht zu verstehen, daß die Würmer in verschiedenen Tiefen Exkrememente verschiedenen Tongehalts ablegen. Vielmehr liegt es nahe, die Tonverlagerung auf Wasserbewegung zurückzuführen.

Mikromorphologische Untersuchungen an Hand von Bodendünnschliffen konnten diese Annahme einstweilen noch nicht stützen. Sie ergaben indessen, daß der aus der Krume in die Gängauskleidungen tieferer Bodenbereiche verlagerte Bentonit hier stets in Form größerer oder kleinerer Aggregate vorliegt und stets mit wechselnden Anteilen unterschiedlicher organischer Substanzen vermischt ist.

Tabelle 1: Ergebnisse der Schlämmanalysen der Röhrenauskleidung und des umgebenden Bodens in 4 Bodentiefen

M i t B e n t o n i t

Tiefe cm	Röhrenauskleidung				Boden			
	Gs	Fs %	Sch	T	Gs	Fs %	Sch	T
0 - 25					18.1	50.9	14.1	16.9
25 - 50	22.7	54.7	11.7	10.9	19.5	59.7	13.6	7.2
50 - 75	27.0	55.7	9.6	7.7	25.5	57.3	12.6	4.6
75 - 100	39.0	46.8	7.1	7.1	45.0	43.1	5.0	6.9
O h n e B e n t o n i t								
0 - 25					20.3	56.6	15.2	7.6
25 - 50	23.7	56.4	13.3	6.6	22.0	58.8	12.9	6.3
50 - 75	30.5	57.4	8.7	5.4	34.7	51.9	8.0	5.4
75 - 100	41.0	44.1	8.9	6.0	45.5	39.3	7.1	8.1

Gs = Grobsand 2000-200 u, Fs = Feinsand 200 -20 u,  
Sch = Schluff 20-2 u, T = Ton < 2 u.

Tabelle 2: Austauschkapazität der Auskleidungen von Regenwurmröhren und des umgebenden Bodens in 4 Bodentiefen

T- und H-Werte

M i t B e n t o n i t

Tiefe cm	Röhrenauskleidung		Boden	
	T	H	T	H
0 - 25			19.9	1.4
25 - 50	11.8	2.4	5.2	2.0
50 - 75	6.3	1.8	2.9	1.0
75 - 100	4.9	2.2	3.8	1.8
O h n e B e n t o n i t				
0 - 25			7.8	2.4
25 - 50	6.0	1.6	4.7	1.8
50 - 75	4.7	1.6	3.6	1.0
75 - 100	4.5	1.8	4.1	1.4



## Anthropogene Oberflächenformen in der Marsch

J.-H. Benzler +)

Von Natur aus sind die Marschen eine ebene Landschaft, wenn man von den geringen Höhenunterschieden zwischen den Uferwällen an Rinnen und Prielen und dem rinnenfernen Hinterland absieht. Im Verlauf der jahrhundertelangen landwirtschaftlichen Nutzung der Marschen wurde dieser natürliche Zustand durch kulturtechnische Maßnahmen weithin zerstört. Bei Kartierungsarbeiten ist es in manchen Gebieten schwierig, noch völlig ungestörte Bodenprofile zu finden. Es erleichtert das Auffinden solcher ungestörter Profile sehr, wenn man die verschiedenen Arten der Kultivierungsarbeiten kennt. Auf einige soll im folgenden eingegangen werden.

Soweit die örtlichen Verhältnisse, vor allem ein hoher Grundwasserstand, in der Vergangenheit nur Grünlandnutzung, Weide oder Wiese, zuließen, wie es in weiten Teilen des ostfriesischen Sietlandes der Fall war, sind die menschlichen Eingriffe nur gering. Sie beschränken sich auf die Anlage der Gräben und Grüppen. Der Aushub wurde gleichmäßig über die Flächen verteilt, die ihre ebene Oberfläche behielten.

In den Gebieten, in denen, wie in der Elbmarsch, Ackerbau geplant war, wurden die Flächen durch eine Vielzahl von Gräben in lange, schmale Streifen aufgeteilt und mit dem Grabenaushub die einzelnen Beete aufgewölbt. Höhenunterschiede bis zu einem Meter vom Graberrand bis zur Beetmitte sind keine Seltenheit.

Eine Sonderform der gewölbten Beete findet sich in der Süder-Osterstader Marsch an der Unterweser. Hier sind mächtige Torfe von wenigen Dezimetern Klei überlagert. Mit Grabenaushub, der aus Torf bestanden hätte, ließen sich die Beete nicht aufhohen. Man half sich, indem man nur den mittleren Teil der Beete aufhöhte mit Klei, den man auf den Randstreifen der Beete bis fast auf den Torf ab-

---

+) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

grub. Die Randstreifen kamen dadurch zwar in starken Grundwassereinfluß, die Beetmitte ließ sich aber ackern. Bei dem großen Mangel an Ackerland in dieser Gegend war diese Notlösung in vergangenen Zeiten ein Erfolg.

Für die moderne maschinelle Bewirtschaftung bieten sowohl die Beetwölbung wie auch die vielen Gräben große Hindernisse. Deshalb werden beide heute nach verschiedenen Methoden mehr oder weniger beseitigt.

Bodenentwicklung auf Karbonatgesteinen im südlichen Oberrheingraben. - Ein Beitrag zur Systematik der Rendzina-Reihe

W. E. Blum

1 Problemstellung und Abgrenzung des Themas

Ziel der Untersuchung war zunächst die analytische Erfassung der Veränderungen mineralischer Bodenkomponenten insbesondere des Nichtkarbonatanteils der Sedimentgesteine bei der Bodenentwicklung.

Außerdem wurde untersucht inwieweit die Humusentwicklung mit der Veränderung der Mineralkomponente parallel geht und ob genetische Beziehungen zwischen Humuszustand und Veränderung des Nichtkarbonatanteils bestehen.

Aus den Ergebnissen sollte durch Quantifizierung sedimentogener und pedogener Entwicklungstendenzen an bodeneigenen Merkmalen Aussagen über Art und Entwicklungsgeschwindigkeit der Bodenbildung (induktiv) geworden werden. - Nach einer Reihe jüngerer Arbeiten zur Art und Geschwindigkeit der Karbonatverwitterung und Bodenbildung erschien es notwendig, die Untersuchungen auch auf den kolloidchemischen und mineralogischen Sektor auszudehnen (s. BLUM, 1968).

2 Methoden

2.1 Anlage der Versuche und Probenahme im Gelände

Für die Untersuchungen wurden 42 Bodenprofile auf sehr verschieden zusammengesetzten Sedimentgesteinen ausgewählt, für die genetischen Untersuchungen nur der Gesteinsfaktor variiert und die Profile in ebenen, erosionsfreien Kuppenlagen verschiedener Flächenausdehnung (s. Darst. 1) unter natürlicher Vegetation (Fageten) untersucht. - Die Probenahme erfolgte von 5 zu 5 cm. Vom Ausgangsgestein jedes Profils wurden 30 - 50 kg für chemisch-mineralogische Untersuchungen aufbereitet.

+ Institut für Bodenkunde der Universität Freiburg/Br.

## 2.2 Laboruntersuchungen

### Gesteinsanalyse

Mit röntgenograph., differentialthermoanalyt. und -kalimetr., optischen, chemischen und physikalischen Methoden wurden bestimmt: Karbonate, Korngrößenverteilung sowie leichte und schwere Minerale in verschiedenen Korngrößenfraktionen und einzelne Elemente des Nichtkarbonatanteils (vgl. Blum/Maus, 1967).

### Bodenanalyse

Gesamtboden: Verhältnis von Feinboden zu Karbonatskelett  $> 2$  mm

Feinboden: Textur vor und nach Karbonatzerstörung nach Oxydation mit  $H_2O_2$ , pH/KCl, Karbonate, Ct, Nt, Sorption (Tanorg., Torg., V, S, mit versch. Methoden), Elemente in versch. Auszügen ( $NH_4Cl$ ,  $NH_4$ -Oxalat, Na-Dith. -Citrat, 1%-Zitronens., 3%-HCl, 10%-HCl), Biolog. Aktivität (Saccharase-Akt.) während versch. Jahreszeiten; mineralog. u. chem. Untersuchung versch. Korngrößenfraktionen (leichte und schwere Minerale); Humusextraktion bei versch. pH-Stufen und Bestimmung von C und Fe in den säure- und nichtsäurefällbaren Fraktionen sowie IR-Untersuchung der säurefällb. Fraktionen; papierelektrophoret. Auftrennung der säurefällb. Fraktionen und Best. v. Fe sowie IR-Untersuchungen an den getrennten Fraktionen (mod. Methode n. Duchaufour/Jacquin, 1966).

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden an 3 ausgewählten Profilen auf oolith. Kalkstein (Jura, dg<sub>5</sub>, einheitl. Faziesbereich) dargestellt (Abbildung, Gesamt-, Feinbodenzusammensetzung in Gew. -% sowie orograph. Situation der Profile s. Darstellung 1). - Der Nichtkarbonatanteil der Ausgangsgesteine beträgt bei Profil 1 = 2,4%, Profil 2 = 3,1%, Profil 3 = 4,5%; Lössanteil im humus- und karbonatfreien Feinboden (0 - 10 cm Tiefe) in Profil 1 =  $< 0,5\%$ , Profil 2 = 2-3%, Profil 3 = 3,5 - 4 % (Bilanzierung über Leitminerale, vgl. Blum/Maus, 1967, und mit Hilfe weiterer Methoden).

Bei der Bodenentwicklung wurden in den 3 Profilen die Tonminerale verschieden stark umgewandelt (vgl. Abb. 1-3), wobei gleichzeitig eine verschieden starke Verwitterung zu kleineren Kornfraktionen hin auftrat (vgl. z.B. Zunahme des Kaolinit in der Fraktion  $< 2 \mu$  im oberen Profilbereich durch Mineralverwitterung in der Schlufffraktion). Die Umwandlung des Illit (im Gestein detritisch aus 2M-Muskovit) verläuft über verschiedene Aufweitungsstufen (Vermiculit-Montmorillonit- und Wechsellagerungsminerale) bis zu sekundären Chloriten in oberen Profilbereichen (wobei Hinweise vorhanden sind, daß neben Al sehr wahrscheinlich auch Fe über organ. Komplexverbindungen in die Zwischenschichten eingelagert wird). Der Grad der Umwandlung und Verwitterung nimmt mit zunehmendem Entwicklungsgrad der Böden ab. Diese röntgenogr. Befunde werden durch DTA- bzw. DTK- und Sorptionsbestimmungen bestätigt. Die KUK der Tonminerale nimmt in den Profilen von unten nach oben ab, zur DTK s. Abb. 1 - 3. Der K-Entzug durch die Vegetation dürfte eine Hauptursache für diese Mineralumwandlung sein, da der Illit die einzige K-Quelle darstellt. K-Bilanzierungen am Feinboden wie an der Tonfraktion bestätigen dies (Profil 1 = ca. 1,8‰ K, Profil 2 = ca. 2,7‰ K, Profil 3 = ca. 4,5‰ K in der Fraktion  $< 2 \mu$ ; K-Gehalt des Illits der Gesteine ca. 20-25‰). Der K-Gehalt im Feinboden steigt von unten nach oben an, was auf eine Nährstoffumsetzung durch die Vegetation schließen läßt (Löbverunreinigungen durch K-Bilanzierung eliminiert). Bei langsamer Bodenentwicklung müßte daher die Umwandlung am stärksten sein, da die Horizontmächtigkeit am geringsten und damit der K-Entzug am intensivsten ist. Dabei sind gleichzeitig durch Auswaschung bei geringer Profilmächtigkeit stärkere K-Verluste als bei mächtiger entwickelten Profilen zu erwarten, da die Perkolationsgeschwindigkeit größer und damit die Fixierung des pflanzenumgesetzten K erschwert ist. Außerdem dürfte die Blockierung innerer und äußerer Oberflächen der Tonminerale durch Oxide bzw. Oxidhydrate und Huminstoffe eine entscheidende Rolle spielen. Weitere Untersuchungsergebnisse hierzu können an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Gleichzeitig wurde in den 3 Böden der "Erz"-Anteil der Schwermineralfraktion (im wesentlichen Fe-Oxide) von Profil 3 nach Profil 1 zunehmend stärker abgebaut. Hierzu gehen die Ergebnisse von Fe-Bilanzierungen am Humus parallel. Der Gehalt an humusgebundenem Fe steigt von Profil 3 über Profil 2 nach Profil 1. Die Fe-Mobilität nimmt ebenso im Feinboden von unten nach oben verschieden stark zu, was mit den o. g. Befunden in Einklang steht. Diese verschieden starke Verwitterung sedimentogener Fe-Oxide ist durch die Bikarbonatmetabolik allein nicht erklärbar. Die Ursache dürfte vielmehr in verschiedenen hohen Anteilen an niedermolekularen Säuren im Humus der unterschiedlichen Bodenentwicklungsstadien zu suchen sein, was durch die Ergebnisse der Humusextrak-

tionen und -fraktionierungen (vgl. Darstellung 2 und 3) bestätigt wird. Die elektrophoretischen Trennungen der säurefällb. Huminstoffe sowie die Fe-Best. in den getrennten Fraktionen bestätigen dies ebenfalls (in Darstellung 2 und 3 sind nur C-Werte aufgeführt). Die Verschiebung der Verhältnisse von Grau-, Intermediär- und Braunhuminsäuren (Nomenklatur n. Duchaufour/Jaquin) geht mit den verschiedenen Fe-Gehalten parallel, was die gute Eignung papierelektrophoretischer Trennverfahren zum Studium von Huminsäure-Metallverbindungen bestätigt. - Weitere Aufschlüsse über methodische Fragen (Eignung der dispersiven Extraktion mit  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  zur Bestimmung von humusgebundenem Fe) sowie eine Orientierung über funktionelle Gruppen in den verschiedenen Huminsäureextrakten konnten an den IR-Spektren der säurefällb. Fraktionen sowie den elektrophoretisch getrennten Anteilen derselben gewonnen werden (vgl. dazu Abb. 4).

#### 4 Diskussion

Die verschieden starke Umwandlung des Nichtkarbonatanteils der Gesteine, die mit der Humusentwicklung eng korreliert ist, erlaubt bei Bilanzierung sedimentogener und pedogener Merkmale Aussagen über Art und Geschwindigkeit der Bodenentwicklung. Die sedimentogenen Bodenmerkmale nehmen von Profil 3 nach Profil 1 ab, in gleicher Reihenfolge verstärken sich die pedogenen Merkmale. Daraus ist zu schließen, daß die Bodenentwicklung in den 3 Profilen verschieden schnell vor sich ging, da wie oben gezeigt die Umwandlung des Nichtkarbonatanteils bei langsam fortschreitender Bodenentwicklung beschleunigt abläuft, und die entsprechende Humusentwicklung diese Tendenz noch verstärkt. - Dies wird durch Auswertung der Versuchsanlage bestätigt, wenn man annimmt, daß durch die verschiedenen Reliefquerschnitte bedingt (vgl. Darstellung 1) vor Beginn der Bodenentwicklung keine bzw. verschieden mächtige Periglazialschuttdecken den Kuppen auflagen (vgl. auch Orientierung des Kalkskeletts in den Profilen). Ebenfalls in dieser Richtung sind die verschiedenen Nichtkarbonatanteile der Ausgangsgesteine zu deuten (vgl. Scheffer/ Welte/ Meyer, 1962). Damit ist auch indirekt zu beweisen, daß bei entsprechender Faktorenkonstellation in historischer Zeit auf Karbonatgesteinen in ebener Lage unter natürlicher Vegetation bereits das Braunlehm-Rendzina- bzw. Rendzina-Braunlehm-Stadium erreicht sein kann. Diese Feststellung wird durch weitere, hier nicht dargestellte Profiluntersuchungen bestätigt.

## 5 Zusammenfassung

1. Art und Geschwindigkeit der Entwicklung von Böden auf Karbonatgestein können an bodeneigenen Merkmalen abgeleitet werden.
2. Durch Bilanzierung sedimentogener und pedogener Bodenmerkmale unter besonderer Berücksichtigung der Humusentwicklung können Veränderungen des Nichtkarbonatanteils erklärbar gemacht und genetisch interpretiert werden.
3. Neben der Bikarbonatmetabolik scheint auch der direkte und indirekte Einfluß der Vegetation Art und Geschwindigkeit der Bodenentwicklung entscheidend zu bestimmen.

## 6 Literatur

- Blum, W.E.: Sedimentogene und pedogene Entwicklungsmerkmale von Böden auf Karbonatgestein - am Beispiel des südlichen Oberrheingrabens. Freiburger Bodenkundl. Abh., H. 1, 1968.
- Blum, W.E. und Maus, H. -J.: Mineralogische Untersuchungen an Sedimentgesteinen und Böden des südlichen Oberrheingrabens und der Schwarzwaldvorbergzone I. Mitteilung: Mineralbestand der Gesteine. - Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., 57, 175-202, 1967.
- Duchaufour, Ph. und Jacquin, F.: Nouvelles recherches sur l'extraction et le fractionnement des composés humiques. - Bull. de l'Ecole Nat. Sup. Agr. de Nancy, Tome VIII, Fasc. I, 3-24. 1966.
- Scheffer, F., Welte, E. und Meyer, B.: Die Rendsinen der mitteldeutschen Berg- und Hühellandschaften (Leine-Weser-Bergland)  
2. Mitteilung: Fraktur, Nichtcarbonatgehalt und spezifische Auflösungsgeschwindigkeit des Kalksteins als bestimmende Größen der Bodenentwicklungsgeschwindigkeit. - Z.f. Pflanz. Düng. Bodenkd., 98, 1-17, 1962.

Darstellung 1: Abbildung, Gesamt-, Feinbodenzusammensetzung u. orograph Situation (schemat.) der Profile 1 - 3

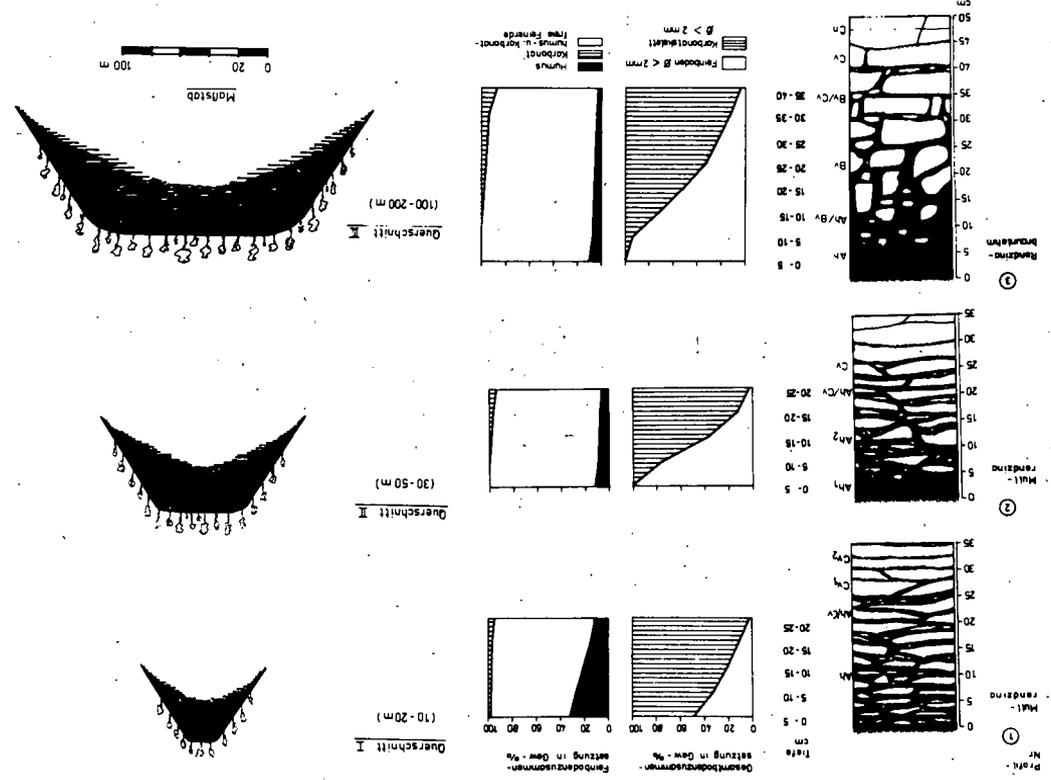


Abbildung 1

Profil ① Fraktion <math>< 2 \mu</math>

Röntgen - Textur

DTK

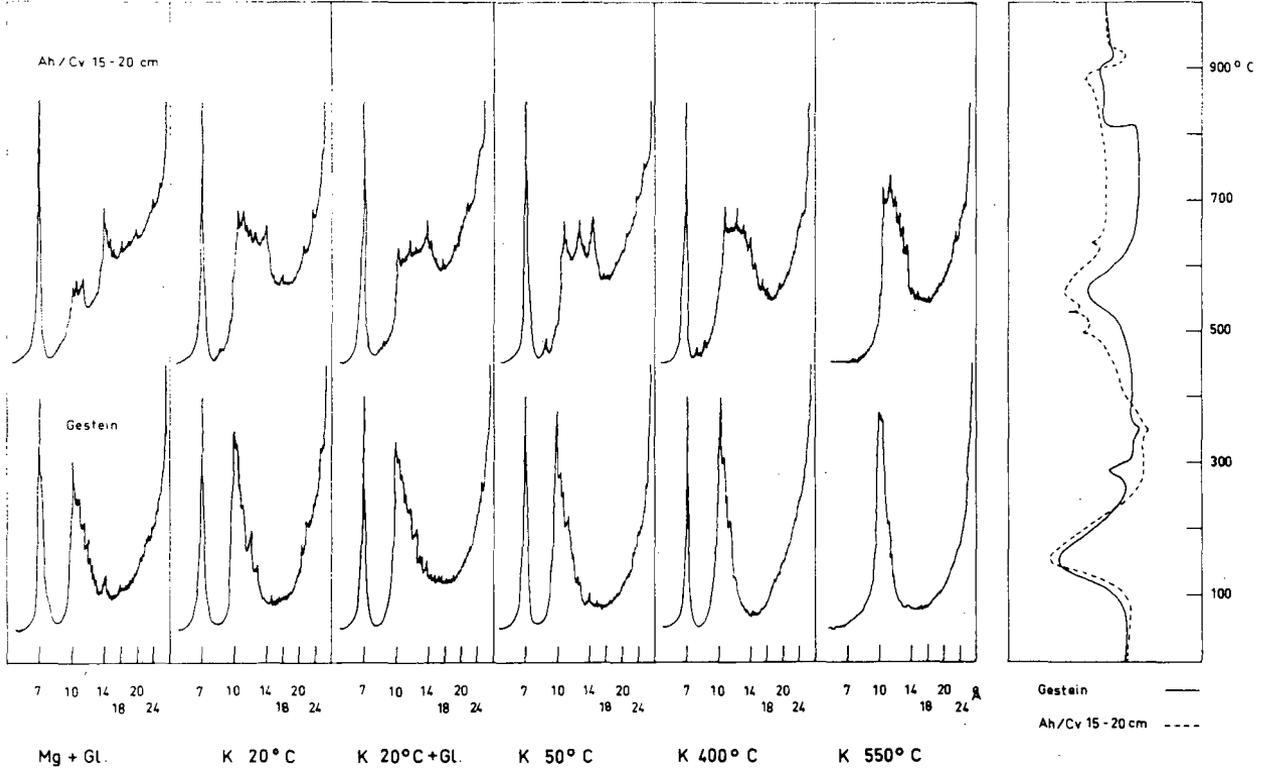


Abbildung 2

Profil ②

Fraktion < 2 μ

Röntgen - Textur

DTK

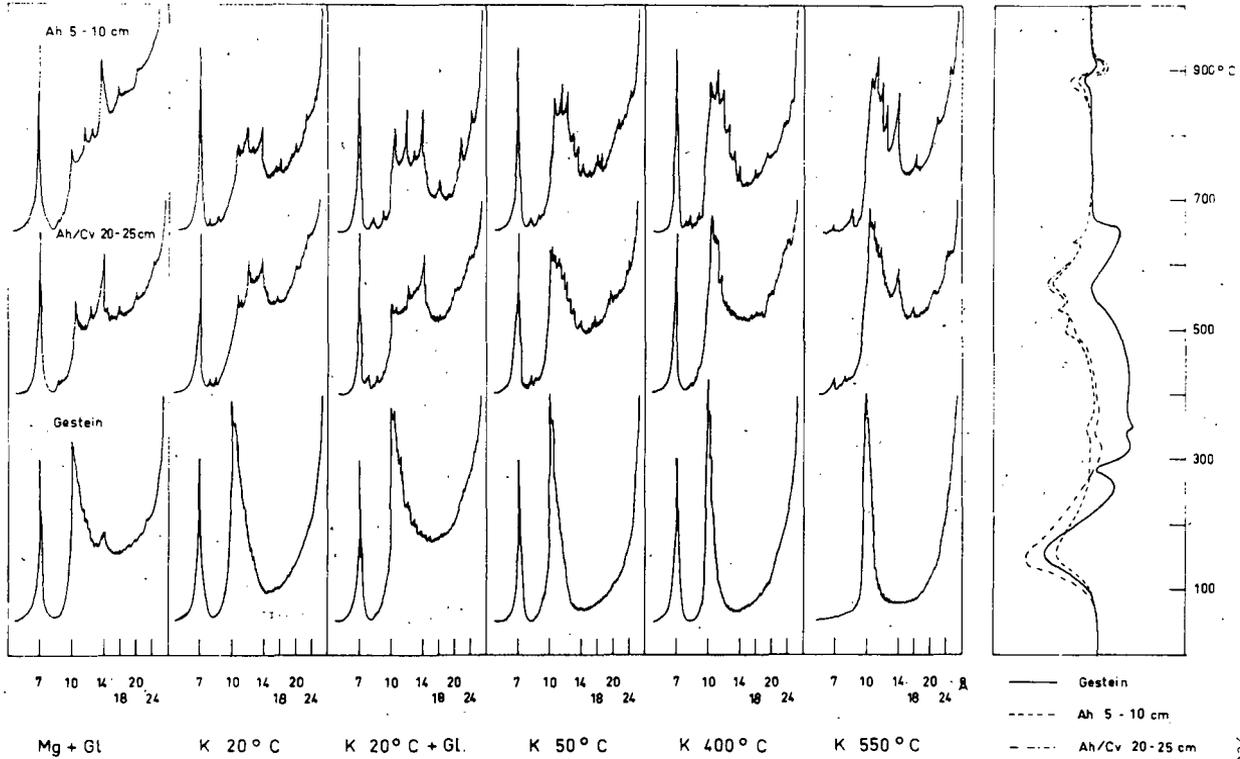
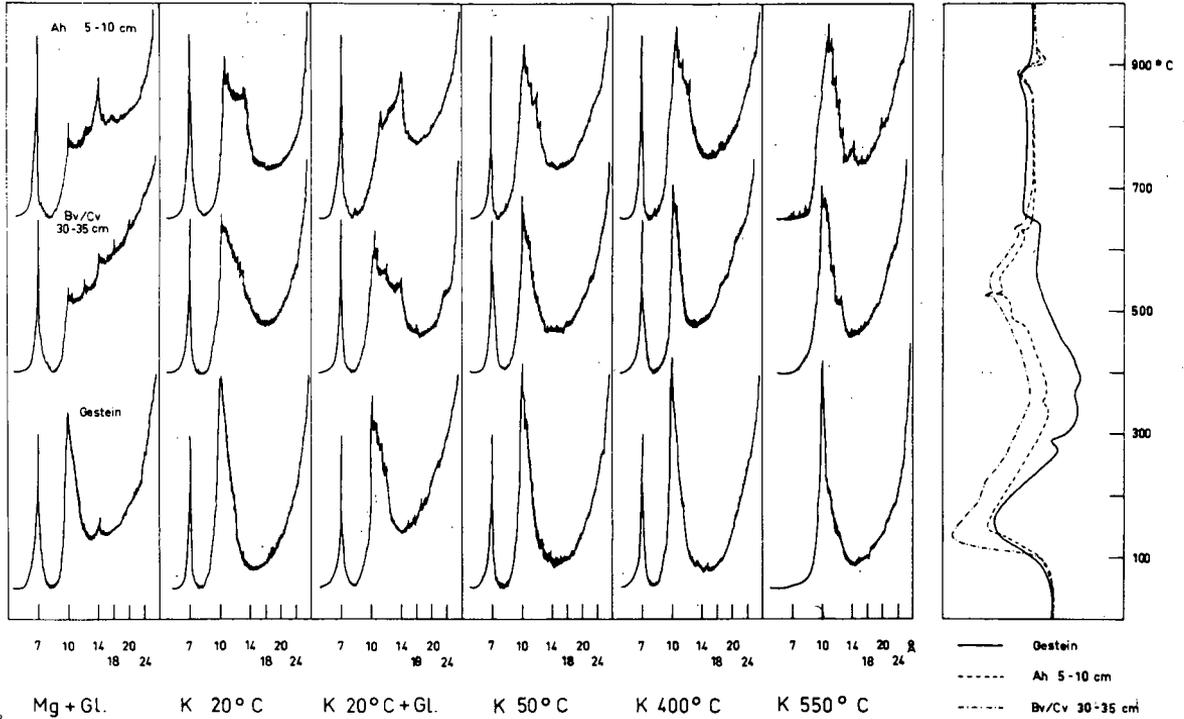


Abbildung 3

Profil ③ Fraktion <math>< 2 \mu</math>

Röntgen - Textur

DTK



Darstellung 2:

Huminstoff-Extraktionen bei verschiedenen pH-Stufen

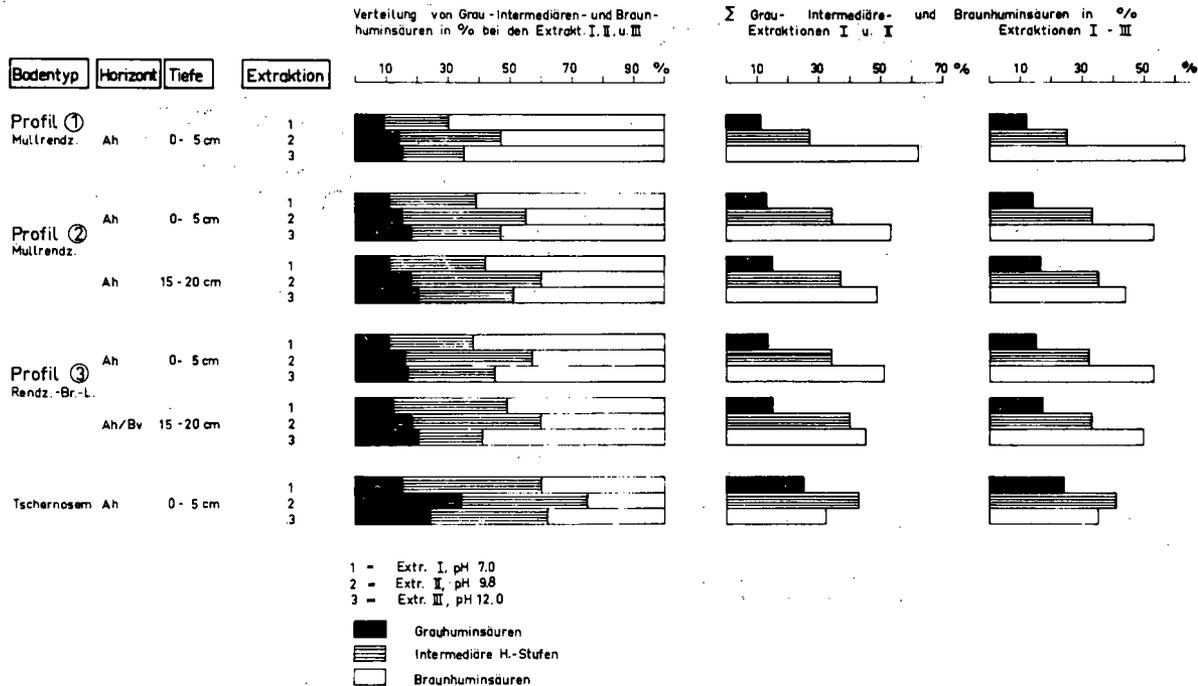
Bodentyp	Horizont	Tiefe cm	Humus %	C <sub>t</sub>	N <sub>t</sub>	C <sub>t</sub> /N <sub>t</sub>	Probe Nr.	Extr. mg C/1g C - Feinboden davon		
								Extraktion I pH 7,0	Extraktion II pH 9,8	Extraktion III pH 12,0
<b>Profil ①</b>								säurefällbar  nicht säurefällbar		
Mullrendzina	Ah	0-5	32,01	18,65	1,04	17,9	1			
<b>Profil ②</b>										
Mullrendzina	Ah	0-5	11,83	6,88	0,50	13,8	2			
	Ah	15-20	8,50	4,94	0,41	12,1	3			
<b>Profil ③</b>										
Rendz-Brlehm	Ah	0-5	8,71	5,06	0,39	12,9	4			
	Ah/Bv	15-20	4,97	2,89	0,26	10,9	5			
Tschernosem	Ah	0-5	4,35	2,53	0,30	8,4	6			

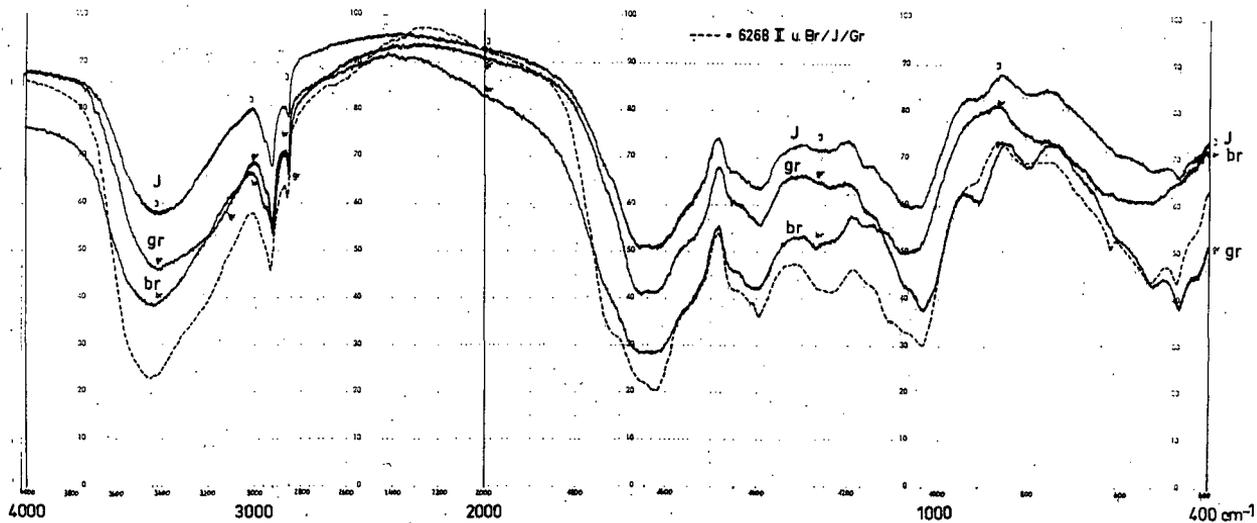
Prozentuale Verteilung der säure- u. nicht säurefällb. Anteile bei

Extraktion I			Extraktion II			Extraktion III			Σ Extr. I-II		Σ Extr. I-III		C-Extraktionen in % von C <sub>t</sub>	
Extraktion I			Extraktion II			Extraktion III			Extr. I-II		Extr. I-III			
									10	17				
									15	24				
									21	31				
									14	25				
									20	35				
									34	44				

### Darstellung 3: Elektrophoretische Untersuchungen

an säurefällbaren Huminstoffen verschiedener Extraktionsstufen





**Abb. 4** Infrarot-Spektren von Huminsäurefraktionen des Ah-Hor. (0-5cm) von Profil 1

- säurefällb. Fraktion Extraktion II (pH 9,8)
- Braun-, Intermediär- u. Grauhuminsäuren derselben Fraktion nach  
elektrophoret. Auftrennung (G/J/Br.)

Zum Mechanismus der Marmorierung, Konkretionsbildung  
und Naßbleichung in Stauwasserböden <sup>+)</sup>

H.-P. Blume <sup>++)</sup>

Die Wasser- und Luftdynamik von Stauwasserböden und vergleichbaren durchlässigen Böden wurde mehrjährig gemessen; außerdem wurden die stofflichen Unterschiede zwischen Bleich- und Rostsektionen bzw. Konkretionen von Pseudogleyen ermittelt. Auf Grund der Ergebnisse wird folgender Mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung vermutet:

In Stauwasserböden wird Fe der Aggregat-Randpartien bei Wassersättigung unter Reduktion gelöst und komplex gebunden vorwiegend lateral ins Aggregatinnere umlagert. O<sub>2</sub>, der bei Austrocknung von den Aggregaträndern aus ins Innere diffundiert, bewirkt dann durch Oxydation die Fällung als Fe-Hydroxid. Hierbei entstehen Konkretionen, wenn der Luftzutritt rasch erfolgt; Rostflecken entstehen hingegen dann, wenn die Belüftung verzögert ist, so daß sich gelöstes Fe, dem neuen Saugspannungs- und Redoxgradienten folgend, über eine weite Strecke in Richtung der Aggregatoberflächen zurückbewegt, bevor es gefällt wird.

---

<sup>+)</sup>  Eine ausführliche Darstellung ist inzwischen in der Z. Pflanzenernährung und Bodenkunde unter dem Titel: "Zum Mechanismus der Marmorierung und Konkretionsbildung in Stauwasserböden" erschienen.

<sup>++)</sup> Institut für Bodenkunde, Universität Hohenheim



## Zur Genese und Klassifizierung der Marschen

Diedrich Schroeder und Gerhard Brümmer <sup>+)</sup>

Es werden folgende fünf Thesen aufgestellt und anhand von Untersuchungen an Schlickwatt-Sedimenten und Marschprofilen sowie aufgrund der Ergebnisse von Modellversuchen begründet:

1. Die Entwicklung der Marschen aus dem Ausgangsmaterial bis zu einem bestimmten Entwicklungszustand wird nicht - wie früher angenommen - vorherrschend durch die Dauer der Bodenentwicklung bestimmt, aber auch nicht - wie die zur Zeit gültige Auffassung besagt - überwiegend durch die Art der Sedimentation, sondern durch die Kombination beider Faktoren.
2. Das Ca/Mg-Verhältnis, das nach W. Müller (1954, 1964) - am Boden bestimmt - Salzgehalt und Salzzusammensetzung im Sedimentationsraum widerspiegeln soll, ist nicht geeignet, die Böden der Marsch bestimmten Sedimentationsräumen zuzuordnen. Das Ca/Mg-Verhältnis ist vielmehr in sehr komplexer Weise von der Körnung, dem Carbonatgehalt und dem Verwitterungsgrad (Reaktionszustand, Mg-Freisetzung) des jeweiligen Bodens abhängig. Dabei werden die Körnung und der ursprüngliche Carbonatgehalt von der Sedimentation her bestimmt, der gegenwärtige Verwitterungsgrad und Reaktionszustand jedoch entscheidend durch Intensität und Dauer der abgelaufenen Prozesse der Bodenbildung (Brümmer und Schroeder, 1968). Der ursprüngliche Salzgehalt und die Ionenzusammensetzung des Wassers spielen dagegen nur eine untergeordnete Rolle.

Auch der Einfluß von Meerwasserüberspülungen, die im Laufe der Entwicklung der Marschen immer wieder auftraten, auf bereits entkalkte Seemarschen führt mit der Umbelegung der Austauscher durch Mg- und Na-Ionen zu Veränderun-

---

+) Prof. Dr. Diedrich Schroeder, Dr. Gerhard Brümmer, 23 Kiel, Olshausenstraße 40-60

gen des Ca/Mg-Verhältnisses, die nicht mit dem Sedimentationskonzept in Übereinstimmung zu bringen sind.

3. Klassifizierungsvorschläge, die vorwiegend auf der Dauer der Bodenentwicklung - im Sinne der Folge: Rohmarsch - Jungmarsch - Altmarsch - Knickmarsch - basieren oder vorherrschend auf der Zugehörigkeit zu bestimmten Sedimentationsräumen - im Sinne der Reihe: Seemarsch - Brackmarsch - Flußmarsch - sind daher auch nicht in der Lage, die Stellung der verschiedenen Böden der Marsch zueinander treffend zu kennzeichnen.
4. Eine befriedigende Einordnung der Böden der Marsch in ein morphogenetisches Klassifikationssystem (Schroeder, 1967) erscheint möglich, wenn die Böden nach aktuellen, gegenwärtigen Merkmalen gruppiert werden, die das Ergebnis der unter bestimmter Faktorenkonstellation abgelaufenen Prozesse sind und die das Zusammenspiel von sedimentationsbedingten Eigenschaften des Ausgangsmaterials und der Dauer der Bodenentwicklung widerspiegeln.

Es wird daher vorgeschlagen, die Marschen nach deren Salz- und Carbonatgehalt, dem Auftreten von Knick- und Torfschichten und nach der Horizontkombination wie folgt zu untergliedern:

Salzmarsch:	$A_z - G_{OZ} - G_{RZ}$
Kalkmarsch:	$A_{hc} - G_{Oc} - G_{Rc}$
Kleimarsch:	$A_h - G_{Ov} - G_r$
Torfmarsch:	$A_h - G_o - G_r T - T$

Die Horizontkombinationen geben nur typische Profilausbildungen an, von denen Abweichungen möglich sind. Bei den Horizontsymbolen steht K für Knick, T für Torf, z für salzhaltig, c für carbonathaltig. Der Knick kann durch die Sedimentation oder durch Tonverlagerung entstanden oder auch durch beide Vorgänge gebildet sein.

Es wird zur Diskussion gestellt, die vorgeschlagene Gliederung auf der Ebene der Subtypen vorzunehmen, die zum Bodentyp der Marsch zusammengefaßt werden, der wiederum zur Klasse der Grundwasserböden in der Abteilung der hydromorphen Böden gehört (Schroeder, 1967).

5. Die nach regional-geographischen Gesichtspunkten vorgenommene Gliederung der Marschen nach Sedimentationsräumen in Seemarsch, Brackmarsch und Flußmarsch ist gut geeignet, eine Kategorie der Bodengesellschaften - den Bodenbezirk - in einem Ordnungssystem der Bodengeographie zu bilden. Die Bodenbezirke Seemarsch, Brackmarsch und Flußmarsch könnten dann auf niederer Ebene in Bodeneinheiten unterteilt und in höheren Kategorien zum Bodengebiet zusammengefaßt und bestimmten Bodenprovinzen, -regionen und -zonen zugeordnet werden.

#### Literatur

- Brümmer, G. und Schroeder, D.: Prozesse der Marsch-Genese (in diesem Band der Mitteilungen der DBG)
- Müller, W.: Untersuchungen über die Bildung und die Eigenschaften von Knickschichten in Marschböden. Dissertation Gießen 1954
- Müller, W.: Unterschiede in den chemischen und physikalischen Eigenschaften von fluviatilen, brackischen und marinen Sedimenten. Developments in Sedimentology Vol. 1, 293-300, 1964
- Schroeder, D.: Zur Klassifizierung hydromorpher Böden. Zeitschr. Pflanzenern. u. Bodenk. 116, 199-207, 1967



## Prozesse der Marsch-Genese

Gerhard Brümmer und Diedrich Schroeder <sup>+)</sup>

Zur Erfassung der in Marschen ablaufenden Prozesse der Bodenbildung und deren Bedeutung für Genese und Klassifizierung der Marschen (Schroeder und Brümmer, 1968) wurden Untersuchungen an Schlickten sowie an Böden im Deichvorland und in Kögen unterschiedlichen Alters durchgeführt.

Die Prozesse der Marsch-Genese, beginnen bereits mit der Ablagerung der Watt-Sedimente aus dem von Ebbe und Flut bewegten Wasser. In Abhängigkeit von dem mit der Körnung korrelierenden Gehalt an zersetzbarer organischer Substanz findet in frischen Schlickten eine intensive Reduktion oxydierter Eisen-, Mangan- und Schwefelverbindungen statt. Hierbei kann infolge des hohen Gehaltes des Meerwassers an reduzierbaren Sulfaten eine starke Schwefelakkumulation auftreten, deren Ausmaß vor allem von dem Gehalt der Sedimente an organischer Substanz und ihrer Entwicklungszeit im Einflußbereich des Meeres bestimmt wird. Bereits im Schlickstadium kann es als Folge des Angriffs CO<sub>2</sub>-haltiger Porenlösungen und organischer, durch Gärungsprozesse gebildeter Säuren zur Carbonatauflösung kommen.

Mit dem Herauswachsen der Watt-Sedimente aus dem Bereich der täglichen Überflutung und dem Beginn von Oxydationsprozessen wird in den entstehenden Böden des Vorlandes die Carbonatauflösung verstärkt, da reduzierte Schwefelverbindungen zu Schwefelsäure oxydiert und damit Carbonate zerstört werden. Bei langer Entwicklung unter dem Einfluß des Meeres können die alternierend auftretenden Prozesse der Schwefelakkumulation und -oxydation bereits auf dieser Entwicklungsstufe zur völligen Entkalkung der Böden führen.

In den Böden des Deichvorlandes treten infolge der von den oberen zu den unteren Profilmereichen stark abfallenden Redoxpotentiale (bis - 120 mV) räumlich diffe-

---

+) Aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität Kiel

renzierte Akkumulationszonen für Mangan, Eisen und Schwefel auf. Entsprechend dem unterschiedlichen Redoxverhalten dieser Elemente liegt der Mangananreicherungshorizont über der Eisenakkumulationszone, die wiederum über dem Schwefelmaximum zu finden ist.

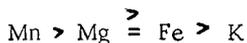
Die im Einflußbereich des Meeres liegenden Böden der Marsch werden gemeinsam durch Sedimentationsprozesse, hohe Gehalte an löslichen Salzen, eine charakteristische Schwefelmetabolik und den ständigen Wechsel von oxydierenden und reduzierenden sowie perkolierenden und ascendierenden Verhältnissen gekennzeichnet.

Mit der Eindeichung sind die Marschen der Köge dem Meerwassereinfluß entzogen und machen bei abgesenktem Grundwasser eine vorwiegend terrestrische Entwicklungsphase durch, die durch folgende miteinander, nebeneinander und nacheinander ablaufende Prozesse gekennzeichnet wird:

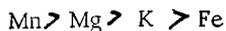
1. Entwässerung, Belüftung und Oxydation,
2. Ab- und Umbaureaktionen an organischen Substanzen,
3. Entsalzung, Entkalkung und Umladung der Bodenkolloide,
4. Gefügebildung sowie bio- und anthropogene Homogenisierung der sedimentationsbedingten Schichtung,
5. Verwitterung und Verbraunung,
6. Tonverlagerung,
7. Versauerung und Aluminiumverlagerung.

Der Ablauf dieser Prozesse wird weitgehend durch die Eigenschaften des Ausgangsmaterials vorherbestimmt. So besitzen marine Schlicke im Gegensatz zu den meisten anderen Lockersedimenten primäre Gehalte an organischer Substanz, die in Abhängigkeit von der Körnung bis  $>10\%$  betragen können und im ganzen Profil vorhanden sind. Mit dem Beginn der terrestrischen Entwicklung findet ein starker Abbau dieser im gesamten Substrat vorhandenen organischen Substanz statt. Die hierdurch bedingte hohe  $\text{CO}_2$ -Produktion löst besonders intensive Entkalkungsvorgänge aus. In Abhängigkeit vom Gehalt der Ausgangssedimente an Carbonaten und an organischer Substanz und nach deren Verhältnis zueinander, das in tonreichen Marschen sehr viel niedrigere Werte zeigt als in tonarmen, verläuft die Entkalkung mit unterschiedlicher Intensität. Sie erreicht erst nach Abbau der primären organischen Substanz bis zu einem den jeweiligen Umweltverhältnissen angepaßtem Gleichgewichtszustand ein geringeres Ausmaß.

Die Intensität der Verwitterungs- und Verbraunungsprozesse wird in spezifischer Weise vom Mineralbestand der Schlicke bestimmt, der durch die Anwesenheit von Mg-, Fe- und Mn-haltigen Chloriten oder chloritischen Übergangsmineralen wie auch Chamositen und/oder Glaukoniten gekennzeichnet ist. Diese Minerale besitzen nur eine geringe Verwitterungsstabilität, so daß die Prozesse der Verwitterung und Verbraunung in den Marschen sehr viel intensiver ablaufen können als in den meisten anderen Böden aus Sedimentgesteinen. Dabei werden die einzelnen Elemente in folgender Reihe abnehmender Intensität aus silikatischer Bindung freigesetzt:



Die Auswaschungsverluste, die nicht nur von der Intensität der Freisetzung, sondern auch von der Löslichkeit der entstehenden Verwitterungsprodukte abhängen, nehmen in folgender Reihe ab:



Da im humiden Bereich die klimatischen Voraussetzungen gegeben und in den Marschen auch die erforderlichen Bodeneigenschaften (pH-Werte, Elektrolytkonzentration, Filtergerüst) vorhanden sind, können auch intensive Tonverlagerungsvorgänge festgestellt werden. Sie erreichen besonders dann ein hohes Ausmaß, wenn als Folge von Meerwasserüberspülungen in entkalkten Marschen eine beträchtliche Na-Sättigung der Austauschere zu einer Dispergierung der Bodenkolloide führt.

Bei langer Entwicklung im Einflußbereich des Meeres, die - bevor der Mensch in das Naturgeschehen eingriff - für alle alten Marschen kennzeichnend war, kann es bei hohen Gehalten an reduzierten Schwefelverbindungen mit deren Oxydation zu einer starken Versauerung der Böden kommen, mit der eine deutliche Aluminiumverlagerung verbunden ist.

Bei hohen Grundwasserständen oder beim Auftreten von Staunässe laufen ausgeprägte Vergleungs- oder Pseudovergleungsprozesse ab, die zu einer Anreicherung dithionitlöslichen Eisens in den G<sub>0</sub>- und S-Horizonten führen.

Insgesamt zeigt sich, daß der derzeitige Entwicklungszustand der Marschen nicht nur durch die Art der Sedimentation und die unter dem Einfluß des Meeres erworbenen Eigenschaften des Ausgangsmaterials bestimmt ist, sondern auch durch zahlreiche Bodenentwicklungsprozesse wie Entsalzung, Entkalkung, Verwitterung, Tonver-

lagerung, Versauerung sowie Eisen- und Aluminiumverlagerung beeinflusst wird. Art und Intensität der ablaufenden pedogenen Prozesse werden dabei durch die Eigenschaften des Ausgangsmaterials präformiert.

Als spezifisch für die Marschen und ihre Gense sind eine charakteristische sedimentationsbedingte Korngrößen- und Mineralzusammensetzung, hohe Gehalte an löslichen Salzen und primärer organischer Substanz im Ausgangsmaterial, eine charakteristische Schwefelmetabolik sowie ein geschichteter Profilaufbau anzusehen.

#### Literatur

Schroeder, D., und Brümmer, G.: Zur Genese und Klassifizierung der Marschen  
(in diesem Band der Mitteilungen der DBG)

Höhenlage, Aufbau und bodensystematische Stellung der  
Streifenböden in den Allgäuer und Lechtaler Alpen und  
Engadiner Dolomiten

Zlatko Gračanin +)

Die Streifenböden werden bekanntlich zu den Frostmusterböden gezählt, die sich seit der Spitzbergen-Exkursion des Internationalen Geologischen Kongresses im Jahre 1910 großer Aufmerksamkeit erfreuen. Die Veröffentlichungen über die Frostmusterböden vermehren sich von Jahr zu Jahr und gehen heute bereits in die Tausende (vgl. Literaturzusammenstellungen bei C. Troll, 1944, A. Cailleux, G. Taylor 1954, J. Sekyra 1960, C.F. Capello 1960, J. Dylik, R. Raynal 1966, P.W. Höllermann 1964, 1967). Es wurde nicht nur über die Frostmusterböden der hohen Breiten, sondern auch über ihre rezente Vorkommen in verschiedenen Gebirgen der Erde und über ihre fossilen Reste in den mittleren Breiten berichtet.

Auch in den Alpen wurden verschiedene Frostmusterböden, darunter auch Streifenböden, beobachtet. Doch diese Beobachtungen stammen meist von den Geographen, Geologen, Geomorphologen und Botanikern; die Bodenkunde hat sich auffallend wenig mit ihnen beschäftigt. Kein Wunder daher, daß man über ihre Verbreitung mehr weiß als über ihren Aufbau, Bildungsbedingungen und bodensystematische Stellung. Umstritten ist sogar bis heute, ob die Frostmusterböden als Böden oder lediglich als Kleinformen der Bodenoberfläche anzusehen sind.

---

+) Institut für Bodenkunde der Universität, Freiburg i. Br.

So wurden z.B. die Streifenböden von W.L. Kubiena (1953, S.173-175) mit den Polygonböden zu einem Bodentyp, der Struktur-Räma<sup>0</sup>mark, zusammengefaßt. E. Mückenhausen u. a. (1962, S.45) ordnen die Streifenböden dem Arktischen Strukturboden, einem Bodentyp in der Klasse der terrestrischen Rohböden zu, zu dem sie unter anderem auch die Bildungen zählen, die als Steinringböden, Steinnetze, Brodelböden, Eiskeilnetze, Taschenböden und Tropfenböden bekannt sind. Doch laut der neuesten Ausgabe des "Lehrbuches der Bodenkunde" von F. Scheffer und P. Schachtschabel (1966, S. 445) sind Frostmusterböden nur bedingt als Böden anzusprechen und B. Valek (1959, S. 11) spricht ihnen den Charakter von Bodentypen gänzlich ab.

Auch im Rahmen der Bodenkunde sollte den alpinen Frostmusterböden größere Aufmerksamkeit gewidmet werden: sie sind nicht nur an und für sich interessante Naturerscheinungen, sondern auch die Deutung der fossilen Strukturformen des Tieflandes, der Mittelgebirge und insbesondere des Alpenvorlandes sollte sich mehr als bisher an den vorhandenen rezenten Formen der Hochgebirge orientieren. Außerdem scheinen nach den neueren Untersuchungen (A. Cailleux 1948, G. Furrer 1965 u. a.) einzelne Frostmusterböden an bestimmte Höhenlagen gebunden zu sein; ihre Verbreitung könnte daher als Kriterium für die naturräumliche Höhengliederung der Gebirge im allgemeinen und der Alpen im besonderen mitverwendet werden.

Im Rahmen der systematischen Untersuchungen über die Bodenentwicklung auf Kalken und Dolomiten in verschiedenen Höhenstufen des mittleren Abschnitts der Alpen erschien es deshalb nicht nur ratsam, sondern auch dringend notwendig, sich mit den Frostmusterböden näher zu beschäftigen. Von diesen sollen hier jedoch nur Streifenböden kurz erörtert werden.

Die Nomenklatur der alpinen Streifenformen ist noch nicht ausgeglichen. Für gestreckte Formen der Alpen werden außer Streifenböden auch Bezeichnungen wie Steinstreifen, Miniatursteinstreifen, Schuttstreifenböden, Erdstreifen, Erdstreifenböden, Vegetationsstreifen u. a. verwendet. Dabei bezeichnet man oft mit demselben Namen unterschiedliche Bildungen oder man benutzt für dieselbe Bildung mehrere Namen. Auch die Abgrenzung verschiedener Formen ist noch nicht einheitlich und auch nicht immer ganz eindeutig.

Streifenformen, die ich in den Allgäuer und Lechtaler Alpen und Engadiner Dolomiten untersucht habe, kann man in drei Gruppen einteilen:

1. Streifenböden mit dem Wechsel von Vegetations- und Skelettstreifen (mit Übergängen zu Girlandenböden);
2. Erdstreifenböden mit dem Wechsel unbewachsener Erdstreifen mit ebenso unbewachsenen skelettreichen Rinnen (=Schuttstreifen). Die Vegetation ist nur ganz spärlich und nicht am Aufbau der Formen beteiligt und
3. Sonstige Streifenformen, die ich entweder überhaupt nicht als Böden oder wenigstens nicht als Frostmusterböden ansehen möchte.

#### 1 - Streifenböden mit Wechsel von Vegetations- und Skelettstreifen

In diese Gruppe gehören die Streifenböden vom Hochvogel in den Allgäuer Alpen (bei 2100 m über N.N. über moränenartigen Schuttlagen), die G. Eberle (1952) ziemlich ausführlich beschrieben hat, wenn auch nicht vom bodenkundlichen Standpunkt aus. Hierzu gehören auch die Streifenböden, die später V. Jacobshagen (1957, S. 55) auf den Nordhängen des Rauheck-Kreuzeck-Kammes oberhalb 2200 m über N.N. und auf der Nordseite des Fürschießers und J. Westrup (1966) auf den Nordhängen des Gießgundkopfes oberhalb 2000 m über N.N. in den Allgäuer Alpen und R. Huckriede (1957, S. 125-126) auf dem Kreuzkopf und W. Stengel-Rutkowski (1960, S. 83) östlich der oberen Wösteralm und unterhalb des Grates zwischen Horn und Rappenspitze in den Lechtaler Alpen beobachtet haben. Diese Beobachtungen wurden anlässlich der geologischen Kartierungen gemacht, wobei natürlich die Streifenböden nur ganz am Rande behandelt werden konnten.

Alle diese Streifenböden, ebenso wie ähnliche von mir beobachtete Formen, befinden sich oberhalb der Wald- und Latschengrenze in der alpinen Rasenstufe, die in den untersuchten nördlichen Außenketten zwischen 2000 und 2400 m über N.N. und in den Engadiner Dolomiten bei etwa 2200/2300 bis 2600 m liegt.

Die Streifen können im Gefälle oder schräg zum Gefälle liegen. Ein Beispiel solcher Streifenböden ist das folgende Bodenprofil.

Profil Nr. 64. 3.7.1965

Kapall-Sattel, oberhalb von St. Anton am Arlberg in den Lechtaler Alpen, 2320 m über N.N., Exposition NNW, Neigung 32%, in Richtung der Streifen 21%. Meteorologische Messungen aus dieser Höhe liegen aus dem Gebiet nicht vor, nach den Berechnungen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien (briefliche Mitteilung vom 8.2. 1966) ist hier aber allgemein mit einer mittleren Jahrestemperatur von ca.  $-1,5^{\circ}\text{C}$  und den mittleren jährlichen Niederschlägen von ca 2000 mm zu rechnen. Lokalklimatische Besonderheiten: die untersuchte Stelle ist stark windausgesetzt, erhält dadurch weniger Niederschläge in Form von Schnee als ihre Umgebung und apert daher auch früher aus.

Es ist ein breiter, offensichtlich vom Eis überprägter Rücken, der nach der geologischen Karte von O. Ampferer und O. Reithofer (1932) aus Arlbergkalk aufgebaut sein sollte; das Gesteinsmaterial auf der Bodenoberfläche ist aber vornehmlich dolomitisch. Skelett, bestehend aus meist kleineren Steinen und Grus sowie einzelnen kleineren Blöcken, bedeckt 75%, die Vegetation 25% der Bodenoberfläche.

Das Skelett (mit Ausnahme von Blöcken) und die Vegetation sind in Streifen angeordnet (Bild 1), die etwa schräg zum Gefälle liegen. Die Vegetation wirkt dabei schuttstauend. Die Vegetationsstreifen haben daher meist die Form schräger Treppenböschungen eingenommen. Dies ist bei dieser Art von Streifenböden häufig der Fall, und zwar auch bei wesentlich steileren Hängen und Streifen, die fast im Gefälle liegen; Vegetationsstreifen, die sich + im Niveau der Schuttstreifen befinden (Bild 2) oder nur im mittleren Teil ihres Querschnitts erhöht sind, sind seltener.

Die Vegetationsstreifen baut die Gesellschaft der Polstersegge (*Caricetum firmae/Kerner/Br.* -Bl. 1926) auf, und zwar in folgender Zusammensetzung (die Zahlen hinter den Pflanzennamen bedeuten den Deckungsgrad und die Soziabilität nach der bekannten Skala von J. Braun-Blanquet):

Charakterarten der Assoziation:

<i>Carex firma</i> Mygind	2.2
<i>Saxifraga caesia</i> L.	1.1

Ordnungs- und Klassencharakterarten:

<i>Dryas octopetala</i> L.	2.2
<i>Anhyllis vulneraria</i> L. ssp. <i>alpestris</i> (Kit.) Aschers. et Gr.	1.2

<i>Festuca pumila</i> Chaix	+ 2
<i>Androsace chamaejasme</i> Wulf.	+

Begleiter:

<i>Arctostaphylos alpina</i> (L.) Spreng.	1, 2
<i>Primula auricula</i> L.	1, 1
<i>Rhododendron hirsutum</i> L. (nur 2-3cm hoch!)	+ 2
<i>Arabis pumila</i> Jacq.	

Flechten und Moose:

<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	1, 2
<i>Tortella tortuosa</i> (L.) Limpr.	1, 2
<i>Ditrichum flexicaule</i> (Schl.) Hamp.	+ 2
<i>Pseudostereodon procerrimus</i> (Mol.) Fleischer	+ 2
<i>Orthothecium rufescens</i> Br. eur.	+
<i>Ceratodon purpureus</i> (L.) Brid.	+
<i>Bryum</i> sp.	

Unter dem Vegetationsstreifen zeigt das Bodenprofil den folgenden Aufbau:

O<sub>L</sub> (0-1 cm) trockene Blätter, zum großen Teil noch an den Mutterpflanzen hängend;

A<sub>hl</sub> (1-5 cm) sehr dunkler rötlichbrauner (5YR 3/2, feucht 5YR 2/2), stark humoser, mäßig skeletthaltiger (grusiger), außerordentlich stark durchwurzelter Horizont staubiger bis krümeliger Struktur. Dicht unter Bodenoberfläche ein Regenwurm. Die Reaktion mit kalter HCl 1:3 ist schwach, nur hörbar;

A<sub>h2</sub> (6-16 cm) skelettreicher Horizont mit dunkelgraubraunem (10 YR 4/1, 5, feucht 10 YR 3/2), humosem, sandig-lehmigem Schluff krümeliger Struktur. Starke Durchwurzelung. Die Reaktion mit HCl 1:3 verzögert, aber schwach positiv. Allmählicher Übergang in

C<sub>v</sub> (25-60 cm) skelettreicher, steiniger und grusiger Horizont mit dichtem, hellbraungrauem sandigen Schluff ohne ausgeprägte Struktur, nur einzelne Wurzeln enthaltend. Das Skelett ist vorwiegend Dolomit, doch wurden auch zwei rostfarbig angewitterte Steine und ein Stück Rauhwaacke gefunden. Die Feinerde braust nach einer kurzen Verzögerung mit HCl 1:3 stark auf.

Im Skelettstreifen ist der Aufbau der oberen Horizonte anders; auf der Bodenoberfläche befindet sich

$A_{sk}$  (0-2/4 cm) 2-4 cm mächtiger Skeletthorizont, vorwiegend aus Grus und kleinen Steinen bestehend. Dieser Horizont schützt die Feinerde der darunterliegenden Horizonte vor dem Abtrag durch Wind, vor Zerstörung durch Aufprall der Regentropfen und Hagel sowie gegen die Erosion durch oberflächlich abfließendes Schmelz- und Regenwasser. Inwieweit der Frost für die Bildung dieses Horizontes mitverantwortlich gemacht werden kann, steht nicht fest; bekannt ist aber, daß solche Horizonte in verschiedenen Gebieten der Erde unter ganz anderen klimatischen Bedingungen auch ohne Frosteinwirkung, ja sogar in warmen Trockengebieten gebildet werden, wenn Böden, die Grus und Steine enthalten der Bodenerosion durch Wind und/oder Wasser ausgesetzt sind (vgl. Z. Gračanin 1963);

$A_h$  (2-16 cm) skelettreicher (grusiger und steiniger) Horizont mit dunkelbraungrauem (10YR 4/1, 5, feucht 10YR 3/2), humosem, mäßig durchwurzeltem (einzelne Pflanzen auch im Schuttstreifen! Außerdem greifen hierher die Wurzeln der Pflanzen im Vegetationsstreifen über) sandig-lehmigem Schluff, der feucht, weich und lockerer als  $C_v$  ist. Mit HCl 1 : 3 in der Feinerde verzögertes, nicht starkes Aufbrausen. In seinen Eigenschaften, bis auf die schwächere Durchwurzelung, ähnelt dieser Horizont dem  $A_{h2}$ -Horizont unter dem Vegetationsstreifen. Ab 16 cm Übergang in

$C_v$  der hier gleich aufgebaut ist wie unter dem Vegetationsstreifen.

Der Profilaufbau und die analytischen Ergebnisse (Tabelle 1), insbesondere die schwach alkalische Reaktion und der hohe Gehalt an Erdalkalicarbonaten und an organischer Substanz charakterisieren den Boden unter dem Vegetationsstreifen als eine Alpine Rendzina im Sinne von W.L. Kubišna (1953). Sie ist zwar nicht besonders mächtig, aber in ihrem oberen Teil weist sie eine starke Anreicherung der organischen Substanz auf. Das verhältnismäßig weite C:N-Verhältnis dürfte auf die Wirkung von Kleinsträuchern, besonders von *Dryas octopetala* zurückzuführen sein.

TABELLE 1

Streifenboden mit Wechsel von Vegetations- und Skelettstreifen

Profil Nr. 64, Kapall-Sattel, 2320 m über N.N., NNW, 32%

Horizont	Boden aus der Tiefe in cm	pH in H <sub>2</sub> O	pH in n/10 KCl	Erdalkali- carbonate als CaCO <sub>3</sub> nach Scheibler %	Org. Subs- tanz %	C %	N %	C:N
		<u>Vegetationsstreifen:</u>						
A <sub>h1</sub>	1-5	7,5	7,2	42,4	37,8	21,9	1,19	18,4
A <sub>h2</sub>	6-16	7,7	7,5	84,1	7,4	4,3	0,36	11,9
C <sub>v</sub>	25-60	8,2	7,9	95,3	1,6	0,9	0,06	-
<u>Skelettstreifen:</u>								
A <sub>h</sub>	2-16	7,9	7,6	89,1	4,7	2,7	0,27	10,0

Horizont	Boden aus der Tiefe in cm	Skelett in der Bodenpro- be %	Feinerde enthält in %				
			Ton 0,002 mm	Schluff 0,002- -0,02 mm	Staub 0,02- 0,062 mm	Feinsand 0,062- -0,2 mm	Grobsand 0,2-2,0 mm
<u>Vegetationsstreifen:</u>							
A <sub>h1</sub>	1-5	22,7	-	-	-	-	-
A <sub>h2</sub>	6-16	70,5	13,5	15,3	36,5	26,5	8,2
C <sub>v</sub>	25-60	54,7	6,7	20,2	33,1	14,0	26,0
<u>Skelettstreifen:</u>							
A <sub>h</sub>	2-16	64,6	12,1	14,8	40,5	23,5	9,1

Im Schuttstreifen befindet sich keine typische Alpine Rendzina. Die Menge der organischen Substanz im  $A_H$ -Horizont ist wesentlich geringer als unter dem Vegetationsstreifen. Hier könnte man daher höchstens von einem Initialstadium der Alpinen Rendzina sprechen, sofern sich nicht um ein Degradationsstadium handelt. Vielfach erscheint es wahrscheinlich, daß der Humusgehalt des  $A_H$ -Horizontes nicht von den wenigen Pflanzen, die gegenwärtig im Skelettstreifen wachsen und den aus dem Vegetationsstreifen übergreifenden Wurzeln stammen kann, sondern eher den Rest eines seitlich und tiefer verschobenen Vegetationsstreifens darstellt. In seiner biologischen Dynamik scheint der Boden im Skelettstreifen weitgehend den Charakter eines Rohbodens zu haben.

Weitere Vorkommen solcher Vegetations- und Skelettstreifen habe ich beobachtet in den Lechtaler Alpen auf dem Südhang der Kleinspitze auf dem Weg Lech-Butzenspitze-Kleinspitze-Braunarlspitze-Göppinger Hütte bei 2350 m über N.N. und 55% Neigung auf dem Hangschutt aus dem Hauptdolomit (Bild 3 und 4) und auf dem Westhang des Griebkopfes oberhalb des Kaiserjoches zwischen 2400 und 2500 m über N.N. im vergrusteten Hauptdolomit; in den Engadiner Dolomiten untersuchte ich eine solche Fläche auf dem östlichen Abhang des Piz San Jon Dadora (zur Val Lischana) bei 2450 m über N.N. und 58% Neigung auf dem Hangschutt aus Hauptdolomit.

Vergleichende Beobachtungen im Gebiet des Piz Languard, der aus kristallinem Material aufgebaut ist, deuten darauf hin, daß solche Streifenformen nicht auf die Alpine Rendzina beschränkt sind, sondern daß sie auch im Bereich des Alpinen Rankers vorkommen (Bild 5). Dafür sprechen auch die Angaben von P. W. Höllermann (1967, S. 19), der ähnliche Bildungen auch im trockenen Granitdetritus beobachtet hat.

Unter dem Namen Streifenböden (tschechisch: brázděné pŮdy, pŮdy ťzce pruhovitě) wurden ähnliche Bildungen auch aus den Belanské Tatry (Slowakei) beschrieben (vgl. J. Pelíšek 1953, 1953a, J. Sekyra 1960), wo sie auf dem Bujáč Vrch oberhalb der Waldgrenze in 1800-1960 m über N.N. aus dem Detritus eines triadischen dolomitischen Kalksteins entwickelt sind. J. Pelíšek (1953) stellte dort unter Vegetation humose Rendzinen fest. Die Entstehung dieser Streifenböden schreibt J. Sekyra (1960) den Regelations-, Solifluktsions- und eolischen Prozessen zu.

P. W. Höllermann (1967, S. 19) hat solche Formen in den südöstlichen Alpen (Villacher Alp, Julische Alpen) und in den höchsten Lagen des Monte Baldo-Kammes in den südlichen Kalkalpen beobachtet und sie als "Vegetations- und Schuttbänder" bezeichnet. Er betrachtet sie nicht als Strukturböden, sondern als spezielle Erscheinungen der gehemmten Solifluktion, deren Entstehung noch weitgehend ungeklärt ist.

Die Schutthalden weisen zwar oft Oberflächenformen auf, die in der Gefälle- richtung orientiert sind, doch sind typische regelmäßige Streifenböden auf ihnen nicht häufig, denn der Detritus auf den Schutthalden ist dazu meist zu grob und zu beweglich.

Stellen wir die Eigenschaften der untersuchten Flächen zusammen, so ergibt sich, daß bei ihnen folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1) ausreichende Stabilisierung des Hanges bei fehlender oder nur schwacher Skelettzufuhr aus höheren Lagen;
- 2) neben Grus und meist kleineren Steinen gibt es auch viel Feinerde. Diese Voraussetzung wird besser erfüllt in Moränen und auf vergrusten Hauptdolomit-Hängen als auf den meisten Schutthalden;
- 3) die Vegetation ist im Stande, zusammenhängende Streifen zu bilden. Es ist in erster Linie die Assoziation der Polsteregge (*Caricetum firmae*/ Kerner/ Br. -Bl.) einschließlich ihrer Stadien mit vorherrschender Silberwurz (*Dryas octopetala* L.) oder mit der Teppich-Weide (*Salix retusa* L.). Die typische schütterere Vegetation der Schutthalden, wie sie im Bereich der Kalksteine und Dolomite in der alpinen Rasenstufe auf wenig entwickelten, stark skelettreichen bis absolut, skelettigen Rohböden das *Thlaspectum rotundifolii* Br. -Bl. 1926 verkörpert, reicht dagegen für die Bildung von Streifenböden nicht aus;
- 4) die Flächen mit Streifenböden apert verhältnismäßig früh aus, so daß sie dem Frostwechsel mehr ausgesetzt sind als ihre Umgebung.

Außer Frost wirken aber auch andere Kräfte wie Gravitation, Wind, Regen, Hagel, Schmelzwasser und zusammenhaltende Kräfte der Vegetation auf die Bildung dieser Streifenböden. Wie im einzelnen die Prozesse ablaufen und was den primären Anstoß für die Bildung von Streifen gibt, konnte bis jetzt noch

nicht mit Sicherheit festgestellt werden (vgl. auch G. Nageroni 1958, S. 809).

Wie immer aber auch die Streifenbildung vor sich gegangen ist, sie hat in der alpinen Rasenstufe nicht zur Bildung eines selbständigen Bodentyps geführt. Vielmehr sind es Oberflächenformen, die sowohl im Bereich der Alpinen Rendzina, als auch im Bereich des Alpinen Rankers ausgebildet sind. Soweit sie aus Carbonatgesteinen hervorgegangen sind, handelt es sich um den Wechsel der Alpinen Rendzina im Sinne von W.L. Kubiens (1953) mit wenig entwickelten Rohböden oder mit erodierten Degradationsstadien der Alpinen Rendzina. Für die Alpine Rendzina ist es gerade charakteristisch, daß sie meist eine Musterung ihrer Oberfläche aufweist, und zwar entweder in Form von Streifen im Gefälle und schräg zum Gefälle oder, noch am häufigsten, in Form von Girlanden.

Bei der Bodenbeschreibung und Kartierung kann es vom Interesse sein, diese Formen der Bodenoberfläche aufzuzeichnen und sie zur näheren Charakterisierung der Standortverhältnisse mitzuverwenden, als Kriterium für die systematische Einordnung der Böden können sie aber nicht für den Bodentyp, sondern erst an einer niedrigeren Klassifikationsebene in Betracht kommen.

## 2. Erdstreifenböden

Die Erdstreifenböden sind eine charakteristische Erscheinung der subnivalen Stufe, d.h. derjenigen Stufe in den Alpen, die zwischen der oberen Grenze der zusammenhängenden Alpenmatten (ca. 2400 m in den nördlichen Außenketten, ca. 2600 m über N.N. in den Engadiner Dolomiten) und der Schneegrenze liegt. Dies bedeutet aber nicht, daß sie in dieser Stufe überall verbreitet sind und daß sie große Flächen einnehmen. Sie können sich nämlich nicht auf Felsen, steilen Hängen und grobem, beweglichem Schutt ohne Feinmaterial entwickeln. Flächen mäßiger Neigung mit ausreichend Feinmaterial sind aber in der subnivalen Stufe der untersuchten Gebirge nicht häufig. Dort jedoch, wo die Erdstreifenböden auftreten, sind sie ein sicheres Zeichen der subnivalen Stufe und können für die Bestimmung ihrer unteren Grenze verwendet werden.

Wie bereits erwähnt, wechseln bei den Erdstreifenböden unbewachsene Erdstreifen mit ebenso unbewachsenen skelettreichen Rinnen (=Skelettstreifen). Die im Bereich der Erdstreifenböden nur spärlich auftretende Vegetation nimmt nicht am Aufbau der Streifen teil.

Zu den Erdstreifenböden sind wohl Bildungen zu zählen, von denen W. Salomon (1929) aus der Val Mütschans (von Salomon irrtümlich als "Val Muntschäin" bezeichnet!) im Schweizerischen Nationalpark unter dem Namen Streifenböden berichtet hat, sowie die von W. Mohaupt (1932, S. 64-65) auf dem Col della Pierres und auf der La Gardenaccia in den Südtiroler Dolomiten beobachteten und gut abgebildeten "Erdstreifen".

Auch die Erdstreifenböden sind nicht auf Kalksteine und Dolomite beschränkt; P. W. Höllermann (1964, S. 107) hat sie im Ebenwandtal (Ortlergruppe) bei 2820 m Höhe auf Quarzphyllit gefunden.

Aus den Allgäuer Alpen sind die Erdstreifenböden nicht bekannt. Aus den Lechtaler Alpen berichtet nur P. W. Höllermann (1967, S. 76) von den "Miniaturstreifenböden" (eng verwandt mit den Erdstreifenböden, nach der Beschreibung kaum zu unterscheiden!) südlich der Memminger Hütte auf kleinen Kammverflachungen nordöstlich des Seeköpfle zwischen 2450 und 2500 m über N.N., bei einer Hangneigung von 15-18°. Weitere Fundorte der Erdstreifenböden konnte ich bis jetzt trotz umfangreicher Begehungen in den Lechtaler Alpen nicht feststellen.

Häufiger sind die Erdstreifenböden in den Engadiner Dolomiten, die zu den Zentralalpen gehören und im Durchschnitt höher als die Lechtaler und besonders als die Allgäuer Alpen sind und noch in der subnivalen Stufe von den Gletschern abgerundete Formen aufweisen könnten. Von dort hat sie unter diesem Namen bereits G. Furrer (1954) beschrieben. Aus diesem Gebiet stammt auch das folgende Bodenprofil.

Profil Nr. 91. 13.8. 1965

Piz dal Fuorn im Schweizerischen Nationalpark, breite Hangnase (Bild 6) unterhalb der Felsregion am Hang südwestlich des Gipfels, 2650 m über N.N., Exposition SSW, Neigung 33%. Muttergestein: Hauptdolomit. Während etwas höher am Hang die steilen Hauptdolomit-Felsen der Gipfelregion beginnen, liegt der Hauptdolomit hier auf der flach geneigten Bodenoberfläche physikalisch stark verwittert in Form von schluffigen Sand, Grus und meist nur kleinen Steinen vor. Weder im Skelett noch in den Grobsandfraktionen konnten Bruchstücke anderer Gesteine festgestellt werden, wohl aber einzelne nicht-dolomitische Mineralkörner. In dieser Höhe muß mit einer mittleren Jahrestemperatur von ca. -3,5°C und Niederschlägen von über 1000 mm gerechnet werden.

Die Vegetationspolster, bestehend aus *Dryas octopetala* L., *Carex firma* Maygind, *Anthyllis vulneraria* L., u. a. (*Dryas*-Stadium des *Caricetum firmae* /Kerner/Br.-Bl. 1926), liegen ziemlich weit voneinander und nehmen nicht am Aufbau der Streifen teil. In den Streifen selbst sind nur vereinzelt Pflanzen mit ganz geringem Deckungsgrad und schwacher Vitalität vorhanden und unregelmäßig verteilt.

Vom unbewachsenen Teil der Bodenoberfläche nehmen Grus und kleine Steine 40%, die Feinerde 60% ein. Sie zeigen eine charakteristische Anordnung: der Grus ist auf kleine Rillen, die Feinerde auf leicht gegenüber den Rillen (=Schuttstreifen) erhöhte Erdstreifen konzentriert (Bild 7). Beide sind parallel und liegen im Gefälle. Das Profil des Erdstreifenbodens (wegen Beleuchtung etwas schräg zum Gefälle angelegt, Bild 8) weist folgende Eigenschaften auf:

In den Rillen (=Schuttstreifen) befindet sich

$A_{sk}A_h$  (0-3 cm) lockerer, wenig zusammenhaltender, skelettiger, grusiger Horizont mit grauem (10YR 5/1, feucht 10YR 4/1) schluffigem Sand, fast ohne Wurzeln. Enthält nur wenige Bruchstücke organischer Reste. Dieser lockere Horizont liegt eingebettet in feinerdereicherem und mehr zusammenhaltendem Boden. Die tieferen Horizonte gleichen denen unter den Erdstreifen.

Die Erdstreifen sind ausgesprochen konvex, einige cm höher als die Schuttstreifen und bestehen aus

- $A_{h1}$  (0-1 cm) dunkelgraue (10YR 4,5/1,5, feucht 10YR 3/1,5) Kruste aus schluffigem Sand, skeletthaltig, grusig. Nach unten nimmt der bräunliche Farbton zu;
- $A_{h2}$  (2-9 cm) graubrauner (10YR 5/2,5, feucht 10YR 4/2) schluffiger Sand, skeletthaltig (grusig), mit verhältnismäßig vielen Wurzeln, nicht so dicht wie  $A_{h1}$ , jedoch wesentlich dichter und zusammenhaltender als  $A_{sk}A_h$  in den Rillen;
- $A_h C_v$  (10-15 cm) hellbraungrauer (10YR 6,5/2,5, feucht bis 2,5Y 5/2) stark skeletthaltiger (grusiger) schluffiger Sand mit einzelnen Wurzeln;
- $C_v$  (15-25 cm) hellgrauer (10YR 7/1, feucht 10YR 6/1, Grobsandkörner bis 5/1) stark skeletthaltiger (grusiger) schluffiger Sand ohne ausgesprägte Strukturierung, doch porenhaltig; enthält einzelne Wurzeln.

Die Reaktion auf Carbonate mit kalter HCl 1:3 ist in der Feinerde und im Skelett im ganzen Profil positiv, doch meist nicht intensiv.

Die Materialsortierung ist auf den obersten Teil des Bodenprofils beschränkt; der  $A_{hC_V}$ - und  $C_V$ -Horizont sind unter Schuttstreifen und unter Erdstreifen gleich aufgebaut. Dauerfrost wurde in diesem Boden nicht festgestellt. Auf Grund des Profilaufbaues kann man nicht mit Sicherheit sagen, inwieweit die Materialsortierung auf die Frosteinwirkung zurückzuführen ist. Bei den Erdstreifen hat man zwar den Eindruck, daß die Feinerde herausgepreßt wurde, wahrscheinlich erscheint aber auch, daß der Abfluß des Schmelzwassers eine wichtige Rolle in der Auswaschung der Feinerde aus den Rillen spielt.

Der hohe Gehalt an Erdalkalicarbonaten (Tabelle 2), die schwach alkalische Reaktion im ganzen Profil sowie geringer Gehalt an organischer Substanz und Stickstoff zeigen, daß dieser Erdstreifenboden aus einem Rohboden hervorgegangen ist und daß er in seinen Eigenschaften mit dem Rohboden weitgehend übereinstimmt. Der Rohbodencharakter wird noch dadurch betont, daß ein Teil der organischen Substanz nicht von den Erdstreifen selbst, sondern von den dazwischenliegenden Vegetationspolstern her stammt. Die Korngrößenbestimmung bestätigt den größeren Skelett- und Grobsandgehalt in den Rillen.

Die Erdstreifenböden stellen nach ihren Eigenschaften selbständige Bildungen dar, die räumlich und bodensystematisch vollkommen unabhängig von den Streifenböden mit dem Wechsel der Vegetations- und Skelettstreifen sind. Es fragt sich nur, ob die Erdstreifenböden in der Bodensystematik als ein eigener Bodentyp oder aber als Oberflächenform subnivaler Rohböden anzusehen sind. Möglich erscheint zwar beides, das letztere würde sich aber besonders dann empfehlen, wenn sich zeigen sollte, daß sie verhältnismäßig kurzfristige Erscheinungen darstellen. Bis jetzt ist aber über die Geschwindigkeit ihrer Entwicklung und Zerstörung meines Wissens noch nichts näheres bekannt.

### 3. Sonstige Streifenformen

In untersuchten Gebieten konnte ich noch weitere Streifenformen beobachten, die ich jedoch nicht unbedingt als Streifenböden bezeichnen möchte. Hierzu gehören unter anderem:

- 1) Streifung der Bodenoberfläche durch Schneegleiten. Sie konnte bei verschiedenen Bodentypen und in verschiedenen Höhenlagen beobachtet werden, oft besonders deutlich bei Gesteinswechsel, doch auch im einheitlichen Material gut ausgeprägt. Die Streifung ist hier auf

Tabelle 2

## Erdstreifenboden

Profil Nr. 91, Piz dal Fuorn, 2650 m über N.N., SSW, 33%								
Horizont	Boden aus der Tiefe in cm	pH in H <sub>2</sub> O	pH in n/10 KCl	Erdalkali- carbonate als CaCO <sub>3</sub> nach Scheibler %	Org. Subs- tanz %	C %	N %	C : N

Rille (=Schuttstreifen):

A <sub>sk</sub> A <sub>h</sub>	0-3	7,9	7,7	106,1	1,47	0,85	0,06	14,2
--------------------------------	-----	-----	-----	-------	------	------	------	------

Erdstreifen:

A <sub>h1</sub>	0-1	7,9	7,7	102,2	1,97	1,14	0,10	11,4
A <sub>h2</sub>	2-9	8,0	7,7	101,2	1,88	1,09	0,08	13,6
A <sub>h</sub> C <sub>v</sub>	10-15	8,2	7,9	105,2	1,19	0,69	0,03	-
C <sub>v</sub>	15-25	8,6	8,4	106,0	0,14	0,08	0,02	-

Horizont	Boden aus der Tiefe in cm	Skelett in der Boden- probe %	Feinerde enthält in %				
			Ton ◀0,002 mm	Schluff 0,002- -0,02 mm	Staub 0,02- 0,062 mm	Feinsand 0,062- 0,2 mm	Grobsand 0,2-2,0 mm

Rille (=Schuttstreifen):

A <sub>sk</sub> A <sub>h</sub>	0-3	60,1	3,8	4,5	19,5	21,2	51,0
--------------------------------	-----	------	-----	-----	------	------	------

Erdstreifen:

A <sub>h1</sub>	0-1	35,6	5,4	9,0	33,5	26,1	26,0
A <sub>h2</sub>	2-9	43,2	4,8	8,7	27,5	21,8	37,2
A <sub>h</sub> C <sub>v</sub>	10-15	47,5	3,0	9,7	24,8	23,2	39,3
C <sub>v</sub>	15-25	37,2	2,8	10,3	18,5	15,6	52,8

die Bodenoberfläche beschränkt und am besten im Frühjahr unmittelbar nach der Schneeschmelze zu beobachten;

- 2) Erosionsgräben. Hierzu gehören m.E. die von B. Hückel (1960, S. 55) als Streifenböden bezeichneten Formen im Kreuzkar in der Hornbachkette (Allgäuer Alpen) sowie der untere Teil der Streifenformen, die ich auf dem Westhang des Grießkopfes oberhalb des Kaiserjoches (2310 m) in den Lechtaler Alpen beobachtet habe;
- 3) vereinzelte größere und kleinere Streifen und Blockrinnen - von Steinen + gefüllte Gräben und Rinnen, die man in verschiedenen Höhenlagen findet und die in erster Linie auf Erosion und Materialtransport durch fließendes Wasser zurückzuführen sind und
- 4) Schuttstreifen im Gefälle, die genetisch nichts mit dem darunterliegenden Boden zu tun haben, sondern aus den höheren Lagen stammen und auf betreffenden Boden nur in Form langgezogener Schuttungen zur Ablagerung gekommen sind.

- - - - -

Das vorliegende Referat stellt einen Teil der Untersuchungsergebnisse dar, die im Rahmen des Forschungsvorhabens "Bodenentwicklung auf Kalk und Dolomit im mittleren Abschnitt des Alpenmassivs" gewonnen wurden. Dieses Forschungsvorhaben kam auf Anregung von Herrn Prof. Ganssen zustande und wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt, wofür ich ihnen auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank sagen möchte. Herrn Prof. Ganssen verdanke ich auch die freundliche Durchsicht des Manuskriptes. Herzlich danke ich ferner; Herrn Prof. Dr. Jean G. Baer, Neuchâtel, Präsident der Kommission für die wissenschaftliche Erforschung des Schweizerischen Nationalparks für die Erlaubnis im Parkgebiet zu forschen; den Herren Prof. Dr. V. Jacobshagen, Prof. Dr. R. Huckriede, Dipl. Geol. J. Westrup und Dipl. Geol. D. Helmcke, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Marburg, für die Auskünfte und Gewährung der Einsichtnahme in die nicht veröffentlichten Dissertationen und Diplomarbeiten; Herrn Prof. Dr. E. Oberdorfer und Herrn Dr. G. Philippi, Karlsruhe, für die Bestimmung der kritischen Pflanzen und Moose sowie Frau R. Goetze, Frau B. Rieser und Fräulein E. Rühmekorf, den technischen Assistentinnen des Instituts, für die Durchführung der Untersuchungen im Labor.

## Zusammenfassung

Die bodenkundlichen Untersuchungen, durchgeführt an verschiedenen Streifenformen der Allgäuer und Lechtaler Alpen und Engadiner Dolomiten, ermöglichen folgende Schlußfolgerungen:

- 1) Die untersuchten Streifenböden unterscheiden sich in ihrem Aufbau so stark voneinander, daß sie nicht zu einem Bodentyp vereinigt werden können; um so weniger wäre es gerechtfertigt, sie mit anderen Frostmusterböden zu einem Bodentyp oder zu einer höheren Einheit zu vereinigen.
- 2) In der alpinen Rasenstufe befinden sich Streifenböden, bei denen die Vegetations- und Skelettstreifen miteinander wechseln. Soweit sie aus Carbonatgesteinen hervorgegangen sind, handelt es sich um den Wechsel der Alpinen Rendzina im Sinne von W.L. Kubiens (1953) mit wenig entwickelten Rohböden oder mit erodierten Degradationsstadien der Alpinen Rendzina.
- 3) Für die Alpine Rendzina ist es gerade charakteristisch, daß sie meist eine Musterung ihrer Oberfläche aufweist, und zwar entweder in Form von Streifen im Gefälle und schräg zum Gefälle oder, noch am häufigsten, in Form von Girlanden.
- 4) Solche Musterung ist in der alpinen Rasenstufe nicht auf Böden aus Carbonatgesteinen beschränkt, sie kommt auch beim Alpinen Ranker vor.
- 5) Einen ganz anderen Aufbau haben die Erdstreifenböden, bei denen unbewachsene Erdstreifen mit ebenso unbewachsenen skelettreichen Rinnen (=Schuttstreifen) wechseln. Sie sind eine charakteristische Erscheinung der subnivalen Stufe, d.h. derjenigen Stufe in den Alpen, die zwischen der oberen Grenze der zusammenhängenden Alpenmatten und der Schneegrenze liegt. Die Erdstreifenböden sind aus Rohböden hervorgegangen und stimmen in ihren Eigenschaften weitgehend mit diesen überein. Sie könnten entweder als selbständige Bildungen, vollkommen unabhängig von den Streifenböden der alpinen Rasenstufe oder aber als Oberflächenform der Rohböden angesehen werden. Das letztere würde sich besonders dann empfehlen, wenn sich zeigen sollte, daß sie verhältnismäßig kurzfristige Erscheinungen darstellen. Bis jetzt ist aber über die Geschwindigkeit ihrer Entwicklung und Zerstörung meines Wissens noch nichts bekannt.

- 6) Da die gleiche Musterung auf verschiedenen Bodentypen möglich ist, empfiehlt es sich, die Musterung nicht als Hauptkriterium für die Einordnung der alpinen Streifenböden in die Bodenklassifikation zu nehmen; sondern zunächst eine Klassifikation nach den übrigen Merkmalen vorzunehmen und die Musterung lediglich als ein Merkmal für die Unterteilung der Böden auf einer niedrigeren Klassifikationsebene heranzuziehen. Dabei kann die Berücksichtigung der Musterung für eine bessere Charakterisierung der Boden- und Standortsverhältnisse nützlich sein.

## Schrifttum

- Ampferer, O., Reithofer, O. :  
Geologische Karte der Lechtaler Alpen: Arlberg-Gebiet.  
1:25.000. Geologische Bundesanstalt, Wien 1932.
- Cailleux, A. :  
Répartition en altitude des aspects du sol liés au froid.  
Compte Rendu Sommaire Soc. Géol. France, S. 92-93, Paris  
1948.
- Cailleux, A., Taylor, G. : Cryopédologie. Etude des sols gelés. Expéditions  
polaires françaises, Missions Paul-Emil Victor 4,  
Actualités Scientifique et Industrielles 1203, Hermann &  
Cie, Paris 1954.
- Capello, C.F. : Terminologia e sistematica dei fenomeni dovuti al gelo discontinuo. Università di Torino, Pubblicazioni della Facoltà di Magistero, 17. Giappichelli, Torino 1960.
- Dylik, J., Raynal, R. : Tendances nouvelles dans les recherches périglaciaires depuis le Congrès International de Géographie. à Rio de Janeiro. Biuletyn Peryglacjalny, Nr. 15, S. 5-26, Łódz 1966.
- Eberle, G. :  
Streifenböden am Aufstieg zum Hochvogel. Natur und Volk  
82, S. 1-9, Frankfurt/Main 1952.
- Furrer, G. :  
Soliflukationsformen im Schweizerischen Nationalpark. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen des schweiz. Nationalparks, N.F. Bd. 4, S. 201-275 u. 52 Abb. auf Tafeln, Liestal 1954 (=Diss. Univ. Zürich).

- Furrer, G.: Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen untersucht in den Bündner und Walliser Alpen und verglichen mit den Verhältnissen im oberen Braldo und Biafotal (Karakorum). Habilitationsschrift, Zürich 1965.
- Gracani, Z.: Zur Nomenklatur der Bodenhorizonte erodierter skeletthaltiger Böden. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk., 101, S. 42-48, Weinheim/Bergstr. 1963.
- Höllermann, P. W.: Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Beispiel des oberen Suldentales (Ortlergruppe). Z.f. Geomorphologie, Supplementbd. 4, VII + 257 S., Berlin-Nikolassee 1964.
- Höllermann, P. W.: Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen (mit Ergänzungen aus dem Apennin und dem Französischen Zentralplateau). Göttinger Geogr. Abh., H. 40, Göttingen 1967.
- Huckriede, R.: Die Geologie der Umgebung von Kaisers (Lechtaler Alpen). Diss., masch.-schr., Marburg/Lahn 1957.
- Hüchel, B.: Geologie der Hornbachkette (Tirol). Diss., masch.-schr., Marburg/Lahn 1960.
- Jacobshagen, V.: Geologie des Hornbachgebietes und der Allgäuer Hauptmulde südöstlich Oberstdorf. Diss., masch.-schr., Marburg/Lahn 1957.
- Kubiena, W. L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Ferdinand Enke, Stuttgart 1953.
- Mohaupt, W.: Beobachtungen über Bodenversetzungen und Kammeisbildungen aus dem Stubai und dem Grödener Tal. Diss. Hamburg 1932.
- Mückenhausen, E. u. a.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag, Frankfurt/Main 1962
- Nangeroni, G.: Studi sui "fenomeni periglaciali". Ricercha Scientifica, Jg. 28, S. 808-811, Roma 1958.
- Pelišek, J.: Políckovitě a terasovitě pudy ve Vysokých a Belanských Tatrách. Geografický Časopis, Jg. 5, S. 9-21, Bratislava 1953.

- Pelišek, J. : Tundrové půdy v jižní krasové oblasti Bělských Tater. Československy Kras, Bd. 6, S. 11 - 14, Brno 1953a.
- Salomon, W. : Arktische Bodenformen in den Alpen. Sitzungsberichte der Heidelberger Akad. d. Wiss., Mathem.-naturwiss. Klasse, Jahrg. 1929, Abh. 5, Berlin und Leipzig 1929.
- Sekyra, J. : Působení mrazu na půdu. Kryopedologie se zvláštním zřetelem k ČR. Geotechnica, Bd. 27. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha 1960.
- Stengel-Rutkowski, W. : Die Geologie der Umgebung von Lech (Vorarlberg). Diss., masch.-schr., Marburg/Lahn 1960.
- Troll, C. : Strukturböden, Solifluktion und Frostklimata der Erde. Geol. Rundschau, Bd. 34, S. 545-694, Stuttgart 1944.
- Válek, B. : Die Böden des Süd-Kaldidalur-Gebietes auf Südwest-Island und ihre Vegetationsbeziehungen. Rozpravy Československé Akademie Věd, Rada matem. a přírodních věd, Jg. 69, H. 8, S. 1-36, Praha 1959.
- Westrup, J. : Das Gerstrubener Fenster in den Allgäuer Kalkalpen und seine Umgebung. Diplomarbeit, masch.-schr., Marburg/Lahn 1966.





Bild 1 Streifenböden auf dem Kapall-Sattel, 2320 m über N. N. , in den Lechtaler Alpen. Wechsel der Vegetationsstreifen aus dem Polsterseggenrasen (*Caricetum firmae*/Kerner/Br. -Bl. 1926) und den Streifen aus Grus und meist kelien Steinen. Aufn. vom Verf.



Bild 2 Streifenböden im Gefälle, zugleich in der Hauptwindrichtung. Kapall, nördlich der Bergstation des Sesselliftes, ca. 2330 m über N. N. Lechtaler Alpen. Aufn. vom Verf.



Abb. 3

Vegetations- und Skelettstreifen etwas schräg zum Gefälle (Flanke einer Hangnase), zugleich in der Hauptwindrichtung. Vegetationsstreifen: Caricetum firmæ/Kerner/ Br. -Bl. 1926 mit *Carex firma* Mygind, *Salix retusa* L.; *Bartsia alpina* L., *Silene cucubalus* Wib. ssp. *Prostrata* (Gaud.) Becherer, *Polygonum viviparum* L., *Androsace chamaejasme* Wulf, u. a. Südhang swe Kleinspitze, 2350 m über N. N., Neigung 55%; auf dem Weg Lech a. A. - Butzenspitze-Kleinspitze-Braunarlspitze-Göppinger Hütte (Lechtaler Alpen).  
Aufn. v. Verf.



Bild 4

Schwach entwickelte Alpine Rendzina im Vegetations- und Skelettstreifen vom Bild 3.  
Aufn. v. Verfasser

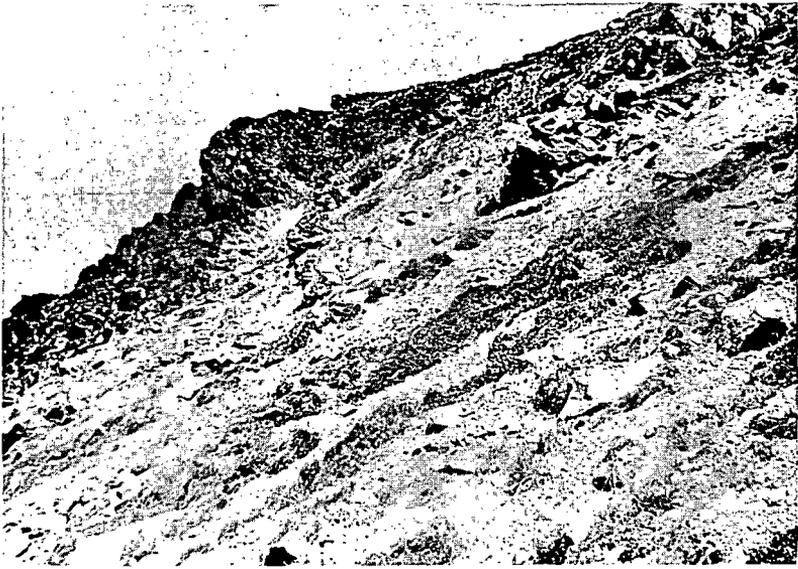


Bild 5 Wechsel der Vegetations- und Skelettstreifen in Alpinem Ranker bei 2480 m über N. N. auf dem Weg Alp Languard-Piz Languard. Aufn. v. Verf.



Bild 6 Breite Hangnase aus Hauptdolomit mit Erdstreifenböden bei ca. 2650 m über N. N. auf dem Südwesthang des Piz dal Fuorn. Blickrichtung talwärts. Aufn. v. Verf.

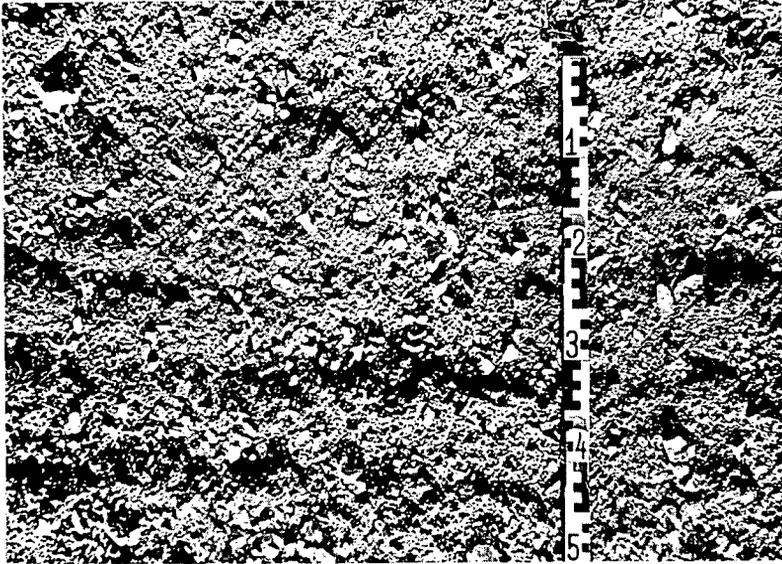


Bild 7 Detail der Bodenoberfläche desselben Erdstreifenbodens. Die etwas höheren Erdstreifen und die Schuttstreifen (in Rillen) liegen im Gefälle. Aufn. v. Verf.



Bild 8 Profil des Erdstreifenbodens. Ein Teil des lockeren Schuttes wurde aus einigen Rillen bereits herausgenommen. Piz dal Fuorn, 2650 m über N. N., Hauptdolomit. Aufn. v. Verf.

Entstehung und Eigenschaften von Böden in Hanglagen - ein  
Beispiel aus der Kreide-Löß-Landschaft des nördlichen Harz-  
vorlandes

Rudolf Lüders +)

Die Böden, die hier beschrieben werden, liegen am Stirnhang (NNE-Hang) des Kleinen Fallsteins, einem herzynisch streichenden Schichtkamm im nördlichen Harzvorland. Die nach SSW einfallenden Tone der Unterkreide treten am Hang zutage. Den First des Schichtkammes bilden Sandsteine der Unterkreide, den Rückhang Kalke der Oberkreide. Die Ausgangsgesteine der Böden sind also die Kreidesedimente und der sie bedeckende Löß.

Durch hangabwärts gerichteten Transport von festen und von gelösten Stoffen sind die Böden an einem Hang miteinander verbunden. Dieser Transport läßt sich bis ins Pleistozän hinein zurückverfolgen.

Die Oberfläche des Hanges besteht aus verschiedenen alten Hangschuttbildungen, die hangaufwärts zunehmend jünger werden und folgendermaßen gegliedert sind:

1. Roter Ton (umgelagerte Terra rossa?)
2. Loßähnliche Verwitterungsbildung (nach der mikropaläontologischen Analyse <sup>1)</sup> Quartär sowie Oberes Campan und Unteres Turon - also Oberkreide)
3. Fließerde aus Kreideton mit Kalksteinen (Unteres Turon <sup>1)</sup>)
4. Fließerde aus Kreideton mit Sandsteinen.

---

+ ) Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

1) H. Hiltermann und W. Koch, Bundesanstalt für Bodenforschung Hannover

Die jüngste Fließerde (4.) überdeckt eine fossile Bodenbildung aus Kreideton mit einem  $^{14}\text{C}$ -Alter der organischen Substanz (145-155 cm u. Gel.) von  $24\,865 \pm 1100$  Jahren vor 1950 <sup>2)</sup>.

Aus der Zusammensetzung der Hangsedimente kann der Schluß gezogen werden, daß die Kalke der Oberkreide noch im Pleistozän den First des Schichtkammes gebildet haben, wahrscheinlich jedoch nicht mehr zur Zeit des Paudorf-Interstadials (s. Höchstalter und Zusammensetzung der jüngsten Fließerde),

Jüngere Erosionsvorgänge am Hang sind insbesondere eine Folge der Entwaldung und der Ackernutzung. So entstanden tiefe Rinnen, in denen gelöste Stoffe hangabwärts fließen. Rinnen und untere Hanglagen sind mit Kolluvium bedeckt, das von den Lößböden stammt. Der gesamte Hangfuß trägt eine mächtige Lößdecke.

Die Eigenschaften der Böden sind insbesondere durch das Material bedingt, aus dem sie entstanden sind. Aus Kreideton und toniger Fließerde haben sich Pseudogleye sehr geringer Durchlässigkeit entwickelt. Die weiteren Analysen dieser Böden <sup>3)</sup> brachten folgende Ergebnisse:

1. Sehr geringer Anteil grober Poren, hoher Anteil feiner Poren; daher schlechte Durchlüftung und relativ geringe nutzbare Feldkapazität.
2. Sehr geringes Porenvolumen ( 35 % und weniger ) in der Fließerde zwischen 80 und 130 cm u. Gel.
3. Wesentlich größeres Porenvolumen und relativ hoher Anteil an Grobporen im fossilen A-Horizont.
4. Magnesiumsättigung im Pseudogley aus anstehendem Kreideton etwa doppelt so hoch wie in der tonigen Fließerde.
5. Leitfähigkeit des Sättigungsextraktes von der Oberfläche bis zum fossilen A-Horizont bis auf 2,4 mmho/cm zunehmend.

In dieser Tiefe also würden salzempfindliche Pflanzen in ihrem Wachstum gestört werden.

---

2) M. Geyh, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover

3) P. Benecke, jetzt Hann.-Münden, H. Fastabend, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover, O. Strebel, Bundesanstalt für Bodenforschung Hannover

6. Zusammensetzung der Salze im Sättigungsextrakt: im Oberboden vorwiegend Calcium - und Magnesiumsulfat, im Unterboden Calciumbicarbonat. Dieses Ergebnis zeigt wohl reduzierende Bedingungen und geringe Durchlässigkeit an.

Die übrigen Böden am Hang sind Pseudogley-Braunerden aus geringmächtigem Löß über Kreideton, Rendzina (Pararendzina) und kalkhaltiger Pseudogley aus toniger Fließerde mit Kalksteinen, Pararendzina und Braunerde aus lößähnlicher Verwitterungsbildung.

Im mächtigen Löß am Hangfuß ist die Art der Bodenbildung vorwiegend von der Entkalkungstiefe abhängig. Verhindert wird die Entkalkung durch Hang- und Grundwasser. Kalkausscheidungen an der Bodenoberfläche finden in tieferen Lagen statt. Dementsprechend sind die aus Löß entstandenen Böden hangabwärts, also mit abnehmender Entkalkungstiefe gegliedert in : Parabraunerde, schwarzerdeähnliche Braunerde, entkalkte Schwarzerde, kalkhaltige Schwarzerde und Schwarzerde-Gley.

Da kalkhaltiges Hangwasser eine Weiterentwicklung der Schwarzerde verhindert und stabilisierend auf das Bodengefüge wirkt, kommt Löß-Schwarzerde stellenweise auch am Oberhang vor.

Einige Eigenschaften der Böden aus Löß bringen die folgenden Analyseergebnisse zum Ausdruck:

1. Im Porenvolumen der Schwarzerde hoher Anteil an groben Poren, die eine gute Wasserbewegung und Durchlüftung gewährleisten.
2. Im vom Grundwasser beeinflussten Löß nimmt das Porenvolumen auf 36-37 % ab.
3. Leitfähigkeiten im Sättigungsextrakt von Schwarzerde und Schwarzerde-Gley zwischen 1 und 1,5 mmho/cm.
4. Zusammensetzung der Salze im Sättigungsextrakt aus der Schwarzerde: Überwiegend Calciumbicarbonat und Calciumsulfat. Das Bicarbonat ist hier wohl als ein Maß für die intensive biologische Tätigkeit anzusehen.
5. Zusammensetzung der Salze im Sättigungsextrakt aus dem Schwarzerde-Gley: Im Oberboden überwiegend Calciumsulfat, im tieferen Unterboden (zeitweiliger Grundwasserbereich) neben Calciumsulfat auch ein wesentlicher Anteil an Calciumbicarbonat.

Wenn das Bicarbonat bei der Schwarzerde die intensive biologische Tätigkeit demonstriert, so findet diese im Oberboden des Schwarzerde-Gleyes nicht in vergleichbarem Maße statt.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse erfolgt an anderer Stelle.

## Besonderheiten der Ton- und Eisenverlagerung in Parabraun- erden aus Sandlöß südwestlich von Bremen

G. Roeschmann <sup>+)</sup>

Die Bodenuntersuchungen fanden in den Jahren 1964 und 1965 während bodenkundlicher Kartierarbeiten im Syke-Goldenstedter-Sandlöß-Gebiet in der Umgebung von Syke und südlich von Wildeshausen statt. Der jungpleistozäne, primär äolisch abgelagerte Sandlöß (Fiedler u. Altermann 1964; nach Dewers 1931 auch als Flottsand bezeichnet) zieht sich in dünner, 0,5 - 1,0 m mächtiger Decke über Höhen, Hänge und Täler des Gebietes und liegt sowohl über pleistozänen Sanden, als auch über Drenthe-Grundmoräne oder pleistozänem Beckenschluff. An Hängen und in Tälern dürfte es sich häufig um sekundär umgelagertes Sandlöß-Material handeln. Bei den Kartierarbeiten konnten drei Faziesformen des Sandlösses beobachtet werden:

1. Schluffige Fazies, häufig lößähnlich (60-80% Schluff).
2. Sandige Fazies als Übergang zum Flugsand, mit 30-60% Schluff.
3. Wechsellagerungs-Fazies als feingeschichteter Schluff im Wechsel mit Sandschichten von 0,5-10 cm Mächtigkeit.

Zwischen diesen Faziesformen bestehen alle möglichen Übergänge.

Auf dem Sandlöß haben sich vorwiegend polygenetische, wechselnd pseudovergleyte Parabraunerden (Braunerde-Lessivées und Pseudogleye entwickelt, die örtlich mehr oder weniger podsoliert sind (Roeschmann 1957 und 1963). In Gebieten mit sandiger Sandlöß-Fazies treten häufig Podsole auf. Die Parabraunerden zeigen eine deutliche Horizont-Differenzierung in einen fahlbräunlichen bis gelblichbraunen Al-Horizont (4 - 8 Gew. % Ton = Kornfraktion von  $< 2 \mu$  Durchmesser) und einem rötlichbraunen Bt-Horizont (9 - 16 Gew. % Ton). Die Unterschiede im Tongehalt der beiden Horizonte betragen in der Regel 4 - 10 Gew. %. Der Gehalt an dithionitlöslichem Eisen

---

<sup>+)</sup> Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

(Fe<sub>D</sub>) lag in den Al-Horizonten von vier typischen Bodenprofilen zwischen 0,33 und 0,40 Gew.%, in den dazugehörigen Bt-Horizonten zwischen 0,50 und 0,86 Gew.%. Die Tonfraktion dieser Böden enthielt 4-9 % dithionitlösliches Eisen. Davon waren in den Al-Horizonten 42-50 %, in den Bt-Horizonten 34-37% oxalatlöslich (Fe<sub>O</sub>). Daraus geht hervor, daß auch Eisenverbindungen an dem vertikalen Stofftransport beteiligt sind, und daß deren lösungsfähigere oxalatlösliche Anteile in den Al-Horizonten relativ stärker vertreten sind als in den Bt-Horizonten.

Bei der Bodenkartierung wurde häufig ein starker Wechsel der im Bohrer beobachteten Bodenprofile auf kleinstem Raum beobachtet, der die Gliederung und Abgrenzung der Böden erschwerte. Aus diesem Grunde war es notwendig, die fraglichen Böden in möglichst vielen Aufgrabungen und Aufschlüssen näher kennenzulernen. Dies war besonders in einem 1,5 - 2,0 m tiefen, viele Kilometer langen Graben beim Bau der Ferngasleitung Wilhelmshaven-Ruhrgebiet möglich. Die Untersuchungen ergaben, daß die starken Bodenunterschiede einerseits häufig durch einen kleinflächigen Wechsel der Sandlöß-Fazies hervorgerufen werden. Sie liegen aber vor allem in der unterschiedlichen Ausbildung und Tiefenlage der Bt-Horizonte und ihrer oft stark zerrissenen Obergrenze begründet. Die "Zerrissenheit" läßt sich auf folgende Bodenmerkmale zurückführen, die teilweise einzeln, oft aber auch kombiniert miteinander in den Böden auftreten:

1. Nicht selten werden die rötlichbraunen, dichten Bt-Horizonte von einem Netzwerk senkrechter, unregelmäßig breiter keilförmiger Spalten durchzogen, die mit hellem Bodenmaterial des darüberliegenden Al-Horizontes gefüllt sind. Sie werden als Relikte von spätglazialen Eisspaltennetzen gedeutet (ROESCHMANN 1963). Ähnliche Spaltennetz-Relikte wurden z.B. auch in mitteleuropäischen Sandlöß-Böden (M. Altermann, schriftl. Mitteilung 1964), in Staublehmen des Alpenrandes (JANEKOVIC 1961) sowie in Böden aus Drenthe-Grundmoränen Nordwestdeutschlands (Heinemann 1964, Roeschmann 1967) beobachtet.

Die seitliche Begrenzung der hier beschriebenen, im oberen Teil bis zu 20 cm breiten Spalten ist teilweise scharf und wird in vielen Fällen durch einen 0,5-1,0 cm breiten rostigen Saum überprägt. Unter dem Mikroskop erwies sich dieser Saum in der Regel als eine parallel oder schräg zur Spaltengrenze verlaufende Ansammlung + paralleler, girlandenförmiger Mikrobänder aus sekundär gefällten Eisenverbindungen von 0,1 - 0,5 mm Stärke, die sowohl im hellen Material der Spaltenfüllung als auch im benachbarten, rötlichbraunen Bt-Horizont auftraten. Eine sekundäre Tonanreicherung wurde in den Spalten nicht beobachtet.

2. Zusätzlich werden die Bt-Horizonte häufig von einem Netzwerk senkrechter, 0,5 - 2,0 cm breiter spaltenähnlicher Bleichungszonen durchzogen. Diese besitzen die gleiche Korngrößenzusammensetzung in der Schluff- und Sandfraktion wie der benachbarte Bt-Horizont, aber einen geringeren Ton- und Eisengehalt. Es handelt sich hierbei also nicht um mit Fremdmaterial gefüllte, ehemals offene Spalten, wie sie unter 1. beschrieben wurden, sondern wahrscheinlich um Bleichungshöfe in der nächsten Umgebung von feinen Schrumpfungsrissen im Bt-Horizont, die bei tieferer Austrocknung des Bodens entstanden sein können (mündlicher Hinweis von E. Schönhals, 1963). Auch an eine Bildung von Schrumpfungsrissen infolge starker Austrocknung nach Waldbränden oder nach Brandrodung ist zu denken. Die Risse dienten in nassen Zeiten als bevorzugte Leitbahnen für saure Sickerwässer aus dem oft mehr oder weniger podsolierten Oberboden. An wenigen Stellen war der Verlauf der Risse an einem dünnen, flächigen Geflecht feiner Wurzeln im Innern der Bleichzonen zu erkennen. Die Bleichung kann also auch mindestens teilweise auf die reduzierende, lösende Wirkung von Wurzel-ausscheidungen auf den umgebenden Boden zurückgeführt werden.
3. Häufig ist der obere Teil des Bt-Horizonts aber unabhängig von den beschriebenen Spaltennetzen in scharfkantige Einzelbrocken "aufgelöst". Es hat sich ein 10-20 cm mächtiger Al-Bt-Übergangshorizont gebildet, in dessen oberen Teil sowohl scharf als auch unscharf begrenzte, polyederförmige Bt-Horizont-Reste <sup>1)</sup> inselförmig im fahlbräunlichen ungeschichteten Al-Horizont-Material "schwimmen", während im unteren Teil des Übergangshorizontes zwischen den älteren, dichten Bt-Horizont-Resten (15 Gew% Ton; 0,88 Gew% FeD; 0,31 Gew% FeO), jüngere, z. T. feingebänderte Anreicherungen von Ton- und Eisenverbindungen (11 Gew% Ton; 0,61 Gew% FeD; 0,50 Gew% FeO) zu beobachten sind. Diese Feinbänderung tritt fast ausschließlich in landwirtschaftlich genutzten Parabraunerden auf. Die Obergrenze des darunter folgenden kompakten Bt-Horizontes ist in der Regel scharf. Sie verläuft zwar generell parallel zur Erdoberfläche, reicht aber häufig mit zackigen Ausläufern in den Übergangshorizont hinein (siehe Abbildung).

---

1) Die Reste des alten Bt-Horizontes weisen z. T. noch die im ursprünglichen Sandlösssediment vorhanden gewesene Feinschichtung zwischen Schluff und Feinsand auf.

Das Auftreten des beschriebenen Al-Bt-Übergangshorizontes, dessen unterer Teil eine sekundäre Ton- und Eisenanreicherung in Form von Feinbändern zeigt, läßt eine Tieferlegung der Obergrenze des ursprünglichen Bt-Horizontes erkennen. Seine Entstehung kann auf Grund der bisherigen Beobachtungen wie folgt erklärt werden:

Zunächst hat eine mechanische Zerstörung des oberen Teiles des Bt-Horizontes stattgefunden, durch die Bruchstücke des ursprünglich kompakten Bt-Horizontes mit dem Al-Horizont vermischt wurden. Dies kann z.B. durch wühlende Bodentiere, durch das Wachstum größerer Baumwurzeln oder durch umstürzende Bäume geschehen sein: Anschliffe und Dünnschliffe des Übergangshorizontes zeigten deutliche Spuren grabender Bodentiere. Ihre Art und Lage ließ allerdings nur selten den Schluß zu, daß die Grabarbeit der Tiere die primäre Ursache der Bt-Horizont-Zerstörung war. In der Regel war zu erkennen, daß die Bodentiere lediglich bereits vorhandene Auflockerungszonen zur Anlage ihrer Grabgänge benutzt hatten.

Die Hauptursache für die Bildung des Übergangshorizontes dürfte vielmehr in der den Boden auflockernden Wirkung umstürzender Bäume <sup>2)</sup> zu sehen sein. Dies geht u. a. aus der Tatsache hervor, daß die Sandlöß-Parabraunerden mit den beschriebenen Al-Bt-Übergangshorizonten in Gebieten mit zahlreichen "Baumsturzlöchern" auftreten, über die in einer späteren Arbeit ausführlicher berichtet werden soll. An einer beim Bau der Ferngasleitung Wilhelmshaven-Ruhrgebiet kurzfristig aufgeschlossenen Grabenwandung sind z. B. im Gebiet westlich von Colrade auf einer Strecke von 500 m 26 derartige "Baumsturzlöcher" beobachtet worden. Es handelt sich dabei um Querschnitte ehemaliger schüsselartiger Vertiefungen mit stark gestörtem natürlichem Bodenprofil. Die ehemals horizontalen Bodenhorizonte der dortigen Braunerden und Parabraunerden wurden hier beim Sturz der Bäume mit dem Hauptwurzelwerk herausgerissen und in gestörtem Zustand mehr oder weniger senkrecht gestellt. In der Umgebung der Bäume sind die flacheren, in der Grenzzone zwischen Al- und Bt-Horizont verlaufenden Baumwurzeln beim Sturz der Bäume möglicherweise vor dem Abreißen ein Stück mitgerissen worden, haben die oberen Teile des Bt-Horizontes aufgelockert oder aufgerissen und so zur Entstehung des Übergangshorizontes beigetragen (siehe Abbildung). Ähnliche Wirkungen dürften auch beim Sturz flachwurzelnder Bäume unterhalb der Wurzelteiler auftreten, ohne daß der tiefere Teil des Bodenprofils gestört wird.

---

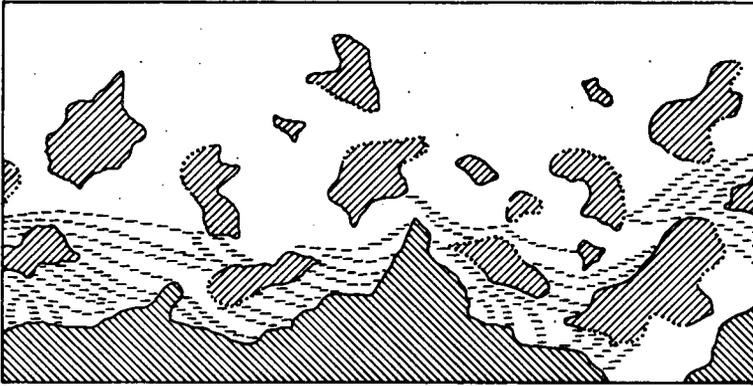
2) Dewers (1931) weist bereits auf diese Möglichkeit hin, um die örtlich im Sandlöß vorkommenden Steine zu erklären.

Nach dieser primären, mechanischen Einwirkung folgte dann in dem neu entstandenen, aufgelockerten Übergangshorizont eine sekundäre vertikale Verlagerung von Ton- und Eisenverbindungen über kurze Strecken und eine jüngere Anreicherung dieser Stoffe zwischen den alten Bt-Horizont-Relikten in Form feiner Bänder. Das Feinmaterial dieser sekundären Anreicherungszone dürfte zum großen Teil aus den z. T. zerrissen erscheinenden Randzonen der polyederartigen Bt-Horizont-Bruchstücke stammen. Auch die oft unscharfen Grenzen der Bruchstücke und ihre z. T. allmählichen Übergänge zum umgebenden Al-Horizont-Material legen diesen Schluß nahe.

Die Wiederbelebung der Tonverlagerung in diesen unter Wald stets stark versauerten Böden wird u. a. durch die mechanische Auflockerung des Bodens beim Baumsturz - und vielleicht auch schon beim Schwanken der Bäume im Wind - sowie durch den Anstieg der pH-Werte im Zuge der landwirtschaftlichen Nutzung und Düngung erklärlich. Die pH-Werte der Al-Horizonte liegen unter Acker heute häufig zwischen pH 5,0 und 5,5.

#### LITERATUR

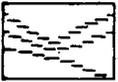
- Dewers, F.: Flottsandgebiete in Nordwestdeutschland, ein Beitrag zum Lößproblem. - Abh. Nat. Ver. Bremen, 28, 131-204, Bremen 1931/32.
- Fiedler, H.J. u. Altermann, M.: Verbreitung, Entstehung und Eigenschaften von Sandlöß ("Flottsand") im Norddeutschen Flachland und angrenzenden Gebieten. - Geologie 13, H. 10, 1199-1228, Berlin 1964.
- Heinemann, B.: Die Böden der Drenthe-Grundmoräne im Hümmling. - 217 S., Diss. Hannover 1964.
- Janekovic, G.: Über das Alter und den Bildungsprozeß von Pseudogley aus pleistozänem Staublehm am südwestlichen Rande des panonischen Beckens. - Mitt. Österreich. Bodenkundl. Ges. 6, 184-189, Wien 1961.
- Roeschmann, G.: Die Bodenbildung auf dem Flottsand im Bereich des Großblattes Bremen 1:100 000. - Manuskript, Niedersächs. L.-Amt Bodenforsch. Hannover 1957.
- " Zur Entstehungsgeschichte von Parabraunerden und Pseudogleyen aus Sandlöß südlich von Bremen. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 117, 286-302, Stuttgart 1963.
- " Pleistocene soil relics of various ages in soils of Northwest Germany. - VII. Inqua-Congress, Proceedings, Vol. 9 ("Quaternary Soils"), Reno/Nevada, USA, 1967.



10 cm



Fahlbräunlicher Al-Horizont



Hellrötlichbrauner, feingebänderter  
Bt-Horizont



Rötlichbraune Bruchstücke des kompakten Bt-Horizontes  
mit scharfer (ausgezogene Grenze) und unscharfer Be-  
grenzung (punktierter Grenze)



Rötlichbrauner kompakter  
Bt-Horizont

Ausschnitt des Al-Bt-Übergangshorizontes einer Sandlöß-Parabraunerde  
südlich von Wildeshausen (senkrechter Schnitt, schematisch)

Beobachtungen zum Karbonathaushalt von Lehmböden und  
ihre Bedeutung für Fragen der Bodensystematik

H. Wichtmann <sup>+)</sup>

Mit dem Karbonathaushalt von Lehmböden kann man sich aus verschiedenen Gründen nützlich beschäftigen, denn zwischen Karbonatversorgung und Bodeneigenschaften gibt es verschiedene wichtige Beziehungen. Sie sind gerade in letzter Zeit wiederholt untersucht und dargestellt worden und deshalb sicher soweit bekannt, daß sich ein allgemeines Eingehen darauf erübrigt.

Statt sie näher zu beleuchten, möchte ich deshalb direkt auf die Zusammenhänge zwischen Bodensystematik und Karbonathaushalt eingehen. Wichtig scheint hier, daß diese Beziehungen von zwei durchaus gegensätzlichen Gesichtspunkten aus beurteilt werden können. Die Karbonatverteilung in einem Bodenprofil ist nämlich ein Merkmal, das eine bestimmte Bodenentwicklung widerspiegelt, zum anderen ein Faktor, der die ökologischen Eigenschaften eines Standorts auch unabhängig von der Bodengnese maßgeblich bestimmt.

In unserer Systematik überwiegt gelegentlich deutlich der zweite Gesichtspunkt. Zu den Kalkbraunerden beispielsweise werden die Böden zusammengefaßt (Mückenhausen 1962), die sekundär durch aufsteigendes oder hangwärts ziehendes kalkhaltiges Wasser, durch Einwehung von Kalkstaub oder durch sonstige Einmischung von Kalk kalkhaltig geworden oder primär kalkhaltig sedimentiert sind (kalkhaltige Kolluvien). Das bedeutet, daß hier der Kalkgehalt nur als Faktor der Bodenfruchtbarkeit gesehen, als Merkmal der Bodenentwicklung aber vernachlässigt wird.

---

<sup>+)</sup>  Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

Als Grund für dieses ungewöhnliche Vorgehen dürften drei Punkte eine Rolle spielen:

1. hat der Kalkgehalt eine so wesentliche Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit, daß eine Berücksichtigung dieses Faktors in der Systematik auf jeden Fall, auch unabhängig von der Genese, geboten schien,
2. wurde möglicherweise die Bedeutung einer genetisch bedingten Karbonatanreicherung in ökologischer Hinsicht unterschätzt,
3. wird sicher auch die Schwierigkeit eine Rolle gespielt haben, zwischen einer genetisch bedingten Karbonatanreicherung und einer künstlichen bzw. lithogen vorgegebenen zu unterscheiden.

Mag man daraufhin den Eindruck haben, daß die Beziehungen zwischen Karbonathaushalt und Bodensystematik stellenweise noch zu wenig differenziert sind, wenn solch unterschiedliche Faktoren wie Grundwasser, Hangnässe, Kalkemissionen der Industrie, Kalkdüngung und Bodenerosion zu ein und demselben Bodentyp der Kalkbraunerde hinführen, so ist doch nicht zu leugnen, daß die bisherige systematische Einordnung wichtige Gründe für sich hat bzw. daß eine Neuordnung schwierig ist, so wünschenswert und notwendig sie auch erscheint. Ich möchte versuchen, Notwendigkeit und Möglichkeit einer solchen Neuordnung darzulegen und stütze mich dabei auf Erfahrungen im Rahmen der Bodenkartierung und Beobachtungen an verschiedenen Bodentypen in Nordrhein-Westfalen.

Als erstes steht die Frage der Notwendigkeit an. Zwei Vega-Gleye <sup>++</sup> des Efrttales scheinen geeignet, zu zeigen, worum es geht.

Die Darstellung zeigt zwei Bodenprofile aus Schwemmlöß mit ganz unterschiedlichem Karbonathaushalt bei gleicher Tiefenlage des Gr-Horizonts. Das eine ist in 1.0 m Tiefe karbonathaltig, in 0,30 m jedoch stark sauer (pH 3,7). Das andere ist im Gr-Horizont karbonatfrei, hat aber im Oberboden über 5 % Karbonat (meist in Form von Konkretionen) und natürlich ein pH von etwa 7 in allen Horizonten.

++) Der Name Vega-Gley wird im Sinne von Roeschmann, 1960, verstanden.

Für die Kartieranleitung der Geologischen Landesämter ist zur Zeit die Bezeichnung Brauner Auenboden-Gley in Aussicht genommen.

Diese beträchtlichen Unterschiede im Karbonathaushalt sind selbstverständlich von großer ökologischer Bedeutung. Selbstverständlich ist die Struktur der Böden unterschiedlich. Natürlich ist auch die Trophie der beiden Standorte nicht gleich.

Aber damit nicht genug. Viel wesentlicher erscheint die Tatsache, daß das eine Bodenprofil durch das Überwiegen des Stofftransports von oben nach unten, das andere dagegen von unten nach oben gekennzeichnet ist. Da das kalkhaltige Profil im Bereich einer Grundwasserabsenkung liegt, war es nicht möglich, Beobachtungen über die Stärke der Grundwasserschwankungen zu machen, die zu der hier vorliegenden Karbonatanreicherung geführt haben. Auch das tiefhumose Bodenprofil gibt diesbezüglich keine Anhaltspunkte. Wenn man sich jedoch die physikalischen Vorgänge der Karbonatausfällung vor Augen führt, kann man sagen, daß sie ganz erheblich gewesen sein müssen und vermutlich den Standort viel stärker in seinen Eigenschaften bestimmt haben, als der Karbonatgehalt es selbst je zu tun vermochte.

Es ist bekannt, daß die Löslichkeit des Kalzium-Karbonats im Wasser vornehmlich durch Temperatur und  $\text{CO}_2$ -Druck geregelt wird. Erwärmung und Minderung des  $\text{CO}_2$ -Druckes setzen die Löslichkeit herab und führen zur Karbonat-Ausfällung.

Weniger bekannt bzw. häufig übersehen dürfte jedoch sein, welche Mengen karbonatreichen Grundwassers für eine Ca-Anreicherung notwendig sind.

Gehen wir zum Beispiel von einem Grundwasser aus, das bei  $6^\circ\text{C}$  in Kontakt mit einer 1 %  $\text{CO}_2$ -haltigen Bodenluft steht und dementsprechend rd. 300 mg  $\text{CaCO}_3$ /l als Bikarbonat gelöst enthält. Im Kontakt mit der Außenluft und nach einer Temperaturerhöhung von  $10^\circ$  würde nach Wiegner (zitiert nach Di Gleria u. a. 1962) der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt auf 62 sinken. Nehmen wir einen Grundwasseranstieg im Boden durch Zuzug solch extrem karbonatreichen Grundwassers um 50 cm an, was nach wasserwirtschaftlichen Faustzahlen einer Zufuhr von 100 l Wasser/qm entspricht, dann würde durch eine im obengenannten Umfang stattfindende Karbonatausfällung die Menge von nur knapp soviel ausgeschieden, wie jährlich durch Auswaschung verloren geht (Werte von Gerlach bzw. Pfaff 142 bis 263 kg CaO/ha, zitiert Scheffer-Schachtschabel 1960). Tatsächlich müssen, wenn eine Karbonatanreicherung aus dem Grundwasser heraus erfolgen soll, ganz erhebliche Mengen Grundwasser zur Verfügung stehen. Einen Eindruck von dieser Menge wird vielleicht eine Beobachtung vermitteln, die im vorigen Jahr gemacht werden konnte (Wichtmann 1967).

In den Gemarkungen Binsfeld und Kelz, beide im Kreis Düren und unmittelbar in der Nähe des Ursprungs gelegen, traten im Frühjahr vorigen Jahres plötzlich starke Bodenvernässungen auf, so daß sich in kurzer Zeit als neuer geographischer Begriff der Name "Kelzer Seenplatte" einführte. Die Vernässungen waren so stark und hielten so lange an, daß ca. 100 ha Ackerland eine subhydrische Phase von 5 Monaten durchliefen. Ursache der Vernässung waren plötzlicher Anstieg und Austreten kalkhaltigen Grundwassers mit fast 200 mg/l Ca, davon etwa die Hälfte als Karbonat. Nach Rückgang des Grundwassers im Herbst 1966 war der Boden an der Oberfläche erheblich mit Karbonat angereichert. Ich habe zur Feststellung der Karbonatzufuhr ein Profil im Raum Kelz, ein anderes im Raum Binsfeld untersucht. Das Profil im Raum Kelz war nur an der Oberfläche kalkhaltig und enthielt auf die Fläche umgerechnet pro qm 250 g, pro ha also 2,5 t Karbonat. Für diese Karbonatanreicherung wären bei einem extrem hohen Karbonatgehalt von 300 mg/l Erwärmung und Belüftung von über 1,0 cbm Grundwasser/qm notwendig gewesen. Das zweite Profil im Raum Binsfeld war in seiner ganzen Tiefe karbonathaltig, was eine Erfassung der diesjährigen Karbonatzufuhr unmöglich machte. Der Karbonatgehalt lag bis in 45 cm Tiefe bei etwas über 1%, darunter bei 0,1 bis 0,3 %. Vom Wasserhaushalt gesehen, ist der Unterschied zwischen den beiden Böden durchaus verständlich, insofern als der Andrang und Abfluß des Grundwassers im Raum Binsfeld erheblich stärker waren als im Raum Kelz.

Diese Beobachtungen werfen die Frage auf, ob eine starke Ca-Anreicherung aus dem Grundwasser nicht grundsätzlich nur an der Bodenoberfläche stattfinden kann. Diese Frage ist zweifellos nicht nur deshalb berechtigt, weil nur bei Grundwasser- Austritt die großen Wassermengen zur Verfügung stehen, die zu einer Karbonatanreicherung notwendig sind. Auch andere Überlegungen weisen in die gleiche Richtung.

So nehmen im Boden selbst einmal die für die Ca-Ausfällung wichtigen Temperaturschwankungen erheblich ab. Die täglichen Schwankungen gehen nach Dvoracsek (in Di Gleria, Klimes-Szmik und Dvoracsek 1962) im Sommer allgemein zwar bis 1 m u.O., sind aber mit zunehmender Bodentiefe unbedeutend, denn sie betragen in 50 cm u.O. z.B. nur noch 1°C, während an heißen Sommertagen an der Oberfläche Schwankungen bis zu 70°C auftreten sollen. Zum anderen werden auch die Voraussetzungen zur Diffusion der Kohlensäure im Boden ungünstig. Sie verläuft ja nach der Buckingham'schen Formel  $D = k \cdot S^2$  in stärkster Abhängigkeit vom freien Porenvolumen S, für das wir in der Zone des Kapillarsaums immer nur geringe

Werte einsetzen können. Wir müssen deshalb annehmen, daß eine gelegentliche, extrem starke Vernässung das typische Kennzeichen einer Karbonatanreicherung aus dem Grundwasser darstellt.

Diese Annahme wird bestätigt durch die Ausbildung der Bodenprofile, deren hydromorphe Überprägung verhältnismäßig gering ist. Eine regelmäßige subhydrische Phase würde man den Böden im Raum Binsfeld - Kelz, deren Profil sich kaum von dem einer stark pseudovergleyten Parabraunerde unterscheidet, ebenso wenig zutrauen wie den zahlreichen anderen Böden mit Ca-Anreicherung, die ich kennengelernt habe.

Wenn aber eine Phase extrem starker Bodenvernässung das typische Kennzeichen der Ca-Anreicherung aus dem Grundwasser darstellt, ist es keine Frage, daß es notwendig ist, diese Böden von den künstlich mit Karbonat angereicherten oder vom Sediment her kalkhaltigen Böden abzutrennen. -

Damit kommen wir zu der zweiten, ebenso wichtigen Frage, ob es möglich ist, einen pedogen bedingten Karbonatgehalt von einem lithogen vorgegebenen oder künstlich erzeugten zu unterscheiden.

Nach meinen Erfahrungen ist diese Unterscheidung nicht ganz leicht und nicht in jedem Falle absolut sicher durchzuführen, aber es gibt doch einige zuverlässige Anhaltspunkte.

Als Kennzeichen einer sekundären Aufkalkung ist erstens die charakteristische Ausbildung der Kalkkonkretionen zu nennen. Im Vergleich zu den Lößkindeln oder den röhrenförmigen Konkretionen in den Cc-Horizonten sind die Konkretionen in den sekundär aufgekalkten Böden anders in Form und Festigkeit. Man könnte sie als bröckelig bezeichnen. Außerdem sind sie stärker porös, weniger kompakt, in feuchtem Zustand schmierig, im trockenen zwischen den Fingern zerreibbar. Sie haben damit in ihrer Konsistenz eine große Ähnlichkeit mit dem in Süddeutschland als "Alm" bezeichneten Quellkalk, der kürzlich von Vidal, Brunacker, Körner, Hartel, Schuch und Vogel eingehend beschrieben worden ist (1966).

Die zweite Möglichkeit zum Nachweis einer sekundären Kalkanreicherung ergibt sich aus der Verbreitung der kalkhaltigen Böden. Auf M.-Bl. Soest z.B. ist ein großer Teil der Böden bis in den Ah-Horizont hinein kalkhaltig. Ihre Verbreitung

steht in engem Zusammenhang mit dem Grundwassereinfluß. Die Grundwasserböden sind im wesentlichen auf den Nordteil des Blattes, die Niederbörde, beschränkt:

Bei einem Grundwasserstand zwischen 1,3 und 2 m sind 89 von 1592 ha kalkhaltig = 6 %.

Bei Grundwasser zwischen 0,8 und 1,3 m sind 364 von 864 ha kalkhaltig = 42 %.

Bei Grundwasser zwischen 0,4 und 0,8 sind 266 von 434 ha kalkhaltig = 62 %.

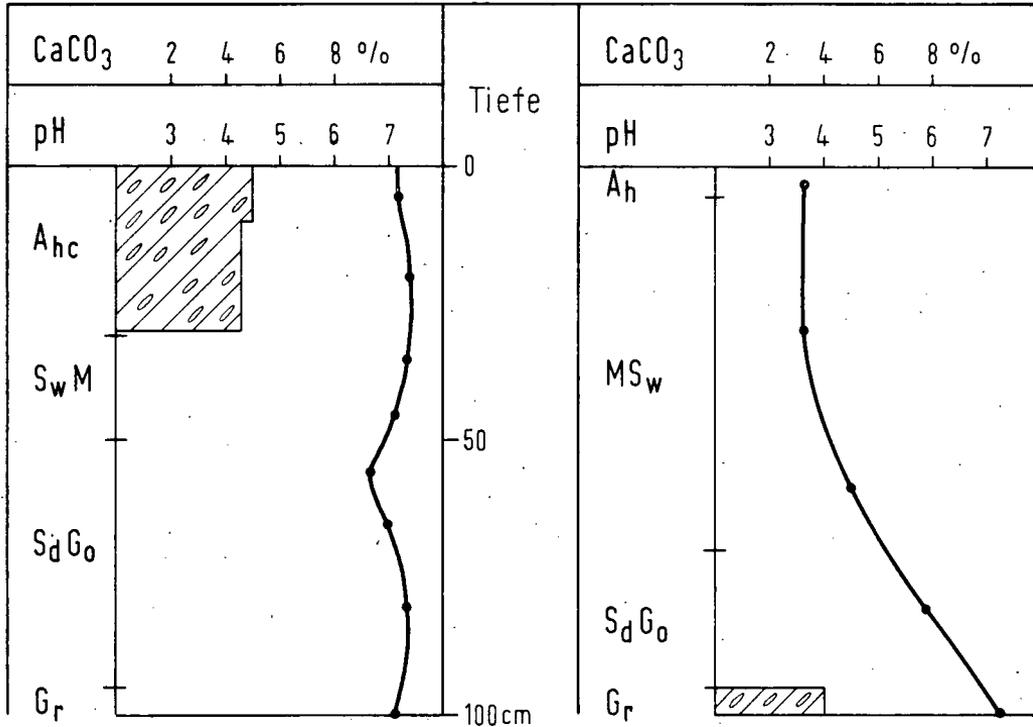
Außerdem beschränkt sich die Verbreitung der kalkhaltigen Böden auf die in den Tälern gelegenen Flächen. Dagegen sind die Tallehme in den nicht vom Grundwasser beeinflussten Trockentälern im südlichen Blatteil kalkfrei. Daraus ergibt sich mit Sicherheit, daß die kalkhaltigen Böden sekundär aufgekalkt sind. -

Ich weiß nicht, ob die aufgezeigten Wege die einzigen Möglichkeiten zum Nachweis einer sekundären Kalkanreicherung sind. Ebenso wenig ist sicher, ob man auf diese Weise eine sekundäre Kalkanreicherung in jedem Falle nachweisen kann. Schwierigkeiten der Diagnose wird es vermutlich vor allem dann geben, wenn im Einzugsbereich von Flüssen primär kalkhaltiges Material abgeschlämmt und in den Tälern sedimentiert wird. Schwierigkeiten der Diagnose aber bedeuten selbstverständlich Schwierigkeiten für die systematische Einordnung. Trotzdem ist, so möchte ich annehmen, eine Verbesserung der Systematik notwendig und möglich. Sie würde m.E. darin bestehen, daß mit dem jeweiligen Subtyp Kalkbraunerde, Kalkparabraunerde, Kalkvega usw. nur diejenigen Böden bezeichnet werden, bei denen eine pedogene Karbonatanreicherung nachgewiesen ist. Ist der Nachweis nicht möglich, sollte man sich mit dem Zusatz "kalkhaltig", also Braunerde, kalkhaltig, usw. begnügen. Das jedenfalls würde der Regel entsprechen, daß für die systematische Zuordnung der Böden die pedogen bedingten Merkmale entscheidend sind, während lithogen oder künstlich beigebrachte Merkmale erst bei der Bildung der Bodenform berücksichtigt werden können.

## Literatur

- Baver, L.D. : Soil Physics. New York, London. 1948
- Di Gleria, J.,  
Klimes-Szmik, A.,  
Dvorascek, M. : Bodenphysik und Bodenkolloidik.  
Jena 1962
- Mückenhausen, M. Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden  
der Bundesrepublik Deutschland.  
Frankfurt/Main 1962.
- Roeschmann, G. : Die Grundwasserböden des Ernstales zwischen Rheine  
und Papenburg und ihre Beziehungen zur Geschichte  
des Emslaufes.  
Geol. Jahrb. 77, 1960, S. 741
- Scheffer, F.  
Schachtschabel, P. : Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde;  
I. Teil, Bodenkunde.  
Stuttgart 1960.
- Vidal, H., Brunnacker, K.,  
Brunnacker, M., Körner, H.,  
Hartel, F., Schuch, M., Der Alm im Erdinger Moos  
Vogel, J.C. : Geologica Bavaria 56, S. 177 - 200, 1966
- Wichtmann, H. : Gutachten des Geologischen Landesamtes NW über Ur-  
sache und Beseitigung von Nässeschäden im Bereich der  
Gemarkung Kelz.  
Unveröf. Manuskri. Archiv des Geol. Landesamtes.  
Krefeld 1967.

# Karbonatverteilung und Bodenreaktion von zwei Vega-Gleyen des Erfttales



## Erosion in der Türkei und die Probleme des Bodenschutzes

Akalan, İlhan <sup>+)</sup>

Die Türkei ist ein Agrarland, dessen Einwohner zu 80 % aus Bauern bestehen. Der Bevölkerungszuwachs beträgt 3 % pro Jahr. Demgegenüber verringert sich die nutzbare Ackerfläche und die Fruchtbarkeit der Böden ständig.

Die Nutzungsart der türkischen Böden ist wie folgt:

Ackerbau .....	24.972.000 ha
Weideland .....	29.500.000 ha
Wald .....	10.584.000 ha
Alkali- und Alkalisalz-Böden und	
Moorböden .....	800.000 ha
Wildoliven u. Pistazien Gebüsch .....	1.000.000 ha
Landwirtschaftlich nicht nutzbar .....	11.340.000 ha

Ein Drittel der ca. 25 Mil. ha großen Ackerbaufläche ist stark erodiert und deshalb schlecht anbaufähig. Die stärkste Erosion in der Türkei zeigt sich besonders auf dieser Fläche.

Die Weiden machen 1/3 der gesamten Landesfläche aus. Da sie nicht dem Privateigentum, sondern der Öffentlichkeit gehören, werden sie stark geweidet, und dies verursacht eine starke Wasser- und Winderosion.

Der Waldbestand der Türkei liegt weit unter der idealen Grenze; nur 13,8 % der Landesfläche ist bewaldet. Ein großer Teil der Wälder wird unplanmäßig bewirtschaftet und ist deshalb sehr schwach entwickelt. Die intensiven Forschungen

---

+) Ziraat Fakültesi, Toprak Kürstüsü, Ankara /Türkei

zeigen deutlich, daß die Wälder früher eine viel größere Fläche bedeckten. Die Böden, die früher mit Wäldern bedeckt waren und heute als Ackerbaufelder oder Weiden benutzt werden, sind noch stärker erodiert oder erosionsgefährdet. Der Waldbrand und die Ziegen sind zwei wichtige Faktoren, die Erosion verursachen.

Die ackerbaulich nutzbare Fläche ist ca. 25 Millionen ha groß; davon sind 7 Mill. ha nicht oder nur wenig, 6 Mill. ha mittelmäßig, 4 Mill. ha stark und 8 Mill. ha sehr stark erodiert.

In der Türkei werden jährlich 400 bis 500 Mill. Tonnen Böden durch Wasser ins Meer abgetragen. Wenn keine Maßnahmen ergriffen werden, kann sich diese Menge von Jahr zu Jahr vergrößern.

Um in der Türkei die maximale Ausnutzung der Böden und die Reduzierung der Erosion zu ermöglichen, werden folgende Maßnahmen ergriffen:

1. Die gründlichen Bodenuntersuchungen
2. Landklassifikation nach ihrer Nutzbarkeit
3. Maßnahmen zur Ausdehnungsmöglichkeit der Nutzflächen
  - a) Bodenschutzmaßnahmen
  - b) Drainage und Verbesserung der Salzböden
  - c) Verbesserung der steinigen und felsigen Gelände.
4. Maßnahmen zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch
  - a) Bewässerung
  - b) Düngung
  - c) Geeignete Bewirtschaftungsmethoden.

## Schema der Böden und Bodennutzung in typischen Bildungs-

### räumen der Erde <sup>+)</sup>

Ganssen, R.

Die wissenschaftliche Erforschung der Verbreitung der Böden hat uns gelehrt, in welcher Weise diese Verteilung von den in den jeweiligen Landschaften wirksamen Stoffen, Kräften und Energien abhängt. Bei weltweiter Betrachtung kommt neben dem Klima und der von ihm abhängigen Lebewelt (Pflanzen, Tiere) zunächst neben dem Relief und dem von ihm zum großen Teil abhängigen Zuschußwasser (Fremdwasser als Stauwasser oder fließendes Grundwasser) auch der Gesteinsart große Bedeutung zu; bekanntlich bezeichnet man diese das Werden und Vergehen der Böden steuernden Kräfte und Stoffe als Faktoren der Bodenbildung.

Auf Abb. 1 und 2 sind deshalb zunächst Temperaturzonen der Erde (polar bis tropisch) und Befeuchtung (etwa entsprechend den steigenden Niederschlägen von extrem arid bis perhumid) dargestellt. Auf Abb. 2 werden durch verschiedene Unterstreichungen und Umgrenzungen Besonderheiten des Wasserhaushalts der Böden (fließendes bzw. stagnierendes Grundwasser), Neigung zu Wechselfeuchte und Klimaeigenarten vermerkt. Gesteinswirkungen, wie sie gerade in der Temperaturzone "kühl-gemäßigt" eine große Rolle spielen, sind durch Unterscheidung silikatischer bzw. silikatisch-quarzitischer und karbonatischer Gesteine (Kalke, Dolomite) dargestellt. Auf diese Weise gelingt es, alle bekannten Böden in das Schema einzuordnen, und zwar nicht nur die zonalen, sondern auch die intrazonalen, überwiegend durch außerklimatische Faktoren geformten Böden.

So findet man z.B. Böden der Podsolierung im Raum der feuchtkühlen Klimate (Df nach Köppen); Podsolierungen können allerdings auch in wärmeren Gebieten ablaufen, so etwa bei den Red and Yellow Podzolic Soils (Südöstl. USA) mit Cf-Klima, ferner in Mitteleuropa und sogar in feuchten Tropen, sofern aus irgendwelchen Ursachen eine Ansammlung saurer Humusmassen mit genü-

+) Institut für Bodenkunde, Freiburg/Br., Bertoldstr. 17

gender Bodendurchfeuchtung möglich ist (z.B. in Niederungen mit anmoorigen Böden wärmerer Gebiete), wobei allerdings in der Regel Gleypodsole statt echter Podsole auftreten. Auch hier sind chelatisierende, also den Podsolierungsprozeß fördernde Vorgänge örtlich begrenzt möglich. Das Hauptverbreitungsgebiet typischer Podsole mit großflächigem Auftreten befindet sich jedoch in den Nordkontinenten unter kühlfeuchten Klimabedingungen.

Das Schema erklärt ferner das Fehlen von Böden innerhalb des Raumes "tropisch-arid", da wegen des äquatorialen Regengürtels dort kaum Trockengebiete vorkommen. Ebenso wird auch das Zurücktreten von durchfeuchteten Böden im Raum "warmgemäßigt bzw. randtropisch-humid" als Folge des trockenheitsbringenden Passatgürtels der Subtropen verständlich.

Weiterhin gestattet das Schema der Abb. 2 Reihenfolgen zonaler und intrazonaler Böden abzulesen, so z.B. von Mitteleuropäischen Braunerden in unseren Feuchtgebieten (bzw. Podsolon und Grauen Waldböden im Norden) über die ausgelaugten und typischen Tschernoseme, kastanienfarbenen Böden und Halbwüstenböden bis zu den Kernwüsten mit fehlender Bodenbildung im extrem-ariden Sektor. Eine Reihe intrazonaler (wasserbeeinflusster) Böden von humid bis arid wären z.B.: Gleye - Planosole - Wiesenböden - Soloneze - Solontschake - Takyre. Böden in Gebieten mit scharf getrennten Regen- und Trockenzeiten (wechselfeuchte Böden und wechsellrockene Böden aus klimatischen und reliefbedingten Ursachen) findet man typisch im Sektor "semiarid/semihumid - warmgemäßigt/randtropisch" (Abb.2). Hierher gehören die Böden der Tirsifizierung, der Trocken- und Feuchtsavannen, Zimtfarbene Böden, Terre rosse u.a.; außer bei den letztgenannten Böden umfaßt die feuchte Zeit zumeist auch die heiße Zeit.

Auch die klimabedingten Grenzen der Bodenbildung kann man erkennen: sowohl nach der trocknen als auch nach der kalten Zone gehen die Böden zunächst in bodenartige Formen (z.B. Takyre bzw. Strukturböden) in bodenfreie Oberflächen (z.B. Wanderdünen bzw. Inlandeis) über (Abb.1).

Auch kennzeichnende Bodenbestandteile, wie etwa bestimmte Stoffgruppen, einfache Verbindungen, Ionen an Sorptionsträgern usw., häufen sich in kennzeichnender Weise an Böden in bestimmten klima- oder reliefbedingten Gebieten an und nehmen dadurch in unserem Schema bestimmte Räume ein; so z.B. sehr überwiegend  $\text{Ca}^{2+}$  (neben geringeren Mengen an  $\text{Mg}^{2+}$ ) bei Prärieböden und Tschernosemen. Im ariden Sektor bemerkt man ein Anwachsen der  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{Na}^+$  gegenüber  $\text{Ca}^{2+}$  (Kastanienfarbene und Halbwüstenböden), das sich bis zu einem Vorherrschen

des  $\text{Na}^+$  in Senkenböden (Solontschake, Soloneze) steigern kann. Freie Sesquioxide finden sich auffallend stark im Gebiet der wechselfeuchten Klimate (rube-fizierte und laterisierte Böden in Abb. 2).  $\text{H}^+$ , bzw.  $\text{Al}$ - und  $\text{Fe}^{3+}$  trifft man überwiegend auf der rechten (feuchten) Seite des Schemas (Böden der Podsolierung, versauerte Braunerden und Lessivés). In kühl-dauerfeuchten, aber auch tropisch-dauerfeuchten Böden am rechten Rand des Schemas sind Moor- und Anmoorböden mit reichlichen Anteilen an Huminstoffen vertreten.

Eine interessante Verteilung der Bodennutzung kann ebenfalls aus dem Schema Abb. 1 abgeleitet werden. Die intensiver genutzten fruchtbaren Böden (optimale Weizenenerträge) liegen in der Mitte des Schemas, wo sowohl eine niederschlagsbedingte Bodenauslaugung als auch ertragsvernichtende oder wesentlich beeinträchtigende Dürren fehlen. Überwiegend sind es Tschernoseme, die von Natur aus Langgrassteppen tragen, also Vegetationsgemeinschaften, die mit unseren Getreidearten verwandt sind.

Weniger fruchtbar sind die Böden, die sich nach der trockneren oder wärmeren Seite an die Tschernoseme in unserem Schema anschließen. Hier nimmt die Dürregefahr und -häufigkeit stark zu. Die an die Tschernoseme grenzenden dunklen Kastanienfarbenen Böden gestatten in günstigen Lagen ebenfalls noch Ackerbau, sonst meist nur Regenfeldbau; das gleiche gilt für einen Teil der Zimtfarbenen Böden und die in Senken oder unteren Hanglagen vorkommenden tirsifizierten Böden, die damit über einen günstigeren Wasserhaushalt verfügen. In Richtung zum stärker ariden Sektor (z.B. helle Kastanienfarbene Böden, Grauzimtfarbene Böden) findet man nur noch extensive, meist Weidenutzung; an relativ feuchteren Lagen dieses Types noch Rinderweide, in entsprechend trockneren Gebieten (z.B. auf Halbwüstenböden und Serosemen) Schafweide. Auch die innerhalb des ariden Sektors unseres Schemas liegenden Soloneze und Solontschake liefern höchstens dürftige Weidegräser, weil hier neben der Trockenheit auch freie Natriumsalze oder alkalische Reaktion fruchtbarkeitsvermindernd wirken. Auch die trocknen Gebirgsböden (Gebirgtschernoseme, -kastanienfarbene und -wüstenböden) lassen in der angegebenen Reihe eine steigende Aridität und abnehmende wirtschaftliche Möglichkeiten erkennen. Neben der Aridität läßt die Reliefenergie wegen der Gefahr der Bodenerosion selbst bei Gebirgtschernosemen nur beschränkt Ackerbau zu. Gehen wir in extrem trockne Gebiete, so hört (s. o.) jede Bodenbildung und -nutzung auf, sofern nicht durch Bewässerung ein Ausgleich des stets im Minimum befindlichen Wachstumsfaktors "Wasser" stattfindet. Die Bodengrenze nach "trocken" oder "kalt" ist gleichzeitig die natürliche Grenze der Ökumene (punktier-te Linie in Abb. 1).

Rechts der Tschernoseme in Abb. 1 beginnt im humiden Sektor die natürliche Waldbedeckung und damit die Holznutzung. Ein Teil der natürlichen Wälder ist in Ackerland umgewandelt; dies gilt besonders, wie auch aus dem Schema hervorgeht, für die den Tschernosemen naheliegenden Typen wie Prärieböden und manche Mitteleuropäische Braunerden und Sols lessivés; diese können z.T. durch intensive Bodenkultur fast die Fruchtbarkeit der Tschernoseme erreichen, so weit sie nicht in zu stark humiden oder kühlen Gebieten liegen und dadurch erheblicher Auslaugung und Versauerung ausgesetzt sind. Natürliche Podsole, besonders die Gebirgspodsole, stehen fast nur unter Waldnutzung (Nadel- und Mischwälder), während auf den vorgenannten Braunerden und Lessivés noch Waldreste vorhanden sind. Auch Rendzinen auf Kalk sind vorwiegend walddenutzt.

Wiesennutzung findet man weiter rechts in humiden bis perhumiden Gebieten, besonders auf den von Natur aus stärker wasserbeeinflussten (Marschböden, Gleye, z.T. Aueböden, Niedermoorböden). Weidenutzung im perhumiden Sektor trifft man auf Gebirgswiesenböden und Alpenhumus an.

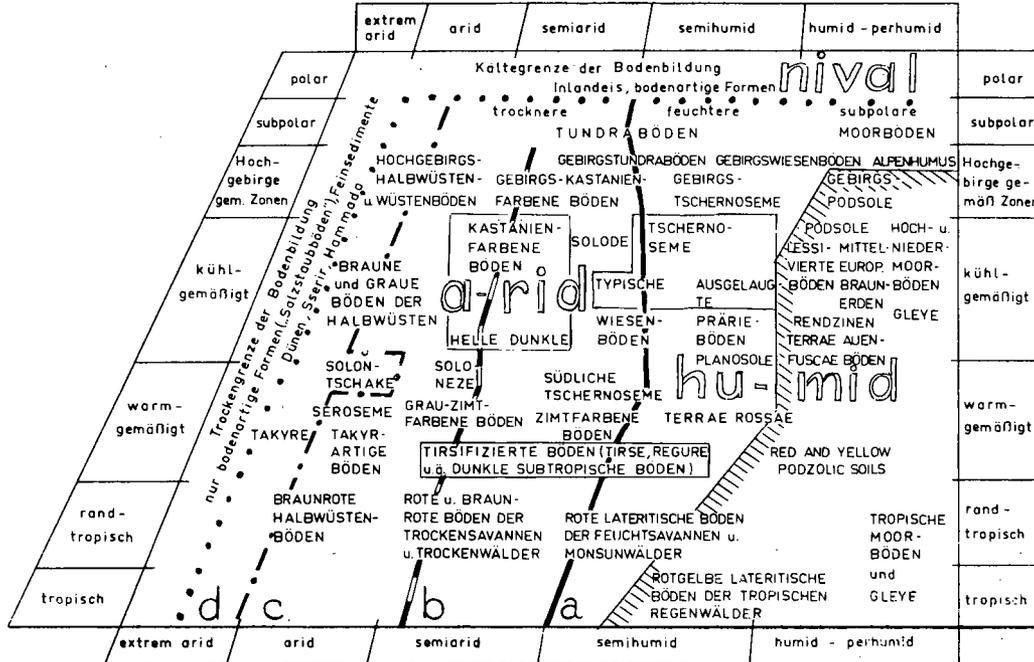


Abb. 1

Zonale und intrazonale Böden in typischen Bildungsräumen der Erde bzgl. humide, aride und nivale Klimate und Bodenutzung



Trockengrenze des Waldbaus und der Holzwirtschaft

Trockengrenze nach Panek zwischen humiden u. ariden Klimaten (Niederschlag etwa gleich Verdunstung)

Trockengrenze des Regenfeldbaus



Trockengrenze der Weidewirtschaft

Kälte- und Trockengrenze regelmäßiger Bodenbildung und natürlicher Ökumens

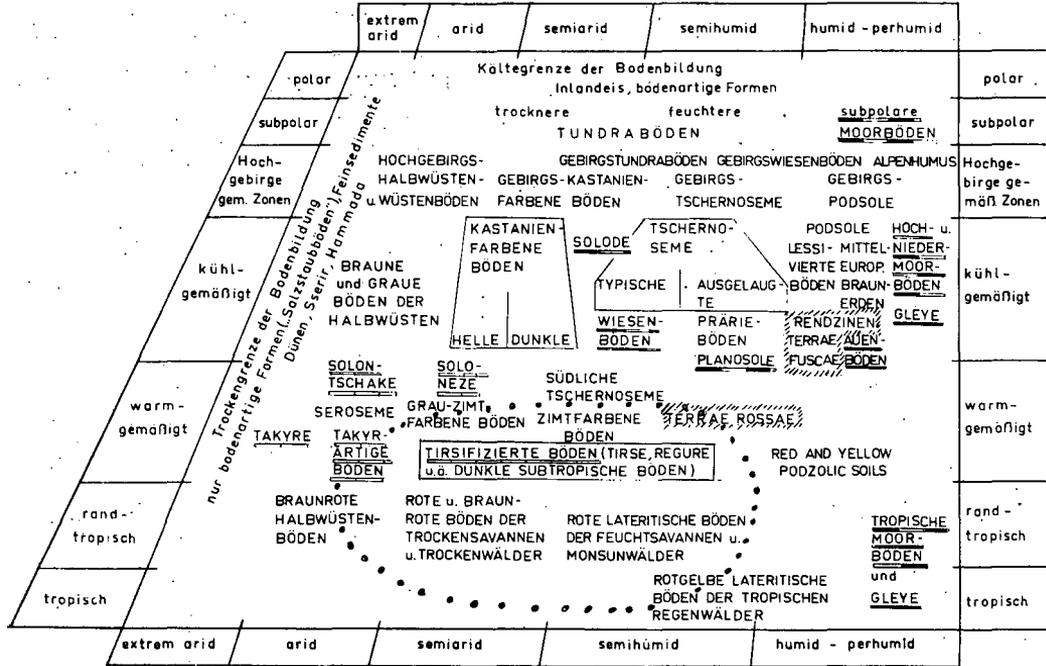


ABB. 2

Zonale und intrazonale Böden in typischen Bildungsräumen der Erde

ohne Unterzeichnung

-----

-----

-----

Zonale Böden aus silikatisch-quartzitischen Gesteinen

Intrazonale Böden aus Kalkstein oder Dolomit

Intrazonale Böden mit meist fließendem Grundwasser (im humiden Sektor)

Intrazonale Böden mit meist ganzjährig vorhandenem Stauwasser (im humiden Sektor)

-----

-----

-----

-----

Intrazonale Böden mit starker Wechselfeuchte und nur vorübergehendem Stauwasser (meist im ariden Sektor)

typisch wechselfeuchte und wechsel/trockene Klimabgebiete mit scharf getrennten Regen- und Trockenzeiten

## Der Beitrag der Bodenkunde für die naturräumliche Gliederung der Landschaft

G. Schaffer

Wer Länder und Kontinente im Flugzeug überquert, wird sich bei klarer Sicht dem Reiz der Landschaftsbetrachtung nicht entziehen können. Was sich dem Fußgänger als Singularität darbietet, z.B. der einzelne Berg, Fluß etc., wird, aus der Vogelperspektive betrachtet, in ein Landschaftsmuster eingewoben empfunden. Und es wird sich der Gedanke aufdrängen, daß dieses "Muster" oder die "Webart" zur Charakterisierung von Landschaften herangezogen werden könnte; der Wechsel des Musters wäre demnach auch zur Abgrenzung von verschiedenen Landschaften geeignet. Jedoch dieser Gedanke ist nicht neu! Schon mehr als 100 Jahre liegen die Versuche zurück, Teile der Erdoberfläche nach diesem Prinzip zu gliedern, ohne daß man die Möglichkeit hatte, die Landschaft aus größerer Höhe zu überblicken. So ließ 1854 B. Cotta in Leipzig eine Landschaftsgliederung erscheinen, die den Titel trägt:

"Deutschlands Boden, sein geologischer Bau und dessen Einwirkungen auf das Leben des Menschen". An diesen Versuch schlossen sich bis heute zahlreiche Arbeiten an, auf die weiter unten noch hinzuweisen sein wird.

Wenn man sich selbst etwas näher mit Landschaftsgliederung beschäftigen möchte, versucht man, sich Klarheit über die Grundbegriffe zu verschaffen. Dies stößt jedoch sofort auf eine Schwierigkeit, die nach E. Neef (1) darin besteht, daß bis heute noch keine allseitig anerkannte Definition des Landschaftsbegriffes erzielt wurde. Dieser Mangel soll jedoch kein Hindernis sein für den Versuch, den Gegenstand der Beschäftigung selbst zu umreißen.

Wenn man sich selbst etwas näher mit Landschaftsgliederung beschäftigen möchte, versucht man, sich Klarheit über die Grundbegriffe zu verschaffen. Dies stößt je-

---

+) Technische Universität Braunschweig, Pockelsstraße 4

doch sofort auf eine Schwierigkeit, die nach E. Neff (1) darin besteht, daß bis heute noch keine allseitig anerkannte Definition des Landschaftsbegriffes erzielt wurde. Dieser Mangel soll jedoch kein Hindernis sein für den Versuch, den Gegenstand der Beschäftigung selbst zu umreißen.

Wenn hier von Landschaft gesprochen wird, ist ein real und/oder ideel abgrenzbarer Teil der Erdoberfläche gemeint. Das ästhetische Moment ist demnach außer acht gelassen. Nur quantitativ erfaßbare Kriterien sind ausschlaggebend für die Abgrenzung und Gliederung eines bestimmten Oberflächenareals. Erfolgt diese Gliederung der Landschaft und die Umgrenzung von homogenen Einheiten nach ökologischen Gesichtspunkten, dann spricht man nach Schmithüsen (2) von einer naturräumlichen Gliederung. Wird hingegen eine alles umfassende Gliederung angestrebt, muß die Landschaft auch als Kultur- und Wirtschaftsraum aufgefaßt werden. Während sich mit der Erforschung der Landschaft in letzterem Sinne vor allem die Kultur-, Siedlungs- und Wirtschaftsgeographie, die Archäologie und die Nationalökonomie befassen, ist die Landschaft als Naturraum das Betätigungsfeld der Geowissenschaften. Deren Bemühungen richten sich demnach vornehmlich auf die naturräumliche Gliederung, sowie auf die ökologische Standortserkundung. Im Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands gibt Schmithüsen (2) einen ausführlichen Überblick über die bisherigen Arbeiten dieser Richtung. Ebenso wird von Gellert (3) die Entwicklung der systematischen Rayonierung Deutschlands skizziert und auf deren Problematik eingegangen.

Soll nun versucht werden, einige Gedanken über den Beitrag zu äußern, den die Bodenkunde als eine Geowissenschaft für die Charakterisierung und Abgrenzung von naturräumlichen Einheiten und ihrer systematischen Einordnung leisten kann, so ist eine vorauszuschickende Orientierung über die schon im Gebrauch befindliche hierarchische Ordnung der Landschaftseinheiten angebracht.

Die tabellarische Übersicht 1 über die begriffliche Ordnung der kartierbaren Einheiten in der Landschafts- und Bodenkunde läßt durch die Hinzusetzung des Maßstabes einer flächentreuen Darstellbarkeit aber auch schon erkennen, daß im folgenden weniger die theoretischen Grundlagen der Landschaftskunde als vielmehr die Kartierungspraxis und die konkrete Darstellung der Ergebnisse berührt werden sollen.

Es kann hier als bekannt vorausgesetzt werden, daß eine weitgehende Kongruenz der naturräumlichen Grundeinheit mit dem Verbreitungsgebiet der gleichen Bodenform auf der Grundlage der Subvarietät bis Subtyp in der Regel vorhanden ist, denn die den Naturraum bestimmenden Kriterien sind identisch mit den die Bodenbildung lenkenden Faktoren. Hier als auch dort werden im wesentlichen Klima, Relief, Vegetation und Tierwelt, die hydrologischen Verhältnisse und das geologische Ausgangsmaterial die Ökologie des Standortes und damit den Charakter der naturräumlichen Grundeinheit als auch die Bodenentwicklung weitgehend bestimmen. Dies trifft auch noch bei der nächst höheren Kategorie zu, so daß bei der praktischen Durchführung der naturräumlichen Aufnahme und Gliederung einer Landschaft im Maßstab um 1 : 100 000 die Bodenform auf der Grundlage des Typs oder die Bodengesellschaft unter Herausstellung eines Leit-typs als Abgrenzungskriterium für die naturräumliche Untereinheit (z. B. Fliesen-  
gruppe oder Fliesenkomplex) herangezogen werden kann. Mit kleiner werdendem Maßstab nimmt die praktische Bedeutung des Bodens als Abgrenzungskriterium allerdings schnell ab. An seine Stelle treten andere, sich als zweckmäßiger erweisende Fakten, die hier als dominante Kriterien bezeichnet werden, welche neben Korrektivkriterien für eine naturräumliche Gliederung in kleinem Darstellungsmaßstab herangezogen werden, wie es die Übersicht 2 erkennen läßt.

Übersicht 2      Orientierende Übersicht über die Kriterien zur naturräumlichen Gliederung der Erdoberfläche (im unterschiedlichen Kartenmaßstab)

Maßstabhinweis	Dominantes Kriterium	Korrektivkriterien
1 : 50 000	Pflanzengesellschaft	Boden, Kleinklima
1 : 100 000	Boden	geol. -petrographische Verhältnisse, Pflanzengesellschaft
1 : 1 Mio	Orohydrographische Verhältnisse	geobotanische Verhältnisse, Tierwelt
1 : 10 Mio	Großklima	Orohydrographische Verhältnisse

Welche Folgerungen ergeben sich nun aus diesen Überlegungen für die Kartierungspraxis.

Das wichtigste Ergebnis ist wohl, daß eine naturräumliche Gliederung im Maßstab um 1 : 100 000 und größer aus Zweckmäßigkeitsgründen vornehmlich nach bodenkundlichen Kriterien erfolgen soll. Das heißt, daß noch mehr als bisher für die Kartierungsarbeiten die Bodenkarten heranzuziehen wären. Vor allem bei der naturräumlichen Gliederung eines Gebietes, für das eine regionale Raumplanung beabsichtigt ist, können schon vorhandene Bodenkarten das Verfahren kostensparend abkürzen; auf diese Zusammenhänge ist der Verf. a.O. (9, 10) näher eingegangen.

Während dieser vorstehende Hinweis vor allem an den mit der Landesplanung beschäftigten Geographen gerichtet ist, kann aus der Tatsache, daß Bodenkarten immer einen unmittelbaren Verwendungszweck finden sollen (z.B. hier für die Raumplanung), eine weitere Folgerung, die den Bodenkundler angeht, abgeleitet werden. Legenden und Erläuterungen zu den Bodenkarten müssen nämlich so beschaffen sein, daß dem Benutzer bzw. hier dem Planer, eine subtile Interpretation erspart bleibt. Das bedeutet, daß mit kleiner werdendem Kartenmaßstab die Notwendigkeit wächst, Bodengesellschaften als Kartierungseinheiten zu bilden, die entsprechend dem Kartenmaßstab in sich homogen im ökologischen Sinne sind. Damit wird jedoch ein zentrales Problem der bodenkundlichen Kartierungspraxis angesprochen.

Nahezu jede Systematik und Klassifikation von Böden beruht auf der Tatsache, daß Morphologie, Dynamik und Genetik gleichwertige Kriterien für die Typisierung und hierarchische Einordnung liefern. Es gibt aber zweifelsohne viele Böden, deren Genese nahezu belanglos für die aktuelle Dynamik ist, die hier aber besonders interessiert. Die naturräumliche Gliederung einer Landschaft verlangt nämlich, daß in erster Linie ökologisch gleichartige, ähnliche oder verwandte Böden zu Kartierungseinheiten vereinigt werden. Hierbei können Böden zusammengefaßt werden, die ein "Muster" im eingangs erwähnten Sinne bilden, jedoch untereinander keineswegs genetisch verwandtschaftliche Beziehungen aufzuweisen brauchen. Die Bildung von Bodengesellschaften der verschiedensten Kategorien müssen deshalb vor allem unter Berücksichtigung der Ökologie des Standortes, d.h. der Morphologie und Dynamik, erfolgen. Hierzu liefert aber nicht nur die Bodenkunde die Abgrenzungskriterien und Inhaltscharakteristik der Kartierungseinheiten, sondern ebenso sind Fakten zu berücksichti-

gen, die die Vegetationskunde, die Tierökologie und die Klimatologie herstellt. Der kartierende Bodenkundler betreibt demnach Standortserkundung im weitesten Sinne des Wortes. Auf diese Weise gebildete Bodengesellschaften (als Kartierungseinheiten), die naturgemäß je nach Kartenmaßstab nach abgewandelten Grundsätzen zu erarbeiten sind, werden unmittelbar praktische und vielseitige Verwendung finden. Lediglich einige kurze Hinweise sollen abschließend dies noch erhellen.

Die Raumordnung und Landesplanung wird stets von der Tatsache ausgehen, daß ökologisch gleichartige Flächen von möglichst großer Ausdehnung einen optimalen ökonomischen Nutzeffekt haben. Ebenso wird jegliche Agrarplanung, insbesondere in den Entwicklungsländern, diesen Zusammenhang nicht unberücksichtigt lassen. Auch wird die Agrarstatistik in Zukunft die landwirtschaftlichen Produktionsziffern auf die naturräumlichen Einheiten beziehen müssen. Ernteergebnisse z. B., die auf politische Einheiten (Gemeinde, Kreis etc.) mit heterogener natürlicher Struktur (Boden, Klima) bezogen werden, erlauben keine Schlüsse bezüglich der Leistungsfähigkeit des natürlichen Standortes oder der Bodenfruchtbarkeit. Schließlich wird die allgemeine Landeskultur, die alle Maßnahmen für eine umfassende Landschaftsnutzung einschließt, auf natürliche Standorteigenschaften aufbauen müssen, um so zu einer inneren Harmonie im Landschaftsbild beizutragen.

## Literatur

1. Neef, E.  
Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre,  
1. Auflage, Leipzig 1967
2. Schmithüsen, J.  
Methodologische Einführung, im "Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands", Erste Lieferung, Verlag der Bundesanstalt für Landeskunde, Remagen, 1953
3. Gellert, F.  
Entwicklung und Problematik der naturräumlichen Gliederung (physisch-geographischen Rayonierung) Deutschlands, in: Forschungen und Fortschritte, 32. Jg., Heft 11, Berlin, 1958
4. Troll, C.  
Luftbildplan und ökologische Bodenforschungen, in:  
Z.d.Ges.f.Erdkunde zu Berlin, 1939
5. Troll, C.  
Methoden der Luftbildforschung, in: Sitzungsberichte europ. Geographen in Würzburg 1942, Leipzig, 1943
6. Paffen, K.H.  
Ökologische Landschaftsgliederung, in: Erdkunde - Archiv f. wiss. Geographie, 2, Bonn, 1948
7. Schmithüsen, J.  
Fliesengefüge und Ökotope, in: Ber. z. d. Landeskunde, 1948
8. Mückenhausen, E.  
Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG-Verlag, Frankfurt/M., 1962
9. Schaffer, G.  
Bodenkundliche Übersichtskarte für Raumplanungszwecke, in:  
Mitt. d. D. Bodenkdl. Ges., Bd. 4, 1965
10. Schaffer, G.  
Die Bodenkarte - Ein Hilfsmittel zur naturräumlichen Gliederung und Landesplanung, in: Zur Methodik der Regionalplanung. Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, 1968

Übersicht 1 Begriffliche Ordnung der kartierbaren Einheiten  
in der Landschafts- und Bodenkunde

Ökologische Landschaftseinheiten *)			Maßstab der Darstellbarkeit	Bodeneinheiten **)
Naturräumliche Grundeinheit	Landschaftselement oder Landschaftszelle	Fliese	1 : 5 000 bis 1 : 25 000	Bodenform/Subvarietät bis Bodenform/Subtyp
Naturräumliche Untereinheit	Teillandschaft oder Kleinlandschaft	Fliesengruppe bzw. Fliesenkomplex	1 : 50 000 bis 1 : 200 000	Bodenform/Typ oder Leittyp mit Vergesellschaftung
Naturräumliche Haupteinheit	Einzellandschaft	Fliesengefüge (bestehend aus Fliesengruppen und/oder Fliesen- komplexen)	1 : 300 000 bis 1 : 1 Mio	Bodenform/Typ bis Typengruppe bzw. Klasse oder Bodengesellschaft der Einzellandschaft
Großeinheit Obereinheit	Großlandschaft Landschaftsgruppe Landschaftsregion Landschaftszone Landschaftsgürtel		1 : 2 Mio bis 1 : 80 Mio	regionale Bodengesellschaft zonale Bodengesellschaft

\*) nach Troll (4,5) bzw. Paffen (6) oder Schmithüsen (2,7)

\*\* ) unter Berücksichtigung der B-Systematik nach Mückenhausen (8)



Die spät- und postglaziale Bodenentwicklung auf hoch-  
kalkhaltigen Flußsedimenten des Alpenvorlandes (darge-  
stellt an einer Bodenentwicklungsreihe der Lechterrassen)

Th. Diez <sup>+)</sup>

Der Lech bildet im Talabschnitt Schongau-Landsberg eine markante Terrassen-Treppe mit insgesamt 16 gut unterscheidbaren würm- und postwürmglazialen Terrassenstufen. Die ältesten Terrassenstufen sind durch Verknüpfung mit den Würm-Endmoränen, eine jüngere Stufe ist durch begrabene frühromische Funde relativ gut datierbar.

Die von nachträglicher Erosion verschont gebliebenen, ebenen Terrassenflächen, das relativ einheitliche, praktisch unverwitterte Ausgangsmaterial und das Fehlen junger Decksedimente gestatten in einzigartiger Weise das Studium der Bodenentwicklung in Abhängigkeit vom Faktor Zeit.

In der nachstehenden Übersicht sind die einzelnen Terrassenstufen nach ihrer Entstehung im Hoch-, Spät- und Postglazial gegliedert sowie in Bezug auf ihre maximalen Bodenbildungen kurz skizziert. Ein Vergleich der Boden erlaubt folgende Schlüsse:

1. Der Eistrückzug vom Maximalstand der Würmvereisung auf die Endmoränen am Nordrand des Füssener Beckens (Ammerseestadium) erfolgte relativ rasch; die Bodenbildungen der Stufen 1-6 sind deshalb annähernd gleich.
2. Im Spätglazial muß bereits eine intensive Bodenentwicklung stattgefunden haben, da weder die Böden der letzten Spätglazialterrasse noch die der postglazialen Terrassen den Entwicklungsgrad und die Entwicklungstiefe der Niederterrassenböden auch nur annähernd erreichen. Diese Folgerung wird dadurch gestützt, daß die Parabraunerden der Niederterrassen und der gleichalten Mo-

---

+) Bayerisches Geologisches Landesamt, München, Prinzregentenstraße 28

ränen häufig deutliche Kryoturbationserscheinungen zeigen, die auch den rötlichbraunen B<sub>t</sub>-Horizont miteinschließen.

3. Die Zunahme von Entwicklungsgrad und Entwicklungstiefe von Stufe 8 zu Stufe 10 ist auf die leichtere Verwitterbarkeit der nur den postglazialen Terrassen eigenen Flußmergelaufgabe zurückzuführen.

Die zeitliche Stellung der Lechterrassen und ihrer Bodenbildungen

	Terrassenstufe	Zeitmarken	Jahre vor heute	Ausgangsmaterial	Bodentyp	Entwicklungstiefe(cm)	
Hochglazial (Niederterrassen)	1 Hauptniederterrasse	Endmoränenstände	nördl. Hohenfurch (Maximalstand d. Würmvereisung)	~20 000	Schotter (Karbonatanteil ca. 75%)	Parabraunerde mit rötlich-braunem, tonig-lehmigem B <sub>t</sub> -Horizont („Blutlehm“)	40-50
	2 Stufe von St. Ursula						
	3 Stufe von Altenstadt						
	4 Stufe von Hohenfurch						
	5 St. v. Schongau-Peiting						
Spätglazial	6 St. v. Unterigling	am Nordrand des Füssener Beckens und b. Weilheim (Ammerseestadium)	~17 000				
	7 Zwischenstufe						
	8 Stufe von Friedheim						~10 000
Postglazial	9 St. v. Kaufering Bhf.			Schotter mit Flußmergelaufgabe (Karbonatanteil 60-70%)	Braunerde mit Tondurchschlammung	25-35	
	10 St. v. Zehnerhof				Braunerde mit schwacher Tondurchschlammung	22-28	
	11 Obere Epfachstufe				Braunerde	20-25	
	12 Untere Epfachstufe				Rendzinaartiger Auenboden (Borowina)	15-30	
	13 Obere Lorenzbergstufe				Junger Kalkauenboden (Kalkpaternia)	< 15	
	14 Untere Lorenzbergst.						
	15 Ältere Auenstufe	Frührömische Funde	~1600				
16 Jüngere Auenstufe							



## Bodenkunde an Ingenieurschulen

G. Schwerdtfeger <sup>†)</sup>

Das Thema enthält zwei Begriffe; über Bodenkunde brauche ich auf dieser Tagung keine Erläuterung zu geben. Für die Ingenieurschule ist es jedoch zweckmäßig, eine kurze Darstellung dieses Schultyps vorzunehmen.

Er hat sich in den letzten Jahren zu einer großen Geschlossenheit entwickelt. Es sind Bildungseinrichtungen besonderer Art entstanden, die weder zu den Berufs- und Fachschulen noch zu den Hochschulen gehören. In Zukunft sollen die Ingenieurschulen daher als Ingenieurakademien bezeichnet werden. Dies weist vor allem auf die Forderung hin, daß das Eingangsniveau auf dem Gebiet der allgemeinen schulischen Bildung der Studienbewerber künftig höher sein muß als bisher (1).

Zur Aufnahme in eine Ingenieurschule wird das Abschlußzeugnis einer Realschule oder das Versetzungszeugnis in die 11. Klasse einer Oberschule oder das Zeugnis der Fachschulreife verlangt. Schon heute hat etwa ein Viertel der Studierenden eine über diesen Schulabschluß hinausgehende Allgemeinbildung. Abiturienten sind bisher jedoch nur vereinzelt an Ingenieurschulen anzutreffen. Die geforderte praktische Vorbildung ist nicht einheitlich. Die Normalzeit von 96 Wochen kann für Abiturienten auf 78 Wochen verkürzt werden (2). Bei einer abgeschlossenen Lehre, die je nach Fachrichtung etwa ein Drittel bis zwei Drittel der Studierenden haben, ist ein Zusatzpraktikum zur Erfüllung der Ausbildungspläne erforderlich.

Das Studium dauert sechs Semester, die länger als die Hochschulseester sind. In jeder der etwa 18 Unterrichtswochen sind 36 Pflichtstunden zu besuchen. In

---

<sup>†)</sup> 3113 Suderburg/Uelzen, An der Napoleonsbrücke. 1

Staatliche Ingenieurakademie für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik

jeder der etwa 18 Unterrichtswochen sind 36 Pflichtstunden zu besuchen. In den oberen drei Semestern kommen dazu vier Wahlstunden. In der heutigen Ingenieurausbildung erfolgt eine Dreiteilung des Unterrichtsablaufes:

1. Lehrvortrag (Vorlesung)
2. Fachseminar und Praktikum
3. Übung als selbständige, berufsbezogene Arbeit.

Die Ingenieurvorprüfung ist am Schluß des dritten Semesters und die Ingenieurhauptprüfung am Schluß des sechsten Semesters abzulegen.

Diese einheitlichen Grundlagen gelten für alle 135 Ingenieurschulen im Bundesgebiet (3). Sie gliedern sich jedoch in zwanzig Fachrichtungen mit vielen, stark spezialisierten Abteilungen auf. Bodenkunde ist dabei ein Grundlagenfach für die Ingenieurschulen mit den Ausbildungsrichtungen Landbau, Gartenbau, Landschaftsbau und Grünplanung, Wasserwirtschaft und Kulturtechnik. In das System der Ingenieurschulen sind die Forstschulen bisher nicht mit einbezogen.

Da die Bodenkunde in den Ingenieurschulen am Anfang der Stundentafeln steht, ist es schwer, auf den erforderlichen Grundlagen anderer Fächer aufzubauen. Dies gilt sowohl für die naturwissenschaftlichen Fächer Chemie und Physik als auch für die speziellen Gebiete der Mineralogie und Geologie. Die Vorkenntnisse aus den allgemeinbildenden Schulen sind gering und werden durch Kurzsuljahre, Stundenausfall und Lehrkräftemangel sicher in den nächsten Jahren nicht besser werden.

Hieraus ergibt sich die Forderung, daß in der Bodenkunde kaum etwas vorausgesetzt werden kann. Es wäre aber falsch, nur eine angewandte Bodenkunde ohne Einführung in die wissenschaftlichen Grundlagen dieser Disziplin zu vermitteln. "Es ist von der Überlegung auszugehen, daß es im Zeitalter schnellster naturwissenschaftlicher und technischer Entwicklung und Wandlung nicht länger vertretbar ist, engorientierte Spezialisten auszubilden, und daß es heute und morgen erst recht unmöglich ist, während des Studiums Kenntnisse zu vermitteln, mit denen selbst ein beruflich genügsamer Ingenieur zeit seines Lebens auskommen könnte" (1). Gerade der Ingenieur muß oft mit dem Bodenspezialisten ein wirklich fundiertes Fachgespräch führen können, da er ohne dessen Hilfe viele Projekte nicht erfolgreich bearbeiten kann. Hierbei ist anzustreben, daß der Ingenieur vor allem die Sprache des "Feldbodenkundlers" im Gelände und auf der Bodenkarte versteht. Doch auch dem "Laborbodenkundler" muß er mit einer

eingesandten Bodenprobe klare Angaben über die Geländeverhältnisse als Voraussetzung für zweckmäßige Analysen mitgeben.

Die einleitenden Gedanken zum Fach Bodenkunde sollen nun auf einige Schwerpunkte der Stoffverteilung in den Lehrvorträgen des Dozenten bezogen werden. Als Grundlage für die Mineralogie ist nach meiner persönlichen Ansicht eine Einführung in die Kristallkunde unerlässlich; hierbei soll das Schwergewicht weder auf den Kristallformen noch auf der Kristallchemie, sondern auf der Kristallphysik liegen. Dadurch wird vor allem die Tonmineralogie verständlicher und die Mineraleigenschaften können besser abgeleitet werden. Ferner ist die systematische Mineralogie erforderlich, wobei die Klasseneinteilung in Tabellenform gegeben werden kann. Auch die Petrographie muß auf eine systematische Übersicht beschränkt werden. Die Geologie soll das Zusammenwirken von endogenen und exogenen Kräften in der Erdgeschichte deutlich machen. So können "dem Studierenden die wissenschaftlichen Grundlagen über Entstehung, Zusammensetzung und Eigenschaften des Bodens vermittelt werden, damit er in der Lage ist, den Wert eines Bodens als Pflanzenstandort zu beurteilen, ihn optimal zu nutzen" (4) und zu verbessern.

Da dem Ingenieur in vielen Fällen nicht die ständige Nutzung, sondern die einmalige Melioration eines Standorts obliegt, ist auch die Bodenkunde hierauf auszurichten. Die physikalischen und biologischen Verhältnisse des Bodens sind im Hinblick auf Gefäßbildung sowie den Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt ein Schwerpunkt im Unterricht der Ingenieurschulen. Die Darstellung der verschiedenen Bodengefüge mit ihren Idealformen, Schäden und Verbesserungsmöglichkeiten bedarf besonderer Anschauungsmittel. Neben dem guten Diapositiv ist hierfür die Demonstration im Gelände von großem Wert. Die Bodenchemie sollte keine vorweggenommene Pflanzenernährung sein, sondern vor allem das Nährstoffnachlieferungsvermögen eines Standorts und damit dessen Dynamik auch auf diesem Gebiet dem Studierenden deutlich vor Augen führen.

In der Bodensystematik ist das Ansprechen der Horizonte eine Grundlage, die nur an der Profilwand einer einwandfrei hergestellten Schürfgrube möglich ist. Zur Zeit müssen ältere und neuere Horizontsymbole beherrscht werden. Von großer Wichtigkeit für den Ingenieur sind die anthropogenen Böden. Ihre Systematik liegt seit einigen Jahren für die Eschböden vor (5). Auf dieser Tagung hat Herr Prof. Baden die neueste Gliederung der Moorkulturtypen vorgetragen. Es ist zu wünschen, daß auch für mineralische Acker- und Gartenböden bald eine eingehende Systematik erarbeitet wird.

Bodenbewertung, Bodenkartierung und Bodenerhaltung sind weitere Stoffgebiete. Eine besondere Vertiefung der Standortkenntnisse gibt das Wissen um die Vergesellschaftung von verschiedenen Bodentypen im kleineren oder größeren Raum. Hier sind auch die Beziehungen von der Bodenkunde zur Pflanzensoziologie aufzuzeigen. Bei praktischen Arbeiten in der Raumordnung und Landesplanung kann mit derartigen Kenntnissen eine sehr viel standortgerechtere Projektierung erreicht werden.

An Ingenieurschulen sind auch bodenkundliche Laboratorien vorhanden. Hier hat der Studierende Gelegenheit, Analysengänge soweit kennenzulernen, daß er beim Einsenden von Bodenproben und beim Erhalt der Analysenergebnisse die Beziehungen zu seiner jeweiligen Aufgabe selbst herstellen kann. Als Vorteil der Ingenieurschulen ist herauszustellen, daß ein Dozent im Fachseminar und Praktikum nur mit acht bis zwölf Studierenden arbeitet und so zu einem engen persönlichen Kontakt kommen kann.

Ein besonderer Schwerpunkt ist auf die Geländetätigkeit zu legen. Bei jeder Gelegenheit ist die Ansprache von Bodenprofilen im Gelände zu üben. Hierzu ist bei Exkursionen eine sehr gute Vorbereitung erforderlich.

Bodenkunde für Ingenieurschulen ist sicher kein selbständiges Gebiet, sondern kann nur im Rahmen der wissenschaftlichen Bodenkunde betrieben werden. Aus den vorangegangenen Ausführungen ergibt sich jedoch, daß für den Unterricht an Ingenieurschulen einige Besonderheiten zu berücksichtigen sind.

## LITERATUR

1. H. Kassebeer  
Ingenieurausbildung heute  
Die deutsche Ingenieurschule 31/67  
Seite 3 - 6
2. Erlaß des nieders.  
Kultusmin v. 30.3.67  
III C 5820/67  
Gelenkte Praktikantenausbildung von Ingenieur-  
schulbewerbern für alle Fachrichtungen (außer  
Gartenbau u. Landbau) Schulverwaltungsblatt  
f. Niedersachsen Heft 5 1967, Seite 152-156
3. E. Sommer  
Die Ingenieurschulen im Wintersemester 1965/  
1966  
Die deutsche Ingenieurschule 30/67 Seite 12  
und  
H. Determann  
Vereinheitlichung des Ingenieurschulwesens auf  
der Bundesebene im Handbuch für das Ingenieur-  
schulwesen Quelle & Meyer, Heidelberg, 1965,  
S. 76/77
4. Der niedersächs.  
Kultusminister  
Richtlinien für d. Unterricht an Ingenieurschulen  
für Landbau - erarbeitet auf d. Kursus Nr. 864  
in Braunlage vom 18.-20.12.1964, Seite 13
5. E. Mückenhausen  
Entstehung, Eigenschaften und Systematik d.  
Böden d. Bundesrepublik Deutschland 2. Auflage,  
DLG-Verlag, 1962, Seite 117-121, 140 und  
144 Bildanhang Profil 45 und 46