

Z81/4

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT

Bd. 4

1965

Druck und Schreibsatz: Andreas Funke, Offsetdruck,
34 Göttingen, Paulinerstraße 13
Eingang Gotmarstraße

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

BÖDEN MIT TONVERLAGERUNG

Kurzfassungen von Vorträgen zur Jahrestagung 1965 der DBG

in Aachen (5.9. - 9.9. 1965)

Bd. 4

1965

INHALT

Seite

I. Einleitung

1. F. Scheffer: Zur Themastellung "Böden mit Tonverlagerung" 1

II. Typologie, Stratigraphie und Verbreitung von Böden mit Tonverlagerung

2. H. Wichtmann: Zur Entwicklung der Parabraunerden in der Soester Börde 9
3. W. Paas: Profildifferenzierung durch Feinsubstanzverlagerung in Löß-, Sandlöß- und Flugsandböden am linken Niederrhein 17
4. B. Heinemann: Die Böden der Drenthe-Grundmoräne im Hümmling, ihre genetische und systematische Stellung anhand von mikromorphologischen Merkmalen 25
5. A. Semmel und Plass, W. Spätkaltzeitliche Umlagerungen in Parabraunerde-Profilen 33
6. Th. Stöhr und Benecke, P. Verlagerungsvorgänge in prae- und postalteröden Böden auf Löß, Bims (Trachyttuff) und Staublehm im Rheinischen Schiefergebirge 41
7. J. Breburda: Böden mit Tondurchschlammung in Osteuropa 55
8. E. Schlichting: Tonverlagerung in "schweren" Böden 59
9. S. Müller: Lessivierung in Abhängigkeit vom Kleinklima 65
10. H.E. Stremme: Die Parabraunerde unter Ackerkultur 71

11. H. Scholz:	Tonverlagerung in einigen südwestafrikanischen Böden	83
12. H. Gebhardt:	Antagonismus von Tonverlagerung und Fe-Al-Metabolik in der Sequenz Parabraunerde-Pseudogley aus Löß	91
13. J. +H. Benzler:	Rezente und fossile Podsole am Marschenrand	101

Zum Exkursionsraum

14. H. Dahm-Arens:	Die Böden der Nordeifel und ihres Vorlandes	105
15. G. Heide:	Erfassung und Darstellung der Bodeneinheiten auf den Bodenkarten des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen	113
16. J. Schalich:	Bodenbildung und Sedimentation im Rur- und Indetal	119
17. H. de Bakker:	Tonverlagerung in Flußablagerungen verschiedenen Alters	123

III. Mechanik, Chemie und Kolloidik von Verlagerungsvorgängen

18. U. Schwertmann:	Austauschbare Kationen und Dispersität von Tonen	129
20. J. van Schuylenborgh:	Die Verlagerung von Sesquioxiden in Parabraunerden, Podsolen und sauren Braunerden	131
21. E. Kopp:	Synsedimentäre Gefügebildung und Tondurchschlammung	137

22. H. W. Scharpenseel: Zur Darstellung der Wanderungsfähigkeit und Festlegung von Ionen und Kolloiden in dispersen Systemen 139
23. W. Kerpen, H. W. Scharpenseel und I. Schoembs
Untersuchungen der Perkolate ungestörter Bodensäulen 151

IV.

Struktureigenschaften von Böden mit Tonverlagerung

24. P. Benecke: Über die Wasserbewegung in Parabraunerden aus Löß 163
25. K. H. Hartge: Zusammenhänge zwischen den Anteilen verschiedener Porenbereiche und anderen Bodeneigenschaften 181
26. Rid, H.: Vergleich bodenphysikalischer Eigenschaften von Pelosolen und Pseudogleyen 191
27. M. Trentepohl: Wurzeltiefendiagramme als bodenkundlich-typognostisches Hilfsmittel? 205
28. B. Walter: Über Bildung und Bindung von Mikroaggregaten in Böden 207

V. Kulturtechnische Fragen bei Böden mit Tonverlagerung

29. A. Beckel: Einige Aspekte der kulturtechnischen Verbesserung von Bodentypen mit Tonverlagerung im rheinischen Mittelgebirge 213
30. G. Schmid: Verbesserung von Parabraunerden aus Löß durch Primärlöß- und Kalkmeliorationen 227
31. H. Schulte-Karring; Struktur- und Typwandel eines meliorierten Graulehms 237

VI. Mineralogie

Seite

32. E. A. Niederbudde: Röntgenographische Untersuchungen zur Deutung von K-Fixierungsunterschieden in Lößböden mit Tonverlagerung 253
33. K. -H. Papenfuß: Der Tonmineralbestand von südwestdeutschen Kalk- und Tongesteinen und seine Veränderung durch die Bodenbildung 263

VII: Bodenbiologie

34. E. Scholz-König: Die mikrobiologischen Unterschiede von vier Bodentypen, ermittelt nach ihren Populationsdichten und ihren Atmungsaktivitäten 271
35. E. von Zezschwitz: Biologische Aktivität und Basengehalt des Bodens 281

Referate außerhalb des Schwerpunktthemas

I. Humus

36. H. -P. Blume: Die Charakterisierung von Humuskörpern durch Streu- und Humus-Stoffgruppenanalysen (n. Waksman bzw. Tiurin) 287
37. J. C. Salfeld: Die Charakterisierung von Huminstoffen durch Differenzen-Spektrogramme 289
38. K. Haider und Lim, Soun-Uk
Versuche zur Aufklärung der Entstehung von organischer Bodensubstanz aus Lignin mit Hilfe von 14c-markierten Phenolen 291
39. H. Söchtig: Auftrennung von Huminstoffen durch Gelfiltration 297
40. W. Rochus: Die Gewinnung und Stabilisierung von Huminstoff-Fractionen 301

II. Kulturtechnik

Seite

41. H. Kuntze: Stand der Erfahrungen im Erkennen
und Verhüten von Verockerungen . . . 307

42. A. Paschai: Zur Frage der Verockerung in Schles-
wig-Holstein 309

III. Ionenaustausch, Nährstoff-Fragen

43. H. Schiller: Das NH_4 -Fixierungsvermögen und der
Stickstoffentzug von Kartoffeln auf
Parabraunerden 325

44. M. Renger: Die Berechnung der Austauschkapazi-
tät der organischen und anorganischen
Substanz von Böden 339

IV. Vermischtes

45. G. Scheffer: Die bodenkundliche Übersichtskarte für
Raumplanungszwecke 349

46. J. Breburda: Bericht über die Vorexkursion zum
8. Internationalen Bodenkundlichen Kon-
greß durch Rußland 357



Zur Themastellung "Böden mit Tonverlagerung"

von F. Scheffer ⁺⁾

Die letzten Tagungen unserer Gesellschaft wurden unter bestimmte Schwerpunktthemen gestellt. Dies geschah in der Absicht, bestimmte, in Wissenschaft und Praxis gegenwärtig viel diskutierte Probleme in ihrer mannigfaltigen Verästelung näher kennenzulernen, den Kenntnisstand der Bodenkunde im Hinblick auf diese Fragen zu umreißen und nicht zuletzt auch die Anregung zu vermitteln, diese Probleme stärker zu beachten, in ihrer Bedeutung zu erkennen und vielleicht auch in die eigenen Forschungsbereiche mit einzubeziehen. Waren es bei unserer letzten Tagung in Würzburg die Fragen der "strukturschwierigen schweren Böden", die im Mittelpunkt des Interesses standen, so wurde unserer diesjährigen Tagung das Thema "Tonverlagerung" in den Böden vorangestellt.

Die Wahl dieses Themas, die nicht zuletzt auf eine Anregung des einladenden Landesamtes von Nordrhein-Westfalen zurückgeht, erfolgte nicht von ungefähr. Mit der Wahl Aachens als Tagungsort war zugleich die Absicht verbunden, einmal über die Grenzen hinwegschauend auch die belgischen Lößgebiete kennenzulernen, aus denen seit den Fünfziger-Jahren so wesentliche systematische und nomenklatorische Beiträge zur Kenntnis der Bodentypen mit Tonverlagerung gekommen sind, wie z.B. der Begriff des "sol brun lessive" und viele neuere Vorstellungen zur Frage der Tonverlagerung überhaupt.

Die Kenntnis der Tatsache, daß bei der Bodenentwicklung der Prozeß einer Tonverlagerung ohne Tonzerstörung eintreten kann, ist nicht neu. Neu ist jedoch die in den letzten Jahren eingetretene Erweiterung des mit der Tonverlagerung verbundenen bodenkundlichen Problemkreises, sei es im Hinblick auf die Rolle, die das Phänomen der Tonverlagerung bei der stratigraphischen Differenzierung pleistozäner und holozäner Ablagerungen spielt, sei es im Hinblick z.B. auf die vielfältigen mit der Tonbewegung verbundenen bodenphysikalischen und kulturtechnischen Fragestellungen.

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

In Westeuropa ist das Problem der Tonverlagerung - oder besser gesagt: der Kolloid-Verlagerung, denn die sichere mineralogische Ansprache der bewegten kolloiden Substanz von Tongröße und die exakte Abgrenzung von grobkolloiden gegenüber Ionen- und feinkolloiden Transport-Phänomenen war mit den damaligen Methoden noch nicht so wie heute möglich - seit den Zwanziger-Jahren mit mehr oder minder langen Unterbrechungen Forschungs-Gegenstand gewesen. Besonders WIEGNER, PALLMANN und Mitarbeiter waren es, die die Mobilisierung der Kolloid-Anteile des Bodens als Teilprozeß des Gesamt-Kolloid-Verhaltens des Bodens, der ein kolloid- und grobdisperses System darstellt, betrachteten und die aus der sich damals entwickelnden Kolloidchemie herrührenden Begriffe auf das Strukturverhalten der Böden übertrugen. Aus dieser Zeit stammen bereits die meisten Maßangaben für kolloidchemische Bodencharakteristika, wie Flockungs-Schwellenwerte, isoelektrische Punkte bestimmter Boden-Konstituenten, Schutzkolloid-Wirkungen und die Ionen-Abhängigkeit der Mobilisation. Fortschritte auf anderen Teilgebieten der chemisch-mineralogischen Bodenanalytik ließen dann für längere Zeit das Problem der Kolloid-Verlagerung in den Böden wieder zurücktreten.

Die deutsche Bodenkartierung und -systematik der Dreißiger- und frühen Vierziger-Jahre hatte schon recht gut das Phänomen der Tonverlagerung und infiltrativen Anreicherung von Ton in den B-Horizonten zu erkennen und als einen selbständigen bodengenetischen Teilprozeß zu deuten gewußt, ohne daß dies in den Lehrbüchern der damaligen Zeit mit aller Klarheit gegenüber den nach unserer heutigen Auffassung eindeutigen Podsolierungs-Prozessen zum Ausdruck kam. Die Erscheinung der Tonverlagerung wurde z.T. noch dem Erscheinungsbild der Braunerde zugeordnet, d.h. man ließ bei der Ansprache der Braunerde eine gewisse Verlagerung der gebildeten Tonsubstanz zu. Nahm das Ausmaß der Tonverlagerung derartig zu, daß im oberen Teil des Bodenprofils sichtbare Verarmungs-Erscheinungen an Tonsubstanz eintraten, wurden die Böden zu den Podsolen gestellt und als "podsolig" bezeichnet und man blieb dabei in Übereinstimmung mit den Ansichten der damals führenden russischen Wissenschaft. Im Handbuch BLANCK 1939 und insbesondere in den Arbeiten von ENGELHARDT (1938) und MELVILLE (1942), die ich meinen Ausführungen in der Ausgabe 1944 meines Lehrbuches zugrunde legte, ist die Tonverlagerung als ein separater, der Podsolierung voran-

gehender Prozeß dargestellt. Leider führen aus dieser Zeit jene Diskrepanzen der Auffassungen, die eine internationale Verständigung über die nomenklatorischen Begriffe, insbesondere zwischen der russischen und den westeuropäischen Schulen so erschweren. Während die russische Systematik den Prozeß der Tonverlagerung lange Zeit hindurch - teilweise heute noch - als essentiellen Vorgang in den Begriff des "Podsol" mit einbezieht, ist in Westeuropa in den nomenklatorischen Ansätzen der letzten Jahrzehnte immer stärker die - uns nach wie vor berechtigt erscheinende - Vorstellung entwickelt worden, den Vorgang der Tonmigration ohne Tonzerstörung von den chemisch stark differenzierenden Ionentransport-Vorgängen der Podsolierung streng zu trennen.

Will man aus dieser Verwirrung heraus zu einer klaren genetisch-systematischen Gliederung gelangen, ist es unerläßlich, zunächst klare Definitionen auf chemisch-kolloidchemischer Basis für die einzelnen Bodentypen zu geben: Als Braunerde bezeichnen wir - wie es schon RAMANN tat - den Bodentyp, dessen bodendynamische Prozesse gekennzeichnet sind durch a) Carbonat-Auswaschung und b) durch die während oder nach diesem Vorgang einsetzende Lösungs-Verwitterung anfälliger Mineral-Komponenten, wobei eine Vermehrung der Tonfraktion stattfindet und aus den primären wie auch einem Teil der sekundären Minerale Eisen freigesetzt wird, das aber an Ort und Stelle wieder als Oxid ausfällt, die Mineralkörner ummântelt und dadurch die Verbräunung bewirkt. Außer der Carbonat-Verlagerung und einer zoogenen Humus-Einmischung und Durchmischung (von Mull bzw. Feinmoder-Charakter) des Verbräunungs-Horizontes, den wir hier als B_v (B Index "v" von Verwitterung) bezeichnen, sind keinerlei chemisch-kolloidchemische Verlagerungs-Prozesse (auch nicht mikromorphologisch) nachweisbar. Die SiO_2 / R_2O_3 -Verhältnisse der Tonfraktion sind in allen Horizonten gleich, in erster Linie ist nur im B-Horizont gegenüber dem C-Horizont eine Verschiebung des Verhältnisses Fe (Gesamt)/ Fe (frei) zugunsten des freien Eisens festzustellen.

Diese nach den neueren Erkenntnissen sehr strenge, aber notwendige Definition schränkt in Mitteleuropa - nach alter Auffassung dem klassischen Verbreitungs-Gebiet der Braunerde - das Auftreten echter Braunerden außerordentlich stark ein. Die flächenmäßig stark verbreiteten braunen Laubwaldböden der mitteleuropäischen Löss sind nach dieser Definition nicht mehr den Braunerden zuzurechnen.

Auf der anderen Seite definieren wird den Podsol und den bodendynamischen Prozeß der Podsolierung wie folgt : Bei völliger Abwesenheit von Carbonaten vollzieht sich unter Einwirkung stark saurer, mit organischen Reduktoren und Komplex²(bzw. Chelatbildnern) angereicherten Perkolations-Lösungen unter Grobmoder und Rohhumus-Auflagen eine Mineralzersetzung und eine differenzierte Verlagerung der Zersetzungs-Produkte, d.h. eine getrennte Verlagerung von Al, Fe, Mn usw., wobei es zu einer unterschiedlich starken und verschiedenen tiefen Anreicherung dieser Elementar-Bestandteile im B-Horizont kommt, der hier als ein Illuvial-Horizont mit den Indizes der durch Einwaschung angereicherten Substanzen versehen werden kann, also z.B.: B_h für den dunklen humus-, Al- und Fe-reichen oberen B-Horizontabschnitt, B_s für den humusärmeren, sesquioxid-infiltrierten unteren B-Horizontabschnitt. Die chemische Analyse der Tonfraktion zeigt einen typischen ausgeprägten Gradienten der SiO₂/R₂O₃ Verhältnisse.

Die nach dem letzten Kriege in fast allen europäischen Ländern verstärkt eingesetzte Bodenkartierung und in Verbindung damit die chemisch-mineralogische Analyse zahlreicher Bodentypen, besonders aber die Anwendung der von Prof. KUBIENA ausgebauten mikromorphologischen Untersuchungs-Methoden haben die Erkenntnis gebracht, daß in Mittel- und Westeuropa, aber auch in großen Teilen Ost- und Südeuropas ein erheblicher Teil der braunen Laubwaldböden auf Löß, wie auch ein erheblicher Anteil der graubraunen, aus Tschernosemen und Pseudotschernosemen hervorgegangenen Lößböden keiner dieser beiden Definitionen gerecht wird, sondern in seinen Eigenschaften eine klare Zwischenstellung zwischen dem Typ der Braunerde und des Podsols einnimmt. Diesen Böden, in denen wir zwar auch diätypische Merkmale und Vorgänge der Verbraunung feststellen, sind abweichend von der Braunerde besonders dadurch gekennzeichnet, daß in ihnen während und nach der Carbonatabfuhr und schon bei noch hohen pH-Werten von 6,5 - 5,5 eine Wanderung der bereits vorhandenen oder neu gebildeten Tonsubstanz in den Unterboden hinein einsetzt. Das chemisch-kolloidchemische Merkmal dieses Vorganges ist, daß diese Verlagerung die gesamte, noch unzersetzte Tonkomponente erfaßt und daher im SiO₂/R₂O₃-Verhältnis zunächst keine Differenzierung zu erwarten ist. Die von Mückenhausen vor-

geschlagene Bezeichnung "Parabraunerde" wurde gewählt, um von den früheren Benennungen (gebleichter brauner Waldböden, Braunerde mittlerer und geringer Basensättigung) nicht zu weit abzurücken. Die Parabraunerde (identisch mit dem "sol brun lessivi") hat also die Merkmale der Verbraunung und zusätzlicher undifferenzierter Tonmineral-Verlagerung.

Seitdem hat sich nun das Problem der Tonverlagerung in Böden, das schließlich ja nur einen der vielen bei der Bodenentwicklung möglichen Teilprozesse darstellt, in unvorhergesehener Weise ausgeweitet. Die Erkenntnisse haben sich sprunghaft vermehrt und Eingang in zahlreiche Nachbardisziplinen gefunden - oft richtig, manchmal aber auch in einzuschränkender Weise interpretiert. Ich denke in diesem Zusammenhang z.B. an das in letzter Zeit viel diskutierte Problem der Verwendung von ton-immigrierter B-Horizonten als Indikator vorholozäner Verwitterungsprozesse, d.h. also den Versuch, das Vorliegen einer Tonmigration als Zeichen dafür zu deuten, daß der Boden nicht ausschließlich im Holozän entstanden ist, sondern eine spätglaziale Vorentwicklung durchlaufen hat - eine tatsächlich sehr umstrittene Frage.

Kartographie, Nomenklatur und systematische Feingliederung der Böden mit Tonverlagerung sowie die Ausarbeitung der dazu erforderlichen Methoden haben in neuerer Zeit erhebliche Fortschritte gemacht. Erfreuliche Ansätze zu einer weiterführenden Charakterisierung dieser Böden auf hydrologischem, mikrobiologischem und ökologischem Sektor sind bereits zu verzeichnen. Von bodenmineralogischer Seite ist in vielen Fragen, besonders hinsichtlich der Verwitterungs-Vorgänge und der Verlagerungs-Differenzierung, vor allem aber im Hinblick auf die Bilanzierung von Tonverlagerungs-Vorgängen soviel Methodisches beigetragen worden, daß man auf diesem Gebiet für die bodengenetische Interpretation des Tonverlagerungs-Prozesses auf einem gesicherten Fundament aufbauen kann.

Viele Fragen der Tonmigration in unseren Böden bedürfen jedoch noch einer Klärung. Meist handelt es sich hierbei um Probleme der Bodengenetik. Wir wissen heute, daß die Tonverlagerung in unseren mitteleuropäischen Böden auf eine schmale Zone beschränkt ist, die zwischen der kalkneutralen Zone mit Ca-hydrogencarbonat-Dynamik und der Flockungszone der stärkeren Versauerung liegt, also etwa eine pH-Spanne zwischen 6,5 und etwa 5,0 umfaßt. Das kolloidchemische Problem der Ton-Mobilisie-

rung liegt darin, die Grenzbereiche des Ionen-Milieus näher zu charakterisieren, also z.B. auf der sauren Seite die Verringerung der Mobilität unter dem Einfluß der in zunehmendem Maße freiwerdenden Al-, Fe- und Mn-Ionen zu studieren, zur neutralen Seite hin die Veränderungen des elektrokinetischen Potentials in Abhängigkeit von den Ca/H-Potentialen und -Konzentrationen näher kennenzulernen. Natürlich gehört auch die Untersuchung über die die Tonverlagerung auslösenden mechanischen Wirkungen zu diesem Komplex, da das Ionen-Milieu letztlich nur eine Bedingungsgröße, nicht aber auslösendes Moment der Tonverlagerung darstellt. Dabei sollte wohl auch den Schutzkolloid-Wirkungen erneut und verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Viele neue Vorstellungen über die Oberflächeneigenschaften der silikatischen Boden-Konstituenten, z.B. das Vorliegen von peptisablen Humathüllen und vermutlich auch Ca-Silikat-Auflagen, lassen es als sinnvoll erscheinen, das Kolloid-Verhalten dieser Komponenten stärker zu berücksichtigen. Eine Belebung kolloid-chemischer Forschung wäre sowieso wünschenswert, da sich doch immer wieder zeigt, daß die generellen, also auch für die Ton-Mobilisierung gültigen Gesetzmäßigkeiten auch für die praktischen Fragen des Bodenstruktur-Aufbaues von Bedeutung sind.

Andere Probleme der Tonverlagerung betreffen wieder den stratigraphischen und horizontmäßigen Aufbau der Parabraunerden und die Korrelation zwischen dem Geländebefund und der bodengenetischen Ausdeutung. Haben wir in den letzten Jahren gelernt, daß die glimmerbürtige Tonbildung in Parabraunerde-Profilen durchaus so erfolgen kann, daß in den oberen Profil-Ab-schnitten, also z.B. dem A_h- und A₁-Horizont, die Tonbildung infolge rascher Versauerung und Al-Freisetzung gehemmt ist und erst zum B₁-Horizont hin stark zunimmt, so mögen auch für die Tonmigration ähnliche Voraussetzungen gelten.

Vielleicht würden diesbezügliche mineralogische Bilanz-Untersuchungen das Problem klären helfen, das darin besteht, daß wir z.B. in unseren humiden Mittelgebirgsräumen in Parabraunerde-Sequenzen so häufig eine Vervollständigung der A₁-Horizonte beobachten, d.h., daß dort wo die Lössdecke geringmächtiger wird, häufig nur noch der "A₁" (in Anführungsstrichen) auftritt und der sonst dazugehörige B-Horizont fehlt. Kurz gesagt, dreht es sich hierbei um die generelle Frage der frei kombinierbaren bodengenetischen Teilprozesse, und ich hoffe, daß diese Tägung einige Fortschritte in dieser Hinsicht bringt.

Viel Beachtung haben die Auswirkungen der Tonverlagerung inzwischen auch in der Bodenphysik und deren angewandten Zweigen Acker- und Pflanzenbau, Bodentechnologie usw. gefunden. Im Mittelpunkt des Interesses stehen hier die Zusammenhänge zwischen dem Wasser-Haushalt des Bodens, besonders der B-Horizonte, und deren Porenstruktur und der Poren-Größenverteilung, die beide von der Ton-Einwanderung erheblich modifiziert werden können.

Tonverlagerung verlangt ein Transport-Medium, d.h. bewegtes Bodenwasser. Wir erkennen bei quartär-stratigraphischen Untersuchungen, daß die Tonverlagerung ein Prozeß ist, der sich nicht nur in den gröberen Poren bis herunter zu etwa 50 oder 30 μ . Durchmesser vollzieht, etwa entsprechend pF 1,8-2, sondern auch noch im feineren Porenanteil erfolgt. Wir kommen bei der Betrachtung des mechanischen Tontransportes immer wieder in engen Kontakt mit der Bodenphysik, die sich in den letzten Jahren, basierend auf der Erkenntnis, daß sich die aktuelle Wasserbewegung über ein sehr breites Porengrößen-Spektrum erstreckt, in zunehmendem Maße dem Problem des "unsaturated flow" zugewandt hat, also der Untersuchung der Wasserbewegung bei stärkerer Kapillarspannung und unvollständiger Wasseraufsättigung des Bodens. Dies Problem ist zugleich von weittragender Bedeutung für die Praxis, besonders für die Fragen der Dränung von Böden mit Tonverlagerung; ich denke dabei z.B. an die stark entwickelten Parabraunerden aus-Löß. Man gewinnt vielfach den Eindruck, daß bei diesen Böden - sofern sie grundwasserfrei sind - unter hohen Investitions-Kosten mit Hilfe der Dränage etwas zu erreichen versucht wird, was gar nicht erreichbar ist; die Beseitigung überschüssigen, sich stauenden Wassers aus den groben Poren zur Verbesserung der Durchlüftung. Sehr oft erlebt man in den Frühjahrs-Monaten, daß die leicht verschlämbbaren A_1 -Horizonte derartiger Böden mit etwa 18 % H_2O die Fließgrenze erreichen, ohne daß dabei ungespanntes Wasser vorliegt. Die durch Tonmigration verstopften und eingeengten, schnell und langsam dränenden Poren des B-Horizontes hindern die Entwässerung oder richtiger die Verteilung und Speicherung des Oberflächenwassers im Untergrund. Die groben Poren und Leitbahnen der B-Horizonte können gleichzeitig völlig trocken sein. Man wird in diesem Zusammenhang die Frage prüfen müssen, ob nicht unter Verbesserung des zum Untergrund hin wirksamen Docht-Effektes bessere Dränwirkungen als mit den herkömmlichen Verfahren erzielbar sind, d.h. ob nicht mit Hilfe einer mechanischen

und biologischen Tiefenlockerung des B_t -Horizontes und bei gleichzeitiger Kalk- und Humuszufuhr nachhaltigere bodenphysikalische Verbesserungen zu schaffen sind.

Wir rühren damit an eine Reihe ackerbaulicher, pflanzenbaulicher wie auch Düngungsfragen und damit allgemein an Fragen zur Hebung des Leistungs- und Transformations-Vermögens vieler durch Tonverlagerung strukturell ungünstig gewordener Lößböden, denn Tonverlagerung bedeutet zugleich prozentuale Anreicherung der nicht an der Wanderung beteiligten Bodenbestandteile im A_1 -Horizont, insbesondere des für die Lößböden charakteristischen Schluff-Anteils, d.h. Anreicherung der flockungsmäßig wenig beeinflussbaren Schluff-Fraktionen und damit Entstehung strukturschwieriger Feinschluffböden. Schon liegen viele Beobachtungen vor, daß sich das physikalische Bodenbild durch eine unzureichende Versorgung mit Kalk und Humus oder bei mangelhafter Bodenbearbeitung und Fruchtfolge innerhalb relativ kurzer Zeit verschlechtert, daß selbst fruchtbare Schwarzerden ihre anfängliche lockere Aggregatstruktur einbüßen und in einer Tiefe von 40 - 60 cm verdichtete Horizonte mit sehr geringer Durchlüftung aufweisen.

Im engen Zusammenhang stehen die Erscheinungen der Staunässe, die insbesondere in feuchten Jahren Wachstums-Störungen bei den Kulturpflanzen, so bei Wintergerste die Vergilbungs-Erscheinungen, bei Zuckerrüben die Beinigkeit und einen verstärkten Pilzbefall der Seitenwurzeln und damit eine ins Gewicht fallende Ertrags-Minderung bewirken. Ertrags-Minderungen dieser Art sind nicht etwa die Folge einer beginnenden Bodenversauerung, sondern in erster Linie die Folge der Strukturverschlechterung bzw. Einengung des pflanzlichen Wohn- und Nähr-raumes. Wir wollen hier nur kurz betonen, daß die Vorgänge der Tonverlagerung auf labil gewordenen Böden auch heute noch ablaufen, wenn es an struktur-stabilisierenden Faktoren mangelt. Es freut mich sehr, daß anlässlich dieser Tagung auch die Bodenphysik zu den angeschnittenen Problemen Stellung nehmen wird, und unter Leitung von Herrn Professor de LEENHEER eine Exkursion zu diesen Fragen in die belgischen Lößgebiete möglich wurde.

Lassen wir es bei diesem skizzenhaften Überblick bewenden. Er sollte dazu dienen, die generelle Bedeutung des Problems der Tonbewegung in Böden zu umreißen und aufzuzeigen, daß es sich bei der Wahl des diesjährigen Schwerpunkt-Themas keineswegs nur um ein spezielles Anliegen der Bodengenetiker handelt, sondern viele Ausstrahlungen auf jedes einzelne fachliche Teilgebiet der Bodenkunde und darüber hinaus auch auf fachverwandte Nachbardisziplinen gegeben sind.

Zur Entwicklung der Parabraunerden in der Soester Börde

von H. Wichtmann ⁺⁾

In jüngster Zeit sind die Beobachtungen von Brunnacker (1957, 1958, 1959) über die Bedeutung des Spätglazials für die Entwicklung der Parabraunerden mehrfach bestätigt und ergänzt worden (Schönhals 1960, Roeschmann 1963, Semmel 1964 und 1965). Auch im westfälischen Lößgebiet am Südrande des Münsterschen Kreidebeckens zeigen die Parabraunerden Merkmale, die auf eine periglaziale Beeinflussung hinweisen. Darüber hinaus darf nach eigenen Beobachtungen im niederrheinischen Lößgebiet auch die Möglichkeit nicht außer acht gelassen werden, daß interglaziale Bodenbildungen am Aufbau der Böden beteiligt sind. Vergleicht man die Soester Parabraunerden mit Parabraunerden aus dem niederrheinischen Hauptterrassengebiet, ergeben sich jedoch erhebliche Unterschiede.

Wie Abbildung 1 zeigt, ist der Profilaufbau der Parabraunerden im niederrheinischen Hauptterrassengebiet sehr ungleichmäßig. Die Mächtigkeit der Bt-Horizonte schwankt zwischen 40 und 120 cm. Bei Profil V und VI ist außerdem der Übergang vom A1-zum Bt-Horizont gestört, so daß stellenweise A1- und Bt-Horizont nebeneinander liegen.

Ganz anders dagegen ist die Verteilung des Rohtons in den Soester Parabraunerden (Abb. 2). Die Bt-Horizonte sind sämtlich etwa 40 cm mächtig. Die Profile XIV, XV und XVI fallen insofern etwas aus dem Rahmen, als ihre Bt-Horizonte um 20-30 cm tiefer ansetzen. Es handelt sich hier um Parabraunerden mit "schwarzem Lehm" zwischen A1- und Bt-Horizont, auf die später einzugehen ist.

⁺⁾ Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen Krefeld,
Westwall 124

Die Verteilung des Rohtons in Parabraunerden des niederrheinischen Hauptterrassengebietes

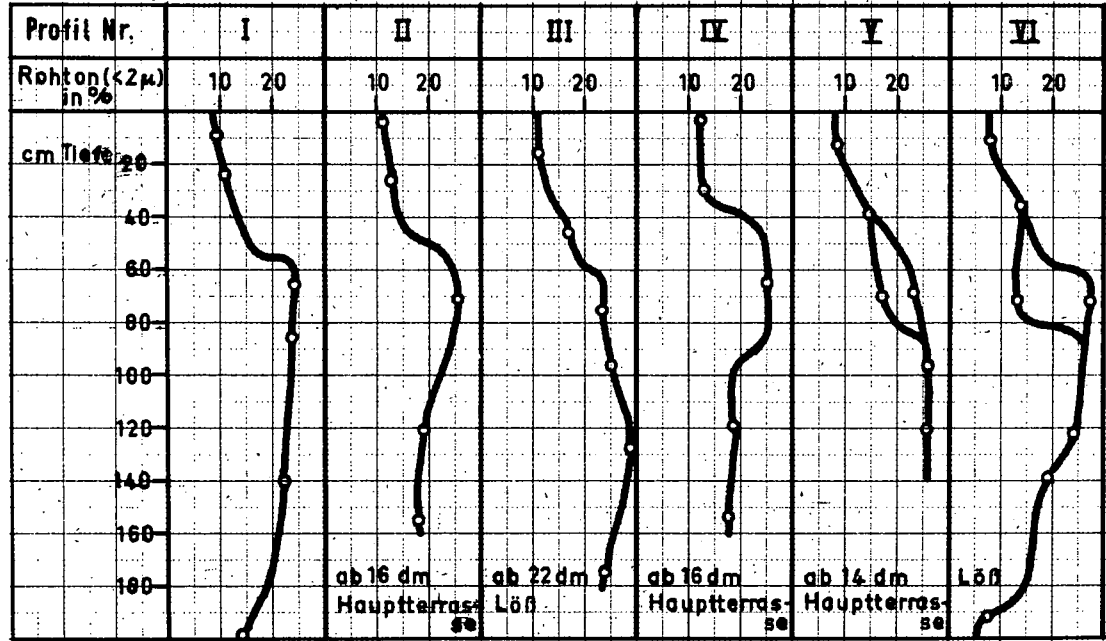


Abbildung 1

Es wurde bereits gelegentlich darauf hingewiesen, daß am Aufbau der Parabraunerden im niederrheinischen Hauptterrassengebiet ältere Löße und deren Bodenbildungen weitverbreitet beteiligt sein können. Theoretisch besteht diese Möglichkeit auch im Soester Lößgebiet, aus dem sich ja die Gletscher bereits vor Ablauf des Warthestadiums zurückgezogen hatten. Die Rohtonverteilung der Soester Parabraunerden aber ist so gleichmäßig, daß eine Beteiligung von Warthelöß, der ja die Bodenbildung des Eems erfahren mußte, am Aufbau der Parabraunerden unwahrscheinlich ist.

Wie aber steht es mit den unterschiedlichen Humusverhältnissen der Soester Böden? Es ist das Verdienst von Arens (1960), als erste auf die tiefhumosen Parabraunerden in der Soester Börde hingewiesen zu haben, die von der Bodenschätzung als Böden mit schwarzem Lehm bezeichnet wurden. Später hat sich Hohnvehlmann (1963) eingehend mit ihnen befaßt. Ihr Profilaufbau ist durch eine höchst ungewöhnliche drei- oder vierfache Gliederung der A-Horizonte gekennzeichnet. Auf einen dunkelgelblichbraunen Ap-Horizont (10 VR 3/4) folgt ein brauner Al- (10 YR 4/3), ein dunkelbrauner AA1 (10 YR 3/3) und - in ebenen Lagen - ein hellbräunlichgrauer (10 YR 6/2) SA1-Horizont, der zapfenförmig in einen kräftig braunen, meist tiefer ansetzenden Bt-Horizont übergeht.

Dieser Profilaufbau wird von beiden Autoren als Relikt einer Schwarzerdebildung gedeutet, die nach Hohnvehlmann in der postglazialen Wärmezeit (Boreal) stattfand. Brunnacker (1957) dagegen, der in Mainfranken und Südbayern offenbar ähnliche Bodenbildungen angetroffen hat, stellt ihre Entstehung mit Vorbehalt ins Alleröd oder Bölling und hält ihre Genese noch für problematisch. Zur Erklärung seiner Annahme vergleicht Hohnvehlmann die fraglichen Parabraunerden der Soester Börde mit den Hildesheimer Schwarzerden und stellt fest, daß im Raum Soest ein relatives Trockenklima mit um 675 mm Jahresniederschlag und 9° C Durchschnittstemperatur ausgebildet ist, was durch aus den Klimadaten des Hildesheimer Schwarzerdegebietes entspricht.

Durch das freundliche Entgegenkommen von Herrn Dr. Roeschmann vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, dem auch an dieser Stelle herzlich für seine Führung gedankt sei, war es mir mög-

Die Verteilung des Rohton in Parabraunerden der Soester Börde

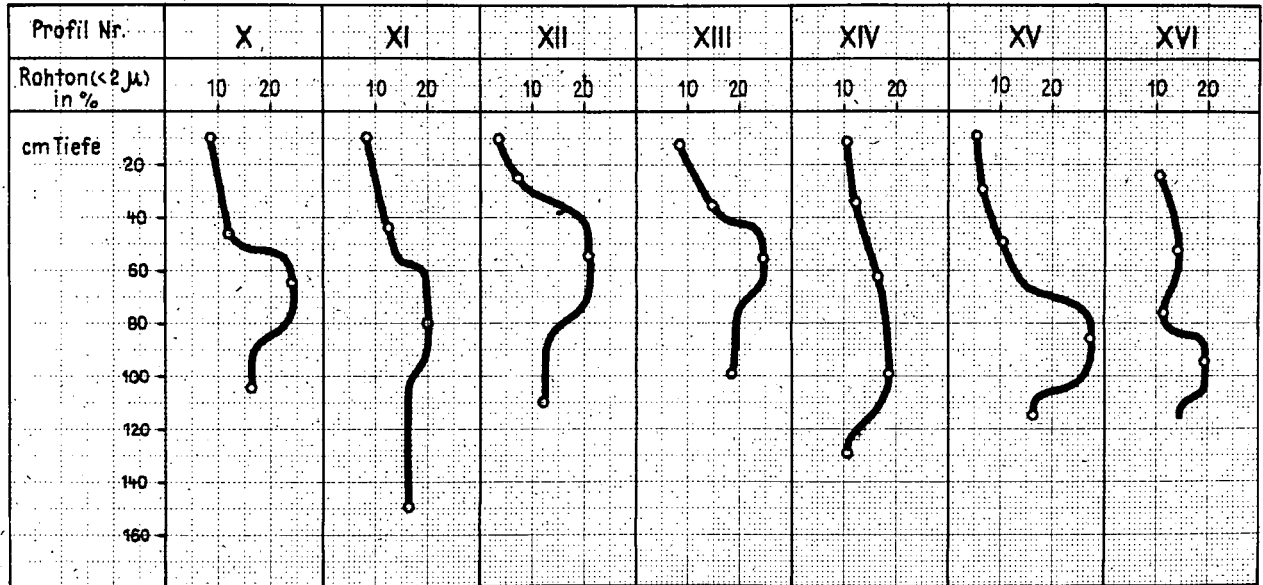


Abbildung 2
 (Die Abbildung gibt die Untersuchungsergebnisse von Hohnvehlmann (1963) wieder. Die Numerierung der Profile wurde beibehalten.

lich, die Hildesheimer Schwarzerde selbst kennenzulernen. Als Ergebnis dieser Besichtigung stellte sich heraus, daß die A-Horizonte der Hildesheimer Schwarzerden meist sehr viel mächtiger sind, daß der Humusgehalt mit 2 - 3% gegenüber dem von etwa 1% beim schwarzen Lehm von Soest höher liegt, daß die Farbe mit 10 YR 2-3/1 sehr viel dunkler ist (Soest 10 YR 3/3) und, daß sich schließlich die Hildesheimer Böden auch in ihrer Horizontfolge (A-SC gegenüber Al-Bt-Bv) erheblich unterscheiden.

Näher würde zweifellos ein Vergleich mit den dunkelbraunen Steppenböden des nördlichen Oberrheintales gelegen haben, die eingehend von Zakosek (1962) beschrieben worden sind. Aber auch hier treten wesentliche Unterschiede auf. Die Böden des Oberrheintales zeigen zwar ebenfalls weder Grundwasser- noch Staunässeinfluß und sind den Soester Böden auch in Farbe und Humusgehalt ähnlich, haben aber meist noch ein A-C-Profil statt der Horizontfolge Al-Bt-Bv mit einer Entwicklungstiefe von 3 bis 3,5 m, wie sie in Soest vorliegt. Dieser Unterschied ist nur teilweise durch den hohen Kalziumkarbonat-Gehalt (ca. 28% gegenüber ca. 10% in Soest) des Ausgangsmaterials bedingt. Eine wesentliche Bedeutung muß den klimatischen Verhältnissen zugeschrieben werden. Zakosek gibt für seine dunkelbraunen Steppenböden einen Regenfaktor nach Lang von 58,6 an, im Trockengebiet direkt um Soest aber haben wir einen Regenfaktor von 75. Dazu kommt, daß die Parabraunerden mit schwarzem Lehm nicht nur im relativ trockenen Gebiet von Soest vorkommen, sondern auch auf der Haarhöhe, wo sich aus einem Jahresniederschlag von etwa 800 mm bei einer Durchschnittstemperatur von 7,5 C ein Regenfaktor von über 100 errechnet. Wenn man bedenkt, daß sich die Steppenböden des nördlichen Oberrheintales nur bei einem Regenfaktor zwischen 52,8 und 65,9 bildeten, kann man kaum erwarten, daß sich bei dem etwa doppelt so hohen Regenfaktor auf der Haarhöhe eine gleiche Bodenentwicklung vollzogen hat.

Aus dem Vergleich der fraglichen Böden mit den Hildesheimer Schwarzerden und mit den Steppenböden des Oberrheintales ergeben sich also keine Anhaltspunkte dafür, daß die Parabraunerden von Soest aus Schwarzerden hervorgegangen sind. Vielmehr ist in Anbetracht der großen Unterschiede in Horizontfolge und Klimaverhältnissen eine ganz andere Entstehung wahrscheinlich.

So hat Wortmann (1960) auf das Vorkommen eines begrabenen Tundra-Naßbodens in der nahen Ziegelei Westfalia bei Hamm hingewiesen. Es ist also zu prüfen, ob die fraglichen Humuszonen nicht interstadialer Entstehung sind. Tatsächlich kommen Böden mit besonderen Humusverhältnissen nach dem Ergebnis der Bödenkartierung (Bodenkarte Blatt Soest 1 : 25.000, im Druck) in verschiedener typologischer Ausprägung, also unabhängig von der heutigen Bodendynamik, vor. Böden mit schwarzem Lehm wurden angetroffen bei den Parabraunerden, bei den Pseudogley-Parabraunerden, beim Kolluvium und bei einem außerhalb der Täler gelegenen Semigley. Darüber hinaus wurde der schwarze Lehm sehr häufig in Fließerden u. kryoturbar gestörten Profilen beobachtet. Das aber zeigt, daß die heutige Verbreitung der fraglichen Böden offenbar nicht von unterschiedlichen Entstehungsbedingungen, sondern von unterschiedlichen Erhaltungsbedingungen abhängt.

Interessant sind deshalb einmal die Beobachtungen Hohnvehlmanns über die Auflösung der Humuszonen durch die Bodenfauna, die ja durch die ackerbauliche Nutzung wesentlich gefördert wird, und es besteht durchaus die Möglichkeit, daß sich Unterschiede in der Dauer der ackerbaulichen Nutzung auf die Erhaltung des schwarzen Lehms ausgewirkt haben. Zum anderen aber ist ein deutlicher Zusammenhang zur Bodenerosion vorhanden. Die Parabraunerden mit schwarzem Lehm liegen in erosionsgeschützter Oberhanglage oder in ebener bis schwach muldiger Position. Die Pseudogley-Parabraunerde befindet sich in Akkumulationslage am Hangfuß und der tiefhumose Semigley ebenfalls in Akkumulationslage in einer Mulde. Das häufige Auftreten von schwarzem Lehm in Fließerden und kryoturbar gestörten Profilen aber gibt Auskunft über die zeitliche Einstufung der Erosionsvorgänge, die für die Verbreitung der tiefhumosen Zonen so wichtig waren. Sie konnten nur unter periglazialen Bedingungen stattfinden und haben vermutlich ein Ausmaß gehabt, das die Vorgänge der rezenten Bodenerosion bei weitem übersteigt.

Für die Geschichte der Parabraunerden ist schließlich noch die Bleichzone im Übergang Al/Bt-Horizont interessant. Hohnvehlmann hat sie mit Recht als Pseudovergleyung gedeutet, gibt aber gleichzeitig an, daß keine rezente Vernässung vorliegt. Ihre Entstehung ist deshalb in Übereinstimmung mit Wortmann (1960) kaum anders zu deuten als

durch Wasserstau auf Permafrostuntergrund, und die Lage der Bleichzone könnte vielleicht sogar die sommerliche Auftautiefe angeben. Erstaunlich ist allerdings, daß die Bleichzone mit der Grenze Al/Bt zusammenfällt. Sie hat sich also dort ausgebildet, wo sich auch die rezente Vernäsung der Pseudogleye aus Löß am stärksten ausprägt, und es wäre ein unwahrscheinlicher Zufall, wenn die sommerliche Auftautiefe gerade mit jener Zone zusammenfiel, die von Natur aus für die entsprechende Ausprägung der Pseudovergleyung prädestiniert ist. Zusammen mit dem Auftreten von Frostkeilen und kryoturbar eingewürgten Schmitzen von schwarzem Lehm in den Bt-Horizonten ist die Lage der Bleichzone eher als ein Hinweis dafür anzusprechen, daß die Entwicklung der Parabraunerde der Tundraßbodenbildung vorausgegangen ist. Wir sehen unsere Beobachtungen deshalb als Bestätigung der Untersuchungen von Brunnacker, Schönhalz, Roeschmann und Semmel an, die feststellten, daß die Parabraunerden in Bayern, Hessen, Niedersachsen und Rheinland-Pfalz weitgehend periglazial vorgeformt bzw. entstanden sind und nehmen eine solche periglaziale Bildung auch für die Soester Parabraunerden an.

Lieteraturverzeichnis

- Arens, H.: Die Bodenkarte 1 : 5 000, auf der Grundlage der Bodenschätzung ...
Fortschr.Geol.Rheinld. u. Westf., 8, Krefeld 1960
- Brunnacker, K.: Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern, Blatt 7142. Straßkirchen.
München 1957
- Brunnacker, K.: Die Geschichte der Böden im jüngeren Pleistozän in Bayern
Geologica Bavarica Nr. 34 . München 1957
- Brunnacker, K.: Erläuterung zur Bodenkarte von Bayern, Blatt 5125 Würzburg-Nord . München 1958
- Brunnacker, K.: Bemerkungen z. Parabraunerde. (Ergebnisse der Bodenkartierung in Bayern)
Geol.Jahrb. 76, 1959, S. 561
- Hohnvehlmann, J.: Vergesellschaftung, Entstehung und Eigenschaften der Böden im Soester Hellweggebiet.
Diss.,Bonn 1963
- Roeschmann, G.: Zur Entstehungsgeschichte von Parabraunerden und Pseudogleyen aus Sandlöß südlich von Bremen. N.Jb. Geolog.-Pal. 117, 1963, S. 286
+)
- Semmel, A., Plass, W.: Spätkaltzeitliche Umlagerungen in Parabraunerde-Profilen
Votr.anl.Tagung der DGB, Aachen 1965
- Schönhals, E. Spät- und nacheiszeitliche Entwicklungsstadien von Böden aus äolischen Sedimenten in Westdeutschland.
Proc. 7.Intern.Congr. Soil.Sci.Madison USA, S. 283 bis 290.
- Wortmann, H. Übersichtskarte von Nordrhein-Westfalen, Erläuterungen zur Bodenkarte Blatt Münster, C 4310, Krefeld, 1960
- Zakosek, H. Zur Genese und Gliederung der Steppenböden im Oberrheintal. Abh. Hess.L.-Amt f. Bodenforschg. 37, Wiesbaden 1962
- +) Semmel, A. Junge Schüttdecken im hess.Mittelgebirge, Notizbl. Hess.L.-Amt f. Bodenforschg. 92, 1964, S.275

Profildifferenzierung durch Feinsubstanzverlagerung in Löß-, Sandlöß- und Flugsandböden am linken Niederrhein

von Wilhelm Paas ⁺⁾

Das Arbeitsgebiet liegt zwischen Kaldenkirchen und Wegberg und umfaßt weitgehend das pleistozäne Senkungsgebiet des Venloer Grabens. Den Untergrund bilden die mehr oder weniger stark verlehnten altpleistozänen Kiese und Sande der Jüngeren Hauptterrasse, die meistens von äolischen Ablagerungen der letzten Kaltzeit bedeckt sind. Da die Flüsse Schwalm und Nette ein tiefes Bett in diese Hauptterrassenebene gegraben haben, herrschen rein terrestrische Böden vor.

Die äolischen Deckschichten lassen sich in zwei Abteilungen gliedern. Die Untere besteht aus einem sehr schluff- und feinsandreichen Lößlehm, der während einer frühen Weichsel-Phase aufgeweht und anschließend in einer wärmeren Phase der Weichselkaltzeit entkalkt und zum großen Teil wieder abgetragen wurde. Die Zunahme des Feinsandgehalts in westlicher Richtung zeigt eine Korngrößendifferenzierung an, die in den jungweichselzeitlichen Ablagerungen noch ausgeprägter ist.

Die jungweichselzeitlichen Deckschichten werden bis 2 m mächtig und zeigen von Westen nach Osten eine großräumige Abfolge von Flugsand, Sandlöß und Löß mit jeweils allmählichem Übergang.

Daraus ergibt sich, daß das Material von den vorwiegenden West- bis Südwestwinden aus dem breiten Maastal ausgeweht wurde und gleichalt ist. Der Anteil von Rheinmaterial ist wegen der weniger häufigen östlichen Windrichtung und der größeren Entfernung offenbar entsprechend gering.

Eine Einteilung der Böden nach der Bodenart bitet sich an, und zwar werden unterschieden die Böden aus Löß, Sandlöß und Flugsand.

+) Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld,
Westwall 124

Bodenartlich bestehen die Lößböden aus einem schluffigen bis stark schluffigen Lehm mit einem Feinsandgehalt bis 10% und einem Rohton-gehalt bis 27% im B_t -Horizont.

Der Sandlöß ist mit 4-9% Rohton, 30-35% Grobschluff, 30-40% Feinsand und 15-20% Mittelsand bodenartlich als schwach lehmiger bis lehmiger, schluffiger Feinsand anzusprechen.

Der Flugsand enthält im Durchschnitt 2-4% Rohton, 15-20% Grobschluff und 40-50% Feinsand.

Aus den Lößen haben sich Parabraunerden entwickelt. Kalkhaltige Löße treten nördlich von Erkelenz nicht mehr auf. Diese Entkalkung hängt zusammen mit der meist geringen Mächtigkeit der Löße, der mit dem feuchten Klima verbundenen großen Entwicklungs- und Entkalkungstiefe, sicherlich auch mit einem primär geringen Kalkgehalt dieser hauptsächlich aus dem Maastal stammenden Löße und auch mit der relativ leichten Bodenart dieser im Randgebiet vorkommenden Löße.

So weisen die Parabraunerden dieses Gebiets trotz der normalen Horizontfolge mit den Horizonten A_p , A_1 , B_t und B_v beträchtliche Unterschiede auf gegenüber den Böden im Zentralgebiet der Lößverbreitung wie z.B. bei Jülich. Die Parabraunerden aus Löß werden fast ausschließlich ackerbaulich genutzt. Eine Parabraunerde aus einem $\approx 1,5$ m mächtigen Lößlehm besitzt folgende Profilentwicklung (vgl. Profil I).

Unter dem bis 25 cm mächtigen A_p -Horizont folgt ein 25 bis 40 cm mächtiger, schwach humoser A_1 -Horizont in sehr homogener Ausbildung mit einem Humusgehalt bis zu 1%. Plaggendüngung und tiefes Rigolen mögen z.T. die Ursache für die tiefe Krume sein, hauptsächlich ist sie jedoch auf die durchmischende Tätigkeit der Regenwürmer zurückzuführen, die in dem sehr milden und feuchten Klima dieses Gebiets mit einer durchschnittlichen Niederschlagssumme von 720 mm im Jahr sehr gute Lebensbedingungen vorfinden.

Darunter folgt ein wenig ausgeprägter B_t -Horizont, dessen Bodenart sich kaum von der des A_1 -Horizonts unterscheidet. Das Gefüge ist bröckelig bis polyedrisch und auf den Gefügeflächen finden sich un-
deutliche Tonhäutchen.

Zahlreiche Polygone mit rostbraun und fahlgrau gefleckten Rändern reichen keilförmig von der Oberkante des Horizonts bis zu 1,10 m Tiefe hinab. Stellenweise tritt schwache Rostfleckung unabhängig von den Polygonen über den ganzen Horizont verteilt auf.

Ab etwa 1 m Tiefe ist der Boden etwas schichtig angelegt mit hellgrauen Flecken und Lamellen. Sandige Einlagerungen und eine Steinsohle an der Oberfläche dieses Horizonts besonders in Nachbarschaft des Sandlößgebiets zeigen, daß hier wahrscheinlich der Rest eines älteren Weichsellößes vorliegt. Trotz der deutlichen Pseudogleymerkmale ist die tatsächlich auftretende Staunässe nur sehr schwach. Sie wird weniger verursacht durch den B_t -Horizont als durch die an der Oberkante verdichtete Hauptterrasse oder den älteren Weichsellößlehm.

Die Neigung zur Pseudovergleyung ist sicherlich zu einem Teil auch auf die geringe Basensättigung des SB_t -Horizonts zurückzuführen. So ist die Bodenreaktion mit pH-Werten von 4,8 schon fast sauer und der Sorptionskomplex ist nur zu etwa 60% mit Basen abgesättigt.

Der ältere Weichsellöß fehlt meistens, dann liegt 90 bis 100 cm mächtiger jüngerer Weichsellößlehm unmittelbar auf der verlehnten Hauptterrasse. An dem Profilbild ändert sich dann wenig. Nur bei stark verdichteter Terrasse erfaßt die Pseudovergleyung das ganze Profil, die bis zur Bildung starker Pseudogleye führen kann.

Der Sandlöß ist wie der jüngere Weichsellöß meistens 80 bis 120 cm mächtig, darunter folgt entweder älterer Weichsellößlehm, Flugsand oder lehmig-kiesiger Sand der Hauptterrasse.

Im Profil II ist die Bodenentwicklung aus Sandlöß über Flugsand dargestellt. Wiederum folgt unter dem A_p -Horizont ein schwach humoser Bereich mit kleinen Ziegelbruchstücken. Bei der großen, geschlossenen Verbreitung dieser Böden ist kaum anzunehmen, daß hier seit Beginn der fränkischen Besiedlung 50 cm Bodenmaterial aufgetragen worden sind. Die Tätigkeit der Regenwürmer und vor allem häufiges tiefes Rigolen haben mit der Zeit eine bis 60 cm mächtige Krume entstehen lassen. Bis 100 cm Tiefe folgt ein homogen ausgebildeter B_v -Horizont, der kompakte B_t -Horizont der

Parabraunerden aus Löß fehlt hier also. Die Tonsubstanz ist infolge des groben Filtergerüsts und der stark sauren Bodenreaktion (der pH-Wert fällt bis auf 4,3) unmittelbar in tiefere Bodenschichten durchschlämmt worden und hat sich hier in braunen Tonanreicherungsbändern wieder abgesetzt.

Wenn statt der Sande die verlehnten Kiese der Hauptterrasse in 1 m Tiefe anstehen (vgl. Profil III), dann trägt die Tondurchschlämmung wesentlich zur Verlehnung und Verdichtung der braunlehmartig verwitterten Hauptterrasse bei. Dadurch tritt nach starken Niederschlägen schwache Staunässe auf, die mit der bestehenden sauren Bodenreaktion die Pseudovergleyung der tieferen Sandlößschichten begünstigt. Gelegentlich kommt es besonders im Grenzbereich zum Lößgebiet auch zur Ausbildung eines bis 20 cm mächtigen, undeutlich ausgeprägten B_t -Horizontes.

Die Pseudovergleyung ist gleichfalls bei den Böden aus 50 bis 60 cm mächtigen Sandlöß über Hauptterrasse sehr ausgeprägt, die flächenmäßig stark auftreten (vgl. Profil IV). Der untere Teil des Sandlößes und der obere Bereich der Hauptterrasse haben dadurch eine fahlgraue Tönung mit wenigen Rostflecken erhalten. Die tatsächlich auftretende Staunässe ist gering.

In einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 1 m überlagert der Sandlöß den älteren Weichsellöß in großen Flächen (vgl. Profil V). Die Feinsubstanzdurchschlämmung hat auch hier stattgefunden, und zwar lassen sich in dem fossilen, etwas schichtig angelegten Bodenmaterial sehr schwache Tonhäutchen nachweisen. Ferner tritt unmittelbar über dem Löß in dem Sandlöß eine etwa 10 cm mächtige Tonanreicherungszone auf. Dieser $S_d B_t$ -Horizont staut schwach das Sickerwasser und führt dadurch vielfach zur Ausbildung eines S_w -Horizonts, der jedoch nur nach stärkeren Niederschlägen eine schwache Vernässung aufweist. Auch hier wird sicherlich die Pseudovergleyung durch die meist stark saure Bodenreaktion in den tieferen Bodenhorizonten begünstigt.

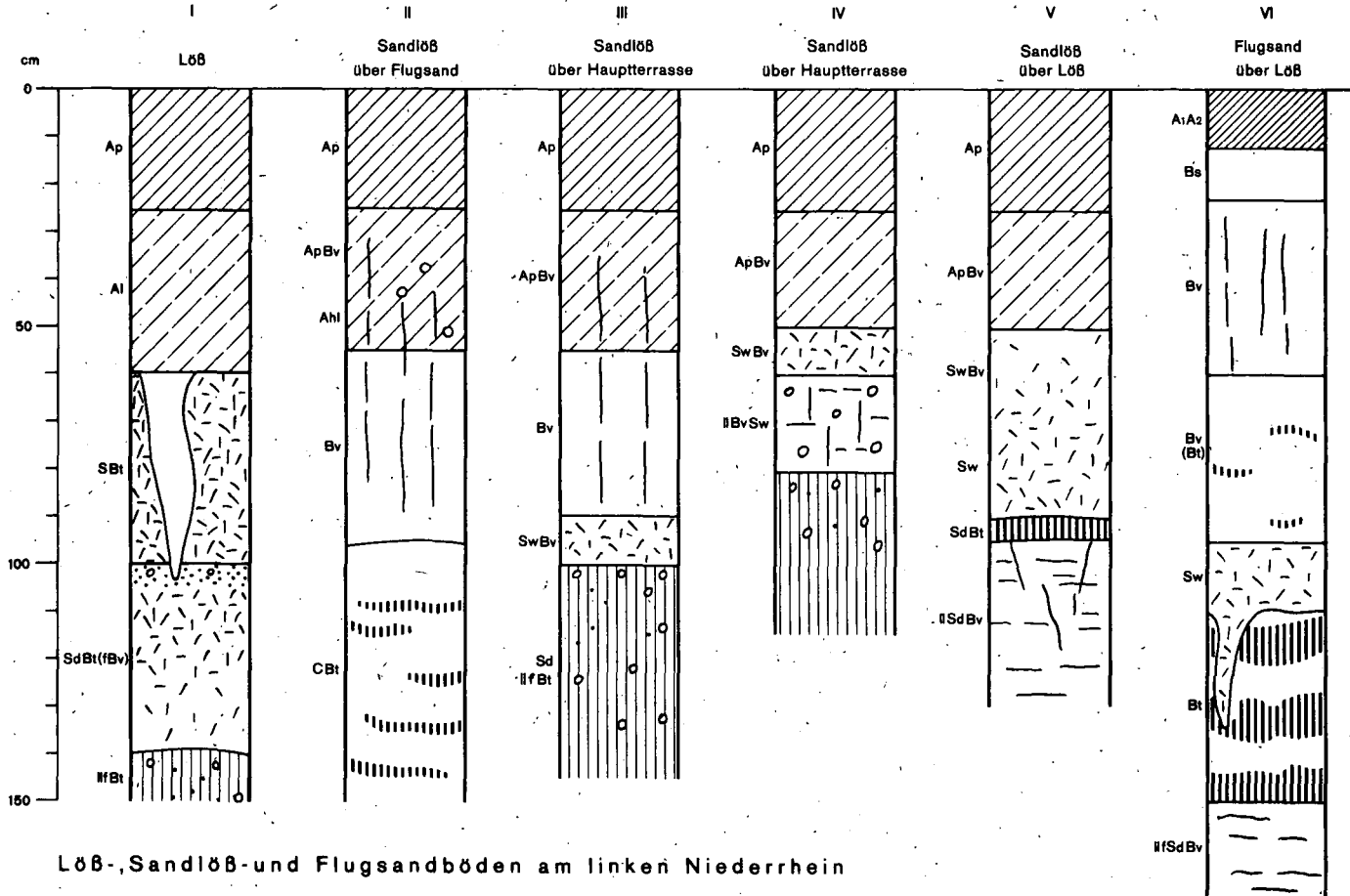
Bei einer Sandlößmächtigkeit von nur 60 cm über fossilem Lößlehm fehlt meistens die braune Tonanreicherungszone im unteren Teil des Sandlößes. Dafür hat sich in dem fossilen Lößlehm ein ausgeprägter B_t -Horizont mit deutlichen Tonhäutchen entwickelt. Dieser B_t -Horizont ist etwas verdichtet und hat Pseudovergleyung in den unteren Sandlößschichten verursacht.

Bei der Beschreibung der Sandböden können wir an die Sandlößböden anschließen (vgl. Profil VI). Die Verbraunung reicht bis etwa 70 cm Tiefe. Darunter treten bei größerer Flugsandmächtigkeit wieder die Tonanreicherungs-bänder auf. Diese werden hier bis zu 30 cm mächtig, sobald der fossile Lößlehm die Durchschlämmung der Feinsubstanz in tiefere Bodenhorizonte verhindert. Mit diesen Tonanreicherungs-bändern ist stets eine kräftige Pseudovergleyung verbunden. Diese erfaßt umso höhere Bodenschichten, je höher der fossile Lößlehm und damit die Tonanreicherungs-bänder im Profil anstehen. So ist die Marmorierung der unteren Bodenhorizonte bei etwa 1 m mächtigen Flugsand über fossilem Lößlehm schon ein sehr ausgeprägtes Merkmal. Die Bodenreaktion ist mit pH-Werten zwischen 4,1 und 4,5 schon sehr stark sauer. Bei dieser geringen Basenversorgung kann sich die schwache Staunässe kräftig im Profil auswirken.

Die Waldhumusformen dieses Gebietes sollen nur ganz kurz behandelt werden. Infolge der früher üblichen starken Streunutzung tragen die Sandlöß- und Flugsandböden nur eine dünne Humusdecke. Die Humusform ist meistens ein meso- bis oligotropher, feinhumusarmer Moder, Rohhumus liegt nur in Ausnahmefällen vor. Podsolierung ist immer deutlich ausgeprägt, was unter einer stark sauren Humusdecke mit pH-Werten von 3,4 nicht weiter verwunderlich ist.

Bei meiner Darstellung der Sandlöß- und Flugsandböden habe ich bewußt die typologische Bezeichnung unterlassen, also die Entscheidung, ob Braunerde oder Parabraunerde, Feinsubstanzverlagerung, nachweisbar durch Tonanreicherungs-bänder und bei vielen geologisch mehrschichtigen Profilen durch Tonhäutchen, hat sicherlich stattgefunden. So müßten die Böden in Anlehnung an die Vorschläge der Kommission für Bodensystematik als Parabraunerden angesprochen werden.

Andererseits haben die Böden mit der typischen Braunerde das A_D-B_V-C-Profil gemeinsam. Feinsubstanzverlagerung läßt sich für viele Profile nur sehr schwer nachweisen und beruht vielfach auf einem Vergleich mit anderen Böden dieses Raumes. Ferner ist der Zusammenhang zwischen braunen, lehmigen Bändern und der rezenten Bodenbildung sicherlich nicht immer gegeben.



So würde bei diesen Böden die Entscheidung, ob Braunerde oder Parabraunerde, von der Beobachtungstiefe und der Deutung von Tonreicherungsbandern abhängen, die sicherlich in vielen Fällen problematisch bleibt. So erscheint es zweckmäßig, den Begriff Parabraunerde auf Böden mit einer A_1-B_t -Horizontfolge zu beschränken, wie sie bei den typischen Lößböden vorliegt.



Die Böden der Drenthe-Grundmoräne im Hümmling, ihre genetische und systematische Stellung anhand von mikromorphologischen Merkmalen
von B. Heinemann⁺⁾

Auf der Niënbürg-Meppener Geest im westlichen Niedersachsen sind auf der Drenthe-Grundmoräne weit verbreitet Böden ausgebildet, die pseudo-vergleyten Parabraunerden und Parabraunerde-Pseudogleyen im Sinne der Systematik von MÜCKENHAUSEN (1962) entsprechen. Neben den Merkmalen der Tonverlagerung und der Pseudovergleyung weisen zahlreiche Profile auf dieser Grundmoräne jedoch auch häufig deutliche Merkmale der Verbraunung und der Podsolierung im Oberboden auf. Besonders ein im tonarmen Oberboden ausgebildeter, oft mächtiger B_v -Horizont oder starke Merkmale der Podsolierung, die nachweislich jünger als die Tonverlagerung sind, haben den Verfasser veranlaßt, bei diesen Böden von Parabraunerde-Braunerden bzw. von Parabraunerde-Podsolen zu sprechen. Bei Berücksichtigung der Pseudovergleyung haben diese Böden die Horizontfolge $A_h-B_v-A_1-A_1-S-B_tS$ bzw. $A_h-A_e-B_h-B_s-A_1S-B_tS$. Gegenüber typischen Parabraunerden aus Weichsel-Grundmoräne oder jüngerem Löß weisen die B_tS -Horizonte der Böden auf der Drenthe-Grundmoräne, abgesehen von der größeren Tiefenlage dieses Horizontes und der Pseudovergleyung, deutliche Unterschiede auf. Vor allem fehlen hier die typischen schokoladenbraunen Überzüge auf den Bodenaggregaten, das Makrogefüge ist außerordentlich dicht, porenarm und meist plattig und keineswegs prismatisch oder polyedrisch.

Um die bodentypologische Entwicklung am Ausmaß von Braunerde- und Podsolmerkmalen sowie der Pseudovergleyung und der Tonverlagerung aufzuzeigen und die typologische Bezeichnung zu rechtfertigen, wurden an mehreren Profilen der Drenthe-Grundmoräne mikromorphologische Untersuchungen durchgeführt. Im folgenden werden die Merkmale einer schwach podsolierten mäßig pseudovergleyten Parabraunerde-Braunerde,

^{+) Nieders. Landesamt für Bodenforschung Hannover-Buchholz}

eines stark pseudovergleyten Parabraunerde-Eisenhumuspodsols mit Ortstein sowie eines schwach podsolierten verbraunten Parabraunerde-Pseudogleys gegenübergestellt (Näheres S. 27).

Die Dünnschliffe wurden z.T. im Nieders. Landesamt für Bodenforschung (Einbettungsmittel Plexigum 7466), z.T. in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode (Einbettungsmittel Vestopal) in einer Dicke von 0,15 mm angefertigt.

Bodenbeschreibungen :

1. Parabraunerde-Braunerde

Das Bodenprofil zeigt zusammengefaßt folgende Merkmale:

Unter einer Rohhumusschicht mit wenig zersetzten organischen Resten folgt ein geringmächtigen A_h - und A_{he} -Horizont, in dem die Mineralkörner überwiegend völlig gebleicht sind. Der nachfolgende z.T. bis über 4 dm Tiefe herabreichende B_v -Horizont ist dunkelbraun bis sattbraun (10 YR 5/6) und enthält völlig aggregierte Feinsubstanz, die Umhüllungen der Körner oder brückenartige Verbindungen zwischen diesen bildet. Bei gekreuzten Polarisatoren ist keine Orientierungsdoppelbrechung erkennbar. Erst vom unterlagernden A_1 - und A_1S -Horizont treten in vertikaler Richtung allmählich zunehmend braunlehmähnliche Feinanteile mit deutlicher Orientierungsdoppelbrechung auf. Sie überwiegen jedoch auch im B_tS -Horizont in 10 dm Tiefe gegenüber dem Anteil an aggregierter Feinsubstanz nicht. Eisenanreicherungen treten unterhalb des B_v -Horizontes auf und lassen sich im A_1S -Horizont und dem darunterliegenden B_tS -Horizont deutlich in kompakte Konkretionen, diffuse Flecken sowie schichtweise gealterten Anreicherungen untergliedern. Zwischen A_1S - und dem B_tS -Horizont bestehen in der Form der Eisenanreicherungen keine wesentliche Unterschiede, so daß auf einen gleichstarken Einfluß der Staunässe in diesen Horizonten geschlossen werden kann. Die im gesamten Profil auftretende allmähliche Veränderung im Mikrogefüge in vertikaler Richtung läßt auf eine harmonische Tonverlagerung mit allmählich zunehmender Pseudovergleyung schließen.

2. Parabraunerde-Podsol

Die abgelaufenen pedogenetischen Veränderungen haben in diesem Boden mehrere Gefügeformen in sehr unterschiedlichem Ausprägungsgrad hervorgebracht. A_h - und A_e -Horizont sind relativ einheitlich ausgebildet und weisen ein typisches agglomeratisches Gefüge auf. Der A_e -Horizont zeigt gegenüber dem A_h -Horizont eine Verminderung der koprogenen Aggregate und der mehr oder weniger fein zerteilten Pflanzenreste. Im B_h -Horizont liegt neben einem dem A-Horizont ähnlichen Teilgefüge ein unvollkommen ausgebildetes Hüllengefüge vor, daß nicht in mineralische und organische Hüllen unterteilt ist. Außerdem findet sich intertextisches Teilgefüge in geringem Umfang. Im B_s -Horizont tritt neben Hüllengefüge und intertextischem Gefüge eine Differenzierung in tonreichere und tonärmere Zonen sowie Anreicherungen von Eisen und Mangan auf, die den Einfluß von Staunässe anzeigen. Da der B_s -Horizont an Wurzelbahnen und feinen Klüften weit in den pseudovergleyten Unterboden hineingreift, kann die Staunässe jedoch nur kurzfristig die Podsolierung im Oberboden beeinflussen haben. Im A_1S -Horizont ab 35 cm Tiefe und in dem darunter folgenden B_1S -Horizont liegt ein ähnliches Gefüge wie beim Parabraunerde-Braunerde-Profil vor, nämlich überwiegend intertextisches Gefüge mit allmählicher Zunahme von braunlehmartigen Anteilen und der Eisenkonkretionen. Auffallend ist jedoch, daß hier die als Produkt der Tonverlagerung angereicherte Tonsubstanz in einem dichten Kornverband nur in geringem Umfang auf Wänden von Hohlräumen vorhanden ist. Vielmehr tritt sie neben aggregierter Feinsubstanz in einer dichten Bodenmasse auf, die z.T. wie Schuppen oder rüdlische Aggregate aussehen und den Eindruck machen, als seien sie mehr oder weniger umgelagert.

3. Parabraunerde-Pseudogley

Im äußeren Profilaufbau ist dieser Boden bis in etwa 5 bis 6 dm Tiefe, abgesehen von der geringen Mächtigkeit des B_V -Horizontes, der Parabraunerde-Braunerde ähnlich. Die Horizontfolge $A_h-B_V-SB_V-A_1S-B_1S-C_{Ca}-G-CG$ weist jedoch daraufhin, daß ein mehr oder weniger unverändertes Ausgangsgestein, also Drenthe-Geschiebemergel, abgesehen von einem Kalkanreicherungs-horizont, vorhanden ist. Die mi-

kromorphologischen Merkmale zeigen mit Ausnahme des Oberbodens und der $C_{Ca}G$ - und CG -Horizonte, daß im gesamten Profil ebenfalls ein erdiges Gefüge vorherrscht. Vom A_1S -Horizont ab tritt in vertikaler Richtung eine allmähliche Zunahme braunlehmartiger Tonanteile auf. Unterhalb des B_v -Horizontes kommen mit zunehmender Tiefe Eisenoxidanreicherungen vor. Die durch Staunässe entstandenen Anreicherungen unterscheiden sich dabei nicht von den im $C_{Ca}G$ - und CG -Horizont durch das Grundwasser entstandenen Anreicherungen. Gegenüber der Parabraunerde-Braunerde und dem Parabraunerde-Podsöl ist die Grundmasse des B_tS -Horizontes bei diesem Profil überwiegend eisenverarmt und von grauer Farbe. Ebenfalls ist dies im $C_{Ca}G$ -Horizont der Fall. Außerdem liegen in diesem, einem carbonatreichem Geschiebemergel entsprechend, zahlreiche Carbonatkriställchen mit Doppelbrechung vor. Trümmer älterer Bodenbildungen fehlen hier wie im liegenden CG -Horizont.

ZUR ENTWICKLUNGSGESCHICHTE

Bei den untersuchten Profilen vom Typ einer podsolierten pseudovergleyten Parabraunerde-Braunerde, eines pseudovergleyten Parabraunerde-Podsols bzw. eines podsolierten verbraunten Parabraunerde-Pseudogleys handelt es sich um Übergangsbildungen, die z.T. mehr oder weniger benachbart sind und deren Entwicklung sich in einer Reihe einordnen läßt. Eine Bindung der typologischen Merkmale z.B. an die Geländeausformung ist dabei unverkennbar. Parabraunerde-Braunerden treten vor allem in ebenen bis schwach geneigten Lagen und bei sandigem Oberboden der Grundmoräne, Parabraunerde-Podsole in Hanglagen und in Geländemulden auf, während Parabraunerde-Pseudogleye in Plateaulagen und bei mehr oder weniger bindigem Oberboden der Grundmoräne vorherrschen.

Im Mikrogefüge dieser Subtypen, das aus einer Anzahl von Gefügeformen besteht, läßt sich die Entwicklung an der zu- oder abnehmenden Deutlichkeit der einzelnen Teilgefüge ablesen. Um die vollzogenen Umwandlungen am besten zu beurteilen, sollen die mikromorphologischen Merkmale der drei Böden von unten beginnend verglichen werden.

Die B_tS -Horizonte zeigen übereinstimmend ein sehr dichtes Gefüge. Besonders beim Parabraunerde-Pseudogley fehlen größere Hohlräume fast

vollständig. Der Gehalt an Feinanteilen ist hoch. Der örtliche Wechsel von feinsubstanzarmen und -reichen Zonen wird durch den Wechsel von Vernässung und Austrocknung hervorgerufen. Obwohl ein Wasserstan auf Grund der Dichte des B_{tS} -Horizontes bereits lange bestanden haben muß - die K_f -Werte betragen überwiegend weniger als 2 cm/Tag -, ist eine Umwandlung durch die Staunässe noch nicht weit fortgeschritten. Die Anlagerung von gelben bis braungelben braunlehm-ähnlichen Feinanteilen mit ausgeprägter Orientierungsdoppelbrechung als Kennzeichen der Tondurchschlämmung ist noch deutlich erhalten, überwiegt jedoch gegenüber dem Anteil an intertextischem Gefüge nicht. Der mit Ausnahme des beschriebenen Parabraunerde-Pseudogleys meist mehr als 3 m tief herabreichende B_{tS} -Horizont der oft direkt durchlässigen Sanden aufliegt, läßt auf eine ursprünglich höhere Durchlässigkeit der Grundmoräne schließen. Dies wird auch dadurch bestätigt, sofern die Grundmoräne nicht im Bereich des Grundwassers liegt, daß auch unter mehr als 3 bis 4 m mächtigem Geschiebelehm in den liegenden Sanden zahlreiche Bänder braunlehmreichen Materials angetroffen werden.

Die A_1S -Horizonte weisen im wesentlichen die gleichen Merkmale wie in dem darunterliegenden Horizont auf. Die verlagerten Anteile sind zwar geringer, überwiegen jedoch auch hier nicht. Die Eisenoxide sind zu Konkretionen und Flecken zusammengetreten, jedoch nur beim Parabraunerde-Pseudogley ist die Grundmasse des Bodens stark ausgebleicht. Die vorausgegangene Parabraunerde-Entwicklung ist noch deutlich zu erkennen. Nur bei diesem Profil entspricht ein hoher Anteil an oxalatlöslichen Eisenoxiden am freien Eisen, der nach STRAUTZ (1962) ein Maß für die tatsächlich vorhandene Staunässe sein soll, dem stark fleckigen Horizont.

In den B_V -Horizonten - beim Parabraunerde-Pseudogley infolge der Staunässe nur geringmächtig ausgebildet -, liegt typisches intertextisches Gefüge vor. Die Mikromorphologie in diesem Horizont entspricht also weitgehend der "Mitteleuropäischen Braunerde" KUBIENAS (1953). Da braunlehmartiges Teilgefüge und Fließstrukturen fehlen, sind sie entweder ausgewachsen oder restlos "vererdet". Dies ist von Bedeutung, wenn man unterstellt, daß in früheren Warmzeiten sich auf der Drenthe-Grundmoräne ein der Parabraunerde ähnlicher Boden gebildet hat, der jedoch während des Weichselglazials durch periglaziale Vorgänge mehr oder weniger abgetragen wurde. Aus einem ursprünglichen

B_T-Horizont, in situ oder mehr oder weniger umgelagert, hat sich im Postglazial also ein B-Horizont gebildet. Die Beobachtung, daß in Parabraunerden aus Weichsel-Grundmoräne das mikromorphologisch ermittelte Verlagerungsmaximum an braunlehmartigen Anteilen gegenüber dem durch Körnungsanalyse ermittelten bereits nach unten verschoben war, bestätigt diese Entwicklung (BLUME 1961). Das Fehlen von Fließstrukturen im B_V-Horizont steht im Gegensatz zu braunen A₁-Horizonten von Parabraunerde-Braunerden im Sinne MÜCKENHAUSENS (1962) oder braunen Lessives (KUNDLER 1962), die noch deutlich ihre direkte Herkunft aus Braunerden erkennen lassen.

Im A-Horizont der Parabraunerde-Braunerde und des Parabraunerde-Pseudogleys bestätigt die mikromorphologische Untersuchung den podsoligen Charakter, obwohl bei diesen Böden der A-Horizont noch keine wesentliche Verarmung an Eisenoxiden aufweist. Im Ortstein des Parabraunerde-Podsols herrscht dagegen noch deutlich intertextisches Gefüge vor, während ein Hüllengefüge nur unvollkommen ausgebildet ist. Das Mikrogefüge entspricht hier den makromorphologischen Merkmalen nicht, der Umwandlungsprozeß von der Braunerde zum Podsol ist mikromorphologisch also noch nicht weit fortgeschritten (s. ALTÄMÜLLER 1962).

ZUSAMMENFASSUNG:

An einigen Böden der Drenthe-Grundmoräne werden die mikromorphologischen Merkmale beschrieben. Von besonderem Interesse ist, daß sowohl die Merkmale der Tonverlagerung trotz starker Texturunterschiede zwischen Ober- und Unterboden und der Podsolierung nur schwach ausgeprägt sind. Mit Ausnahme der A-Horizonte herrscht bei allen Böden im gesamten Profil vielmehr ein intertextisches Gefüge typischer Braunerden vor. Eine Umwandlung dieses Gefüges durch die makromorphologisch bereits deutlich ausgeprägte Pseudovergleyung ist noch nicht weit fortgeschritten. Die sekundäre Verbraunung und Podsolierung im ehemaligen Tonverarmungshorizont veranlaßt Verfasser, bei entsprechendem Ausmaß der Genese folgend von Parabraunerde-Braunerden bzw. Parabraunerde-Podsolen zu sprechen. Anhand farbiger Diapositive der verschiedenen Profile und ihrer Mikromorphologie wird die beschriebene Entwicklung veranschaulicht.

Literatur:

- (1) Altemüller, H.-J.: Beitrag zur mikromorphologischen Differenzierung von durchschlämmter Parabraunerde, Podsol-Braunerde und Humuspodsol. - Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 98, 247-258 (1962)
- (2) Blume, H.P.: Die Tonverlagerung als profilprägender Prozeß in Böden aus jungpliozemen Geschiebemergel.
Diss. Kiel 1961.
- (3) Heinemann, B.: Die Böden der Drenthe-Grundmoräne im Hümmling.
Diss. Hannover 1964.
- (4) Kubiena, W.L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Stuttgart 1953.
- (5) Kundler, P.: Lessives (Parabraunerden, Fahlerden) aus Geschiebemergel der Würmeiszeit im norddeutschen Flachland.
Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 95, 97-110 (1961)
- (6) Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. DLG-Verlag, Frankfurt/Main (1962)
- (7) Strautz, W.: Der Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Bodentypenentwicklung im Löß.
Diss. Hannover 1962



Spätkaltzeitliche Umlagerungen in Parabraunerde-Profilen von Arno Semmel und Wolfgang Plass ⁺⁾

Bei bodenkundlichen Kartierungen und anderen bodenkundlichen Untersuchungen in den hessischen Mittelgebirgen konnten wir immer wieder beobachten, daß viele Bodenprofile eine deutliche Schichtung aufweisen. Den oberen Teil bildet eine 40 bis 70 cm mächtige helle Schuttdecke, die als "Deckschutt" bezeichnet wird (vgl. SEMMEL 1964). Dieser Schutt enthält in der Regel eine deutliche "äolische" Komponente, die sich dadurch anzeigt, daß die Korngrößenfraktionen 10-60 und 100-600 μ stärker vertreten sind als im Liegenden und im Schwermineralspektrum vulkanische Minerale - vorzugsweise Augite und Hornblenden - auftreten. Die sonstige Zusammensetzung des Schuttes wird stark von dem liegenden Material beeinflusst. Er ist in der Regel auf tonigen Substraten bindiger als auf sandigen. Seine Mächtigkeit hängt ebenfalls von der Körnung ab und wird auf sandigen Gesteinen am größten.

Von BÜDEL (1962) wird dieser Schutt als sommerlicher Auftauboden des pleistozänen Dauerfrostbodens gedeutet. Uns sind bisher keine Fakten bekannt, die gegen eine solche Deutung sprechen. Daß es sich bei dem Deckschutt um eine periglaziale Fließerde handelt, kann wohl in Anbetracht dessen, daß in ihm Blöcke mit mehr als 50 cm Kantenlänge auf flachgeneigten Hängen transportiert worden sind, kaum bezweifelt werden. Diese Solifluktionsvorgänge haben offensichtlich in der Jüngeren Tundrenzeit stattgefunden, denn der Deckschutt wurde bisher nur über dem allerödzeitlichen Laacher Bimstuff, nirgends aber unter diesem beobachtet. Hiermit in Einklang steht auch die Tatsache, daß sich an vielen Orten der Schutt mit der Lockerbraunerde verzahnt, deren Ausgangssubstrat bereits von SCHÖNHALS (1957) als Sediment der Jüngeren Tundrenzeit erkannt wurde.

⁺⁾ Wiesbaden, Leberberg 9-11

Für das auf dieser Tagung zur Diskussion stehende Thema ist von Bedeutung, daß der Deckschutt Bestandteil von Böden ist, die gemeinhin als Parabraunerden bezeichnet werden. Er entspricht in den Profilen dem Abschnitt, der gewöhnlich als A_1 -Horizont von Parabraunerden gedeutet wird. Diese Deutung scheint zunächst berechtigt, denn im tonigen Unterboden solcher Profile sind häufig bereits makroskopisch Anzeichen von Tonverlagerung (Tonhäutchenbildung) zu erkennen. Auch im Dünnschliff entsprechender B_t -Horizonte tritt optisch orientierte Tonsubstanz auf. Aufgrund der Definition von MÜCKENHAUSEN (zuletzt 1962), besonders aber nach LAATSCH & SCHLICHTING (1959), ist jedoch ein Boden nur dann als Parabraunerde anzusprechen, wenn nachgewiesenermaßen aus dem Oberboden (A_1 -Horizont) Ton in den Unterboden (B_t -Horizont) eingeschlämmt worden ist. Das trifft indes für die von uns untersuchten Böden, die das Profilbild einer Parabraunerde besitzen und deren " B_t -Horizonte" die erwähnten Anzeichen von Tonverlagerung erkennen lassen, nicht zu. An Übergängen dieser Böden zu Profilen, in denen der Deckschutt, der ja dem " A_1 -Horizont" entspricht, auf sandigen Substraten liegt, verschwindet nämlich der B_t -Horizont, ohne daß sich Zusammensetzung und Mächtigkeit des " A_1 -Horizontes" ändern (vgl. Profil P_6 , Abb. 1). Wenn tatsächlich die Toneinwaschung aus dem Deckschutt für die Ausbildung des B_t -Horizontes eine bedeutende Rolle spielen würde, so müßte auch in dem sandigen Gestein eine Toneinschlämmung nachzuweisen sein. Da das nicht der Fall ist, können u.E. die beschriebenen Anzeichen von Tonwanderung in den B_t -Horizonten nur die Folge eines Transportes innerhalb dieser Horizonte sein. Sie sind nicht auf eine Toneinschlämmung aus dem " A_1 -Horizont" zurückzuführen.

Noch beweiskräftiger für diese Auffassung als das oben angeführte Beispiel scheinen uns die Stellen zu sein, wo der A_1 -Horizont von Löß-Parabraunerden in ebenfalls gleicher Zusammensetzung und Mächtigkeit auf Tongesteine oder tonige Fließerden übergreift (vgl. Profile P_2 und P_3 , Abb. 1). In diesen tonigen Substraten sind zwar ebenfalls Anzeichen von Tonverlagerung, also Merkmale von B_t -Horizonten zu beobachten, der hier verlagerte Ton ist aber im Unterschied zu den B_t -Horizonten der Lößprofile nicht von sepiabrauner Farbe, sondern er besitzt jeweils die Farbe des tonigen Substrates, in dem er gewandert ist. Wenn dieser Ton überwiegend aus dem " A_1 -Horizont" stammen sollte, so müßte er ebenfalls sepiabraun sein.

Die Bildung solcher "B_t-Horizonte" kann also nicht als Folge einer Toneinschlammung aus dem heutigen Oberboden erklärt werden. Für die Entstehung dieser Horizonte bieten sich zwei andere Deutungsmöglichkeiten¹⁾ an: der entsprechende Profilbereich kann entweder eine Zone bevorzugter Tonbildung in situ sein oder aber es handelt sich um einen fossilen B_t-Horizont, dessen A₁-Horizont später umgelagert worden ist, wobei Teile des B_t-Horizontes mit aufgearbeitet wurden. In der Regel lassen sich nur Argumente für die erstgenannte Deutung finden. Es gibt jedoch auch einige Profile, die dafür sprechen, daß manche der B_t-Horizonte fossil sind. So liegt z.B. an einigen Orten unter dem Laacher Bimsuff statt der sonst weit verbreiteten Braunerde ein B_t-Horizont. Diese Bodenbildungen sind allerdings stratigraphisch nicht einwandfrei zu fixieren. Fossile B_t-Horizonte liegen offenbar auch dort vor, wo in ihnen Eiskeile und Kryoturbationen ausgebildet sind, wie z.B. in dem Aufschluß der Gewerkschaft Louise bei Nieder-Ohmen im Vogelsberg. Schließlich sprechen die Profile, die zwar einen A₁-Horizont durchschnittlicher Mächtigkeit, jedoch einen verkürzten B_t-Horizont besitzen (vgl. Profil P₅, Abb.1), für die Existenz fossiler B_t-Horizonte. Diese schon oft diskutierte Frage (vgl. dazu SEMMEL, 1964, mit weiterem Schrifttum) ist dennoch zur Zeit wohl nicht definitiv zu beantworten. Sie scheint uns als Feldbodenkundler auch nicht das dringendste Problem in dem hier aufgeworfenen Fragenkreis zu sein.

Von größerer Bedeutung für die bodenkundliche Kartierung ist vielmehr wie solche Böden bezeichnet werden sollen, die zwar das Profilbild einer Parabraunerde aufweisen, im Sinne der bisherigen Definition aber keine Parabraunerden sind. Die Beantwortung dieser Frage ist um so mehr geboten, als nach unserer Erfahrung in den hessischen Mittelgebirgen die scheinbaren Parabraunerden sehr weit verbreitet sind. Für den kartierenden Bodenkundler dürfte es in der Regel kaum möglich sein, diese Böden von den echten Parabraunerden, deren Existenz wir nicht mit Sicherheit ausschließen können, zu unterscheiden. Denn wenn auch die Schichtigkeit eines Profils gut zu erkennen ist, so bleibt offen, ob nicht doch aus

1) Das gilt für Böden aus einheitlichem Gestein (z.B. Löß), bei anderen Substraten ist noch eine dritte Deutung möglich. Hier kann primär schon im Bereich des B_t-Horizontes eine toniger Schicht vorliegen.

dem Oberboden Ton ausgewaschen wurde und dadurch die Merkmale einer Parabraunerde im Sinne der bisherigen Definition vorliegen. Umgekehrt bleibt auch dann, wenn anscheinend keine Anzeichen von Schichtigkeit in einer Parabraunerde zu finden sind, noch ungeklärt, ob in dieser nicht doch eine Schichtgrenze zwischen A_1 - und B_t -Horizont ausgebildet ist und beide Horizonte unabhängig voneinander entstanden sind. Als Beispiel dazu sei auf Abb. 1 verwiesen. Von den dort dargestellten Bodenprofilen ist die Deckschuttbasis zwar in den Profilen P_2 bis P_6 gut zu erkennen, nicht jedoch in den Profilen P_1 und P_7 . In dem Profil P_1 wurde mit Hilfe von Körnungs- und Mineralanalysen die Schichtgrenze zwischen A_1 und B_t festgestellt. Im Profil P_7 war eine solche dagegen auch mit Hilfe von Laboruntersuchungen nicht nachweisbar. Es ist aber unwahrscheinlich, daß dieses Profil von den Umlagerungen, die zur Ausbildung des Deckschuttes in den unmittelbar benachbarten Profilen führten, nicht erfaßt wurde. Ebenso kann kaum bezweifelt werden, daß in dem Profil P_7 nicht mehr Ton aus dem Oberboden ausgeschlämmt wurde als beispielsweise in den Profilen P_3 und P_6 , die keine braunen B_t -Horizonte besitzen. Trotzdem ist das Profil P_7 von einer echten Parabraunerde nicht zu unterscheiden.

Den vorgehenden Ausführungen kann entnommen werden, daß die Verwendung des Begriffes "Parabraunerde" in der bisherigen Definition für den kartierenden Bodenkundler Schwierigkeiten bereitet. Es fragt sich deshalb, ob es zweckmäßig ist, diesen Begriff in der bodenkundlichen Kartierung beizubehalten. Wenn man die Bezeichnung "Parabraunerde" weiterhin verwenden will, so wäre zu erwägen, ob nicht die Definition dieses Bodentyps in Anlehnung an einen Vorschlag von EHWALD (1958) wenigstens vorläufig, bis bessere Vorschläge hierzu gemacht werden, geändert werden sollte. Als Parabraunerde könnte man ein Bodenprofil bezeichnen, das einen tonärmeren Oberboden und einen tonreicheren Unterboden besitzt. Im Unterboden sind Anzeichen von Tonverlagerungen erkennbar.

ZUSAMMENFASSUNG

In vielen Böden der hessischen Mittelgebirge, die als Parabraunerden bezeichnet werden, läßt sich nachweisen, daß der A_1 -Horizont dem "Deckschutt", einer jungen Fließerde, entspricht. Der darunter liegende B_t -

Horizont hat in zahlreichen Profilen nachweislich keine menschenwerte Tonilluviation aus dem Oberboden erhalten. Da solche Böden einerseits aufgrund der bisherigen Definition nicht als Parabraunerden bezeichnet werden können, andererseits aber von den echten Parabraunerden nur schwer oder gar nicht zu unterscheiden sind, wird erwogen, die Definition der Parabraunerde vorläufig zu ändern.

Literatur:

- Büdel, J.: Die Abtragungsvorgänge auf Spitzbergen im Umkreis der Barents-Insel. Deutsch.Geogr.Tag Köln 1961, Tagungsber.u.wiss. Abhdl. 33, 337-375, Wiesbaden 1962
- Ehwald, E.: Bemerkungen zur Abgrenzung und Gliederung der wichtigsten Bodentypen Mitteleuropas unter dem Gesichtspunkt einer internationalen Annäherung in der Bodensystematik. - Z.Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkunde, 80 (125), 18-42, Weinheim 1958
- Laatsch, W. und Schlichting, E.: Bodentypus und Bodensystematik. - Z.Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkunde, 87 (132), 97-108, Weinheim 1959
- Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - 148 S., 13 Abb., 60 farbige Bodenprofile, Frankfurt a.M., 1962
- Schönhals, E.: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens. - Eiszeitalter und Gegenwart, 8, 5-17, Öhringen 1957.
- Semmel, A.: Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen. - Notizbl.hess.L.-Amt Bodenforsch., 92, 275 - 285, Wiesbaden, 1964

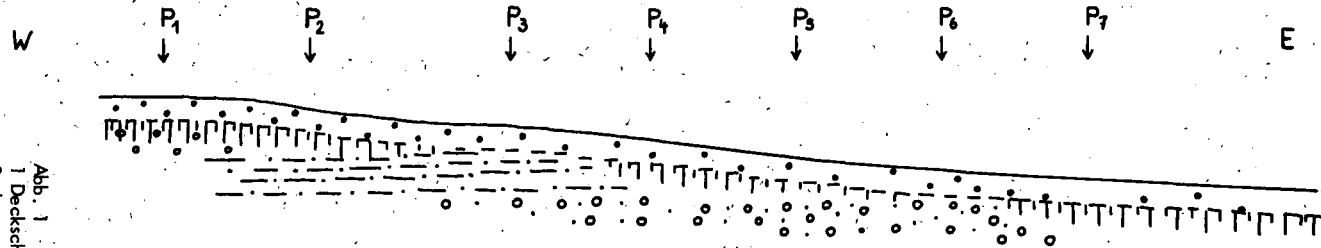


Abb. 1

1 Deckschicht 2 B_t-Horizont im lößartigen Material
 3 älterer lößhaltiger Schutt 4 Löss oder Lösslehm

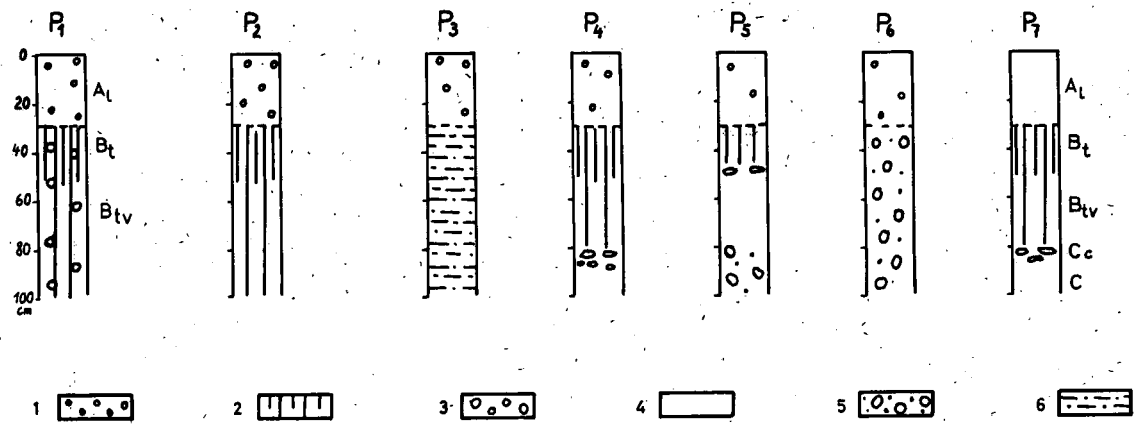


Abb. 1 Schematische Darstellung einer Deckschütt-Profilreihe

- 1 Deckschutt
- 2 B_t -Horizont im lößhaltigen Material
- 3 älterer lößhaltiger Schutt
- 4 Löß oder Lößlehm
- 5 pliozäner Kies
- 6 pliozäner Ton

Der Deckschutt zieht von Profil P_1 bis Profil P_7 in annähernd gleicher Mächtigkeit über verschiedene Sedimente hinweg. Im Löß oder in lößlehmhaltigen Substraten sind sepiabraune B_t -Horizonte ausgebildet. Diese Profile (P_1 , P_2 , P_4 , P_5 und P_7) werden als Parabraunerden bezeichnet. Die Basis des Deckschuttes ist hier nur in den Profilen P_2 , P_4 und P_5 anhand des Steingehaltes gut zu erkennen. Die Profile P_1 und P_7 sind scheinbar einheitlich. Im Profil P_3 liegt unter dem Deckschutt roter und gelber pliozäner Ton mit Spuren geringer Tonverlagerung. Ein sepiabrauner B_t -Horizont ist aber nicht ausgebildet. Da der Deckschutt hier die gleiche Zusammensetzung aufweist wie im Profil P_2 , sollte der im Unterboden verlagerte Ton, wenn er aus dem Deckschutt stammt, gleichfalls sepiabraun sein.

Im Profil P_6 liegt unter dem Deckschutt hellgrauer pliozäner Kies. In diesem fehlen Anzeichen einer Toneinschlämmung, obwohl auch hier sich die Zusammensetzung des Deckschuttes gegenüber dem benachbarten Profil P_5 kaum geändert hat.

Die Profile P_3 und P_6 dürfen also nicht als Parabraunerden bezeichnet werden. Dem könnte - wenn man trotzdem eine Durchschlammung annimmt - entgegengehalten werden, daß der eingewaschene braune Ton im Profil P_3 wegen der starken Eigenfarbe des pliozänen Tones nicht zu erkennen ist oder im Profil P_6 wegen der hohen Durchlässigkeit des Kieselweggeführt wurde. Jedoch sollten sich im Profil P_3 der eingeschlammte Ton zumindest von den gelben Tonlagen farblich deutlich abheben und außerdem einen höheren Tongehalt in deren oberen Teil bedingen. Auch im Profil P_6 liegen in dem Kies horizontale gelbliche oder rötliche Tonbänder, die von oben durchwandernde braune Tonsuspensionen filtrieren müßten.

Wenn also demnach aus dem Deckschutt dieser beiden Profile kein oder nur sehr geringfügig Ton ausgewaschen wurde, gilt das wohl auch für die anderen Böden dieser Profilreihe.



Verlagerungsvorgänge in prae- und postalleröden
Böden auf Löss, Bims (Trachyttuff) und Staublehm
im Rheinischen Schiefergebirge

von W. Th. Stöhr.¹⁾ und von P. Benecke.²⁾

Den ersten Nachweis über Lehmvorkommen im westlichen Hunsrück (südliches Rheinisches Schiefergebirge), führte H. Grebe am Ende des vorigen Jahrhunderts (etwa 1870 bis 1900) auf den von ihm kartierten und erläuterten geologischen Spezialkarten 1: 25 000 dieses Gebietes. Die in den dreißiger Jahren von verschiedenen Autoren bearbeiteten geologischen Spezialkarten des östlichen oder Vordérhunsrück, besitzen bereits eine eingehende Gliederung der tertiärzeitlichen und pléistozänen Lehmvorkommen. G. DEINES (1953 ?) bringt das Auftreten eines relativ stein- und grüsfreien sandigen Lehmes auf Taunusquarzit (Unterdevon) und Quarzitschutt im Forstamt Hermeskeil-Ost (westlicher Hunsrück) in 500 bis 750 m NN mit Staubstürmen der Kaltzeiten in Verbindung. Er leitet die allochthone Herkunft der Lehme aus den unterschiedlichen $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnissen der Quarzite und des Lehmes ab und weist auf den höheren Basengehalt der Böden hin. Er erwähnt auf Seite 13 außerdem Bodenumlagerungs- und-mischvorgänge.

1959 vermutete der Berichterstatter erstmals einen Zusammenhang zwischen den lockeren, sauren Braunerden des westlichen und östlichen Hunsrücks und des Neuwieder Beckens. Daraufhin wurden vom Berichterstatter - mit freundlicher Unterstützung durch Herrn Regierungsdirektor Dr. SCHOTTLER, dem hier besonders gedankt sei - bis 1962 mehrere tausend Sondierungen im Rheinischen Schiefergebirge durchgeführt. Der Kollege H. GÖTZ hat mehr als 100 Bodenprofile sehr eingehend analytisch und mineralogisch untersucht (STÖHR 1963).

1) Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, 65 Mainz, Flachmarktstr. 9

2) Niedersächs. Landesamt für Bodenforschung, 3 Hannover-Buchholz, Alfred-Bentz-Haus

Die ersten Ergebnisse zeigten, daß das Alter und die Herkunft der Lehme mit den heute üblichen Analysen-Methoden nicht zu bestimmen sind. Aus diesem Grunde wurden an den Proben zusätzliche mineralogische Untersuchungen vorgenommen. Dabei wurde der Mineralbestand der Sand- und vereinzelt auch der Grobschluff-Fraktion als Körnerpräparat unter dem Mikroskop oder Binokularermittelt.

Die auffallend lockeren Böden mit den satten gelbbraunen Farbtönen (10 YR 3/4 bis 5/4) besaßen im Ah- und ABv-Horizont einen völlig anderen Mineralbestand, als auf den devonischen Sedimenten (Hunsrückschiefer, Taunusquarzit, Eifeldolomit usw.) zu erwarten war. Fast alle Oberböden im südlichen Rheinischen Schiefergebirge und sehr verbreitet auch das ganze Bodenprofil bis 60 cm und zum Teil bis mehr als 100 cm Einschlagtiefe führten vulkanisches Glas und eine Mineralgesellschaft, die eindeutig dem Trachyttuff oder Bims des Laacher-See-Gebietes (FRECHEN 1953, und 1959) entstammen. Die Minerale sind sehr frisch und zeigen keine Korrosionserscheinungen. Im Gegensatz zu den Mineralkörnern (Kristalle) verwittern die porösen Bimskörner (Schaumlava) wegen ihrer großen Oberfläche relativ leicht.

Es wurde beobachtet, daß sich das Verhältnis der trachytischen zu den nichttrachytischen Bestandteilen mit der Entfernung vom Laacher See sehr deutlich zugunsten der Fremdbestandteile verschiebt. Im gleichen Sinne ändert sich das Korngrößenmaximum der Minerale. Es wandert von den Sand- in die Schluff-Fractionen. Die Lockerheit und der Porenreichtum nehmen im gleichen Sinne ab und beweisen die kausalen Zusammenhänge.

In einiger Entfernung vom Laacher See tritt innerhalb der Profile, die meist in einer Auswurfichtung liegen, eine Differenzierung in einen bimsmineralarmen Oberboden und einen bimsmineralreichen Unterboden auf. Die Unversehrtheit der Minerale spricht gegen eine Verarmung durch Verwitterungs- und Bodenbildungsprozesse und für die Zweischichtigkeit des Profils. Der Bims des Unterbodens liegt noch auf mehr oder weniger primärer Lagerstätte (Auswurfichtung). Der Oberboden ist nachträglich aufgeweht worden, wobei Bimsbestandteile mit Nachbarschaftsschutt vermengt wurden (Staublehm-Bildung, Abb. 1 und STÖHR 1963, 1964). Dieser Vorgang dürfte durch die Erwärmung und Wiederbewaldung im Praeboreal zum Erliegen gekommen sein.

Nach dem Bimsmineralanteil im Solum und der Entfernung vom Laacher See läßt sich das Bimsverbreitungsgebiet bodenkundlich in 3 Zonen (I, II und III) einteilen.

- I. Das Neuwieder Becken mit mächtigen Bimsdecken, die vorwiegend auf einem bis etwa 40 cm entkalkten Löß (Löß-Braunerde bis Pararendzina-Braunerde) in 70 m bis 250 m über NN vorkommen. Der entkalkte Löß zeigt keine Spuren einer Tonverlagerung (STÖHR 1964).

- II. Die sich in den Hauptauswurfrihtungen nach Süden und Osten anschließenden Teile des Rheinischen Schiefergebirges (Hunsrück, Westerwald), in welchen der Bims heute nur noch in Mulden, Senken und Hangfußlagen an der Basis einer bis 1 m mächtigen Bodenbildung vorkommt. Hier liegt er vorwiegend auf devonischen Sedimenten (ehem. Ranker) oder auf tertiärzeitlichem Graulehm (ehem. Plustosole und Pseudogleye) oder pleistozänem Lößlehm (Parabraunerden und Pseudogleye) in Höhenlagen zwischen 300 bis 500 m über NN, wenn man die Täler nicht berücksichtigt. Die Braunerde erreicht hier ihre größte Lockerheit (vgl. auch P. BENECKE im Anhang). Als locus typicus der Lockerbraunerde ist das Profil 3 in der Revierförsterei Büchholz im Forstamt Boppard (Rhein) anzusehen.

- III. Der größte Teil des Rheinischen Schiefergebirges (Eifel, Hunsrück, Westerwald, Siegerland usw.) und der angrenzenden Gebiete. In diesen Bereichen ist makroskopisch kein Bims im Solum nachzuweisen. Die Lockerheit der Böden und ihre Farben erinnern an die Bimsverwitterungsböden. Diese Zone reicht in Höhenlagen bis etwa 800 m über NN.

Mit zunehmender Entfernung vom Laacher See geht die saure Lockerbraunerde (Bims-Braunerde) in eine lockere, saure Braunerde und schließlich in die saure Braunerde über.

Der zonalen Einteilung der Bimsverbreitungsgebiete entspricht die hier vorgenommene Gliederung der Lockerbraunerden in I, II und III.

Die Lockerbraunerde (SCHÖNHALS 1957, STÖHR 1963 und 1964) ist durch ihr auffallend lockeres, porenreiches Gefüge gekennzeichnet.

Die Braunerde, welche das Prädikat "Lockerbraunerde" zu Recht führt, ist substratabhängig. Sie kommt nur auf sauren (?), magmatischen Lockergesteinen vor. Mit der fast kontinuierlichen Abnahme des Bimsanteils im Solum vom östlichen in den westlichen Hunsrück verliert diese Braunerde auch ihre Lockerheit und den Porenreichtum (P. BENECKE im Anhang).

Neben dieser Lockerbraunerde auf saurem Trachyttuff oder Bims wurden vom Berichter 1953 auf einer Italienreise lockere Braunerden auf basischen vulkanischen Tuffen bei Rocca di Papa in den Albaner Bergen südöstlich von Rom beobachtet. Sie wurden damals zunächst als Sonderformen der mediterranen Braunerde gedeutet (Geol. Karte von Italien 1 : 100 000).

Der im Sommer 1965 in Deutschland weilende Bodenkundler Mr M^C CRAW aus Neuseeland berichtete (mündliche Mitteilung vom 25.8.65) über "Ashes Soils" (Aschenböden) in seiner Heimat, die dort auf sauren Rhyolith-(Quarzporphyr-)tuffen verschiedenen Alters vorkommen. Er verglich und parallelisierte nach einem eingehenden Studium unsere Böden der Zonen I und II - die Böden der Zone III hat er nicht gesehen - mit seinem "Jellow brown loam". Nach seinen neuseeländischen Erfahrungen schätzte er das Alter unserer Böden auf 5 000 bis 10 000 Jahre. Die Neuseeländer haben als Stabilisatoren des lockeren, porenreichen Gefüges Allophane ermittelt.

Die Lockerbraunerde auf Bims ist außerordentlich stark durchwurzelt (Haarwurzeln). Ein relativ hoher Gehalt an organischer Substanz (Humus) reicht bis an die Basis des Solums. Daraus ergibt sich eine Horizontfolge

- Ah - ABv - ABCv - C in der Zone I,
- Ah - ABv - C - II in der Zone II und
- Ah - ABv - II in der Zone III

für diesen Bodentyp (Abb. 1).

	Zone I (Profil 2, Ackerrain)	Zone II (Profil 3, Wald)	Zone III (Profil 4 und 5, Wald)
	206 m NN	375 m NN	670m NN
Humus	2,8 - 2,4 ‰	2,5 - 1,9 ‰	10 - 1,5 ‰
C/N-Verhältnis	1:10 bis 1:12	1:19 bis 1:23	1:17 bis 1:27
T-S-Wert	6,8 - 6,2	11 - 9	17 - 10
V-Wert	67 - 62	41 - 37	9 - 4
pH-Wert	5,6 - 5,4	4,6 - 4,0	4,0 - 3,5
Gesamt K ₂ O	4,5 - 4,0 ‰	4,1 - 3,5 ‰	2,5 - 1,6 ‰
Laktat K ₂ O	13 - 2 mg ‰	41 - 19 mg ‰	9 - 4 mg ‰
Gesamt P ₂ O ₅	0,2 - 0,14 ‰	0,11 - 0,07 ‰	0,14 - 0,07 ‰
Laktat P ₂ O ₅	1,0 - 0,4 mg ‰	0,4 - 0,0 mg ‰	1,0 - 0,4 mg ‰
Austausch CaO	141 - 116 mg ‰	23 - 17 mg ‰	8 - 1,2 mg ‰
Pflanzenaufn. bares Mg	8 - 6 mg ‰	9 - 3 mg ‰	1,2 - 0,6 mg ‰
Gesamt Fe ₂ O ₃	6,2 - 5,4 ‰	5,8 - 5,3 ‰	3,9 - 2,6 ‰
Dithionatlösl. Fe ₂ O ₃	2,5 - 0,8 ‰	2,6 - 2,0 ‰	2,3 - 1,4 ‰
Bimsmineralanteil	80 ‰	80 ‰	10 ‰
Mittl. Tongehalt	18 - 13 ‰ oben - unten	28 - 4 ‰ oben - unten	28 - 17 ‰ oben - unten

TABELLE 1: Vergleich der wichtigsten Analysendaten der Lockerbraunerden aus den Zonen I, II und III (ohne Ah und C-Horizont).

Analytiker: Dr. H. GÖTZ

Die Profile zeigen weder eine Tonverlagerung (MÜCKENHAUSEN 1962, STÖHR 1963 und 1964) noch nennenswerte Verschiebungen in den Gehalten an dithionitlöslichem Fe_2O_3 , an pflanzenaufnehmbarem Magnesium, an Kalium usw. Es handelt sich um eine echte Braunerde, der eine systematische Sonderstellung zukommt. Schon W.L. KUBIENA (1953) erwähnt den "Bimssteinsand" als Ausgangsgestein der Bodenbildung für die "Eutrophe Braunerde" und führt als Synonym dieses Typs den "Erubasboden" von HOYNINGEN - HUEHNE (1930) an. E. MÜCKENHAUSEN (1962) unterscheidet zwischen der "Basenreichen Braunerde" auf Trachytuff und der "Basenarmen Braunerde" gleich "Lockerbraunerde" nach E. SCHÖNHALS (1957).

Über die Bimsverbreitung und die "Lockerbraunerden" sind in den letzten Jahren nach der 1. Mitteilung von E. SCHÖNHALS (1957) eine Reihe von Arbeiten erschienen (E. BARGON 1960, E. BECKER 1963, K. BRUNNACKER 1965, E. MÜCKENHAUSEN, W. GERKHAUSEN und W. KERPEN 1959, E. MÜCKENHAUSEN 1962, S. MÜLLER 1965, E. OSTENDORF 1964, A. SEMMEL 1964, V. SONNE und W.Th. STÖHR 1959, W. Th. STÖHR 1963, 1964, 1965, H. STRELETZKI 1964). Die Ansichten über die Lockerbraunerde, saure, lockere Braunerde bis saure Braunerde gehen zur Zeit noch etwas auseinander. Durch weitere Untersuchungen wird zu prüfen sein, ob alle Lockerbraunerden in den deutschen Mittelgebirgen im Sinne von SCHÖNHALS 1957 und STÖHR 1963 identisch sind, beziehungsweise wo die Grenze zwischen einzelnen Formen zu ziehen ist. Einen wichtigen Schritt auf diesem Wege stellen die bodenphysikalischen Untersuchungen dar, die P. BENECKE durchführte und über die hier im Anschluß kurz berichtet wird. Für diese Untersuchungen dankt der Bericht der Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover-Buchholz.

Ergebnisse von Kf- und PF-Wert-Bestimmungen an Lockerbraunerden im Rheinischen Schiefergebirge

von P. Benecke

Vorbemerkung

Die vorläufige Bezeichnung "Lockerbraunerde" für die 3 angeführten Böden läßt sich recht gut durch die Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen begründen: Sowohl die Kf-Werte (Durchlässigkeit) wie die PF-Werte (Porengrößenverteilung) niedriger Saugspannung liegen in Maximalbereichen (s.u.). Sie zeigen darüberhinaus innerhalb dieser Böden eine klare Tendenz, d.h., das Merkmal "Lockerheit" nimmt in der angeführten Reihenfolge Profil 3 Profil 2 Profil 5 ab. Dies mag im Fall Profil 2 durch die Nutzung als Acker gegenüber Wald bei den anderen Profilen bedingt sein; im Fall Profil 5 darf angenommen werden, daß der Einfluß stauender Nässe die Verminderung der Lockerheit verursacht hat. Die Lockerheit kommt darüber hinaus besonders in der offenen Lagerungsart und im sehr losen Zusammenhalt der im übrigen so gut wie ungliederten Festsubstanz zum Ausdruck.

Durchlässigkeit

Ein Vergleich mit den gebräuchlichen Mittelwerten der Kf-Werte zeigt die extreme Stellung dieser Böden

Profile 3	(Buchholz)	Lockerbraunerde II
2	(Ochtendung)	" I
5	(Vierherrenwald)	" III -pseudovergleyt

Mittelwert: etwa Kf 20 - 35 (cm/Tag)

Bez.d.Böden	Ah, ABv ₁	ABv ₂	ABCv-Horizonte
Profil 3	10600	13800	480
Profil 2	-	4000	-
Profil 5	439	1100	105

Tabelle 2 : Kf-Werte (cm/Tag) in echten Lockerbraunerden aus Bims und Bims-Stablehm

Auch die in allen Horizonten stets niedrigsten Werte des staunässebeeinflussten, (jedoch kaum Staunässemerkmale zeigenden) Profils 5 liegen im Bereich sehr hoher bis extrem hoher Durchlässigkeit.

Porengrößenverteilung

Auch hier treten Extremwerte auf, wobei besonders hervorzuheben ist, daß sie sich auf die Porengruppe niedriger Saugspannung ($PF < 1,8$) konzentrieren, d.h., daß nur die größten Bodenhohlräume extrem stark auftreten. Gerade dies dürfte die "Lockerheit" am besten charakterisieren.

Mittelwert: Der Volumenanteil der Poren $PF < 1,8$ beträgt im Durchschnitt $\sim 8\%$.

Bez. d. Böden	Ah, ABv ₁	ABv ₂	ABCv-Horizonte
Profil 3	39,5	31,8	29,1
Profil 2	18,2 (Ap)	27,0	42,4
Profil 5	16,1	18,1	18,8

Tabelle 3 : Volumenprozentualer Anteil der Poren $PF < 1,8$ in echten Lockerbraunerden auf Bims und Bims-Staublehm

Diese extrem hohen Werte im Bereich der größten (sogenannten schnell-dränenden) Bodenhohlräume gehen nicht auf Kosten der übrigen Hohlräumebereiche, sondern die hier ermittelten Werte stimmen im großen und ganzen mit den üblichen Mittelwerten überein. Es resultieren somit außerordentlich hohe Werte für die Gesamtporenvolumina sowie extrem niedrige Werte für die Trockenraumgewichte dieser Mineralböden.

<u>Bez. d. Böden</u>	<u>Ah, ABv₁</u>	<u>ABv₂</u>	<u>ABCv-Horizonte</u>		
a	Profil 3	67,8	65,3	60,5	
	Profil 2 (Ap-Horizont)	49,7	56,1	62,6	Mittelwert:
					50 (Vol. %)
b	Profil 5	71,4	63,3	64,8	
	Profil 3	0,82	0,89	1,05	
	Profil 2	1,26	1,14	1,00	Mittelwert:
	Profil 5	0,69	0,95	0,89	1,30 (g/cm ³)

Tabelle 4: a) Gesamtporenvolumina (Vol. %)
 b) Trockenraumgewichte (g/cm³)

Zusammenfassung

Auf sauren (?) magmatischen Lockergesteinen und deren Umlagerungsprodukten haben sich in verschiedenen Klimabereichen (Rheinisches Schiefergebirge, Albaner Berge und Neuseeland) Böden mit einem außerordentlich lockeren und porenreichen Gefüge, extremer Durchlässigkeit und minimalem Trockenraumgewicht gebildet. Diese bei uns weniger als 11 000 Jahre alten Böden zeigen die Merkmale einer humusreichen Braunerde mit ABv-Horizonten. Im niederschlagsarmen Neuwieder Becken, einer tertiärzeitlichen Innensenke des Rheinischen Schiefergebirges, läßt das Bodenprofil stellenweise auf eine steppenbodenartige Entwicklung im Postglazial schließen. In Gebieten mit tieferen Temperaturen und höheren Niederschlägen (Zone III) bilden sich Übergangsformen zu den Podsolen und Pseudogleyen aus (Abb.1, Prof. 5 und 6). Außerdem stellen sich auf den bimsarmen Staublehmen in größerer Entfernung vom Laacher See Übergangsformen zu den lockeren, sauren Braunerden der deutschen Mittelgebirge ein. Es wird empfohlen, nur Böden auf Bims (Trachyttuff) und ähnlichen magmatischen Lockergesteinen einschließlich ihrer Mischprodukte (Staublehne usw.) als "Lockerbraunerden" zu bezeichnen.

Literatur

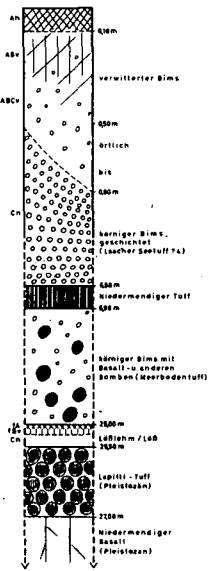
- Bargon, E.: Über die Entwicklung von Lockerbraunerden aus Solifluktionsmaterial im vorderen Odenwald; Z.f.Pfl. Düngg.Bodenk. 90. (135) Bd.H.3, 1960
- Becker, E.: Stratigraphische und bodenkundliche Untersuchungen an jungpleistozänen und holozänen Ablagerungen im nördlichen Oberrheintalgraben; Inaug.Dissert., Frankfurt (Main) 1963
- Brunnacker, K.: Die Lockerbraunerde im Bayerischen Wald; Geol.Bl. NO Bayern, Bd. 17, H.2, Erlangen 1965
- Deines, G.: Erläuterungsbericht zur Teststreifen- und Kahl-schlagkartierung im Forstamt Hermeskeil-Ost; Selbstverlag FEA. Koblenz 1953
- Firbas, Fr.: Das absolute Alter der jüngsten vulkanischen Eruptionen im Bereich des Laacher Sees; Die Naturw., 40, Heidelberg 1953
- Frechen, J.: Der Rheinische Bimsstein; G. Fischer-Verl. Wittlich 1953
- : Die Tuffe des Laacher Vulkangebietes als quartärgeologische Leitgesteine und Zeitmarken; Fortschr.Geol. Rheinl. u. Westf., 4, Krefeld 1959
- Hoyningen-Huehne, P.F. v.: Die Bodentypen Nord- und Mitteldeutschlands bis zum Rhein; Diss. Danzig 1930
- Kubiena, W.L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas; F. Enke-Verl., Stuttgart 1953

- Mückenhausen, E.: Entstehung; Eigenschaften und Systematik der Böden der BRD;
DLG-Verl. GmbH, Frankfurt (Main) 1962
- Mückenhausen, E.,
Gerkhausen, W. und
Kerpen, W.: Entstehung und Eigenschaften der Böden auf fossilen Verwitterungsdecken der Eifel;
Z.F. Acker- und Pflanzenbau, Bd. 108,
H. 1/2, 1959
- Müller, S.: Lessivierung in Abhängigkeit vom Kleinklima;
Vortrag DBG, Aachen 1965
- Ostendorff, E.: Über erste postglaziale Bodenbildung, nach einem Vergleich der Bodenbildung in Skandinavien und im deutschen Raum;
Eisz. u. Gegenw., Bd. 15, Öhringen. 1964
- Schönhals, E.: Spätglaziale äolische Ablagerungen in einigen Mittelgebirgen Hessens;
Eisz. u. Gegenw., Bd. 8, Öhringen 1957
- : Spät- und nacheiszeitliche Entwicklungsstadien von Böden aus äolischen Sedimenten in Westdeutschland;
7 th intern. Congress of soil science, Madison, Wisc. USA, 1960
- Semmel, A.: Junge Schuttdecken in hessischen Mittelgebirgen;
Notizbl. HLfB, Bd. 92, Wiesbaden 1964
- Sonne, V. und
Stöhr, W.Th.: Bimsvorkommen im Flugsandgebiet zwischen Mainz und Ingelheim;
Jber. u. Mittl. Oberrh. Geol. V., NF. 41, Stuttgart 1959
- Stöhr, W.Th.: Der Bims (Trachyttuff), seine Verlagerung, Verlehmung und Bodenbildung (Lockerbraunerden) im südl. Rheinischen Schiefergebirge;
Notizbl. HLfB, Bd. 91, Wiesbaden 1963

- Stöhr, W.Th.: Die Bimsruptionen im Laacher Seegebiet, ihre Bedeutung für die Quartärforschung und Bodenkunde im Mainzer Becken und in den südlichen Teilen des Rheinischen Schiefergebirges; Vortrag DGG, 25.3.1964 in Wiesbaden (im Druck)
- Stöhr, W.Th.: Bodenübersichtskarte 1 : 500 000 von Rheinland-Pfalz; Deutscher Planungsatlas, Bd. Rheinl.-Pfalz, Mainz 1965
- Streletzki, H.: Ergebnisse standörtlicher und forstgeschichtlicher Untersuchungen im Gebiet der Schönecker Schweiz; Decheniana, Bd. 117, H.1/2, Bonn 1964
- Geologische Karte von Italien 1 : 100 000 : Roma, F.^o150 della Carta al 100 000 dell' Istituto geografico militare

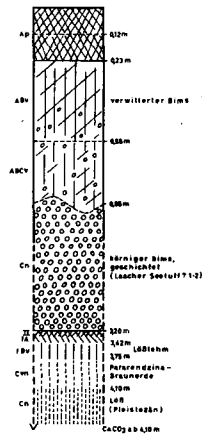
I NEUWIEDER BECKEN

Niedermendig 258m NN

Südsüdwest bis SE, oben bis hängig
Profil 1

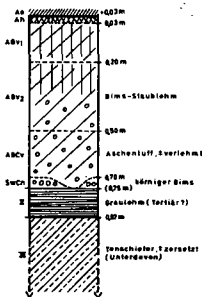
Richtung und Entfernung zum Laacher See

Ochtendung 208m NN

Südsüdwest bis SE, oben
Profil 2

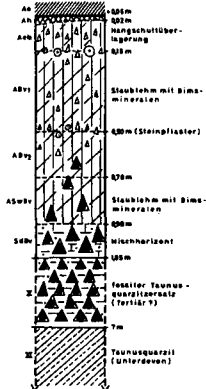
II ÖSTL. HUNS RÜCK

Revier Bucholz 375m NN

Abteilung 36, oben
Profil 3

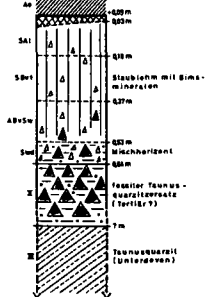
- körniger Bims
- Bomben
- Schlicken
- △ Grus
- △ Steine, gerundet
- ▲ Steine und Blöcke
- Schluff, Ton (Grauwacke)

Vierherrenwald 675m NN

Abteilung 2a, geneigt
Profil 4

III WESTL. HUNS RÜCK (Bimsverbreitungszonen)

Vierherrenwald 685m NN

Abteilung 7a, oben
Profil 5

Vierherrenwald 610m NN

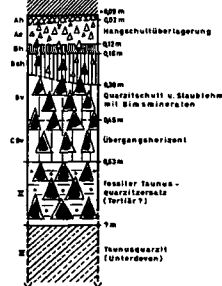
Abteilung 7a, geneigt bis hängig SW-S
Profil 6

Abb. 1 Die wichtigsten Bims- und Staublehmprofile in den 5 Bimsverbreitungszonen I - III

- Zone I Profil 1 u. 2 Bims-Braunerde (Lockerbraunerde I)
- Zone II Profil 3: Lockerbraunerde II (Locus typicus), (Bims-Braunerde)
- Zone III Profil 4: Lockerbraunerde III (saurer Braunerde, schwach podsolig, schwach basipseudovergleyt)
- Profil 5: Pseudogley-Lockerbraunerde III (saurer Pseudogley-Braunerde)
- Profil 6: Lockerbraunerde III - Podsol (Braunerde-Podsol)

Süd, 3km

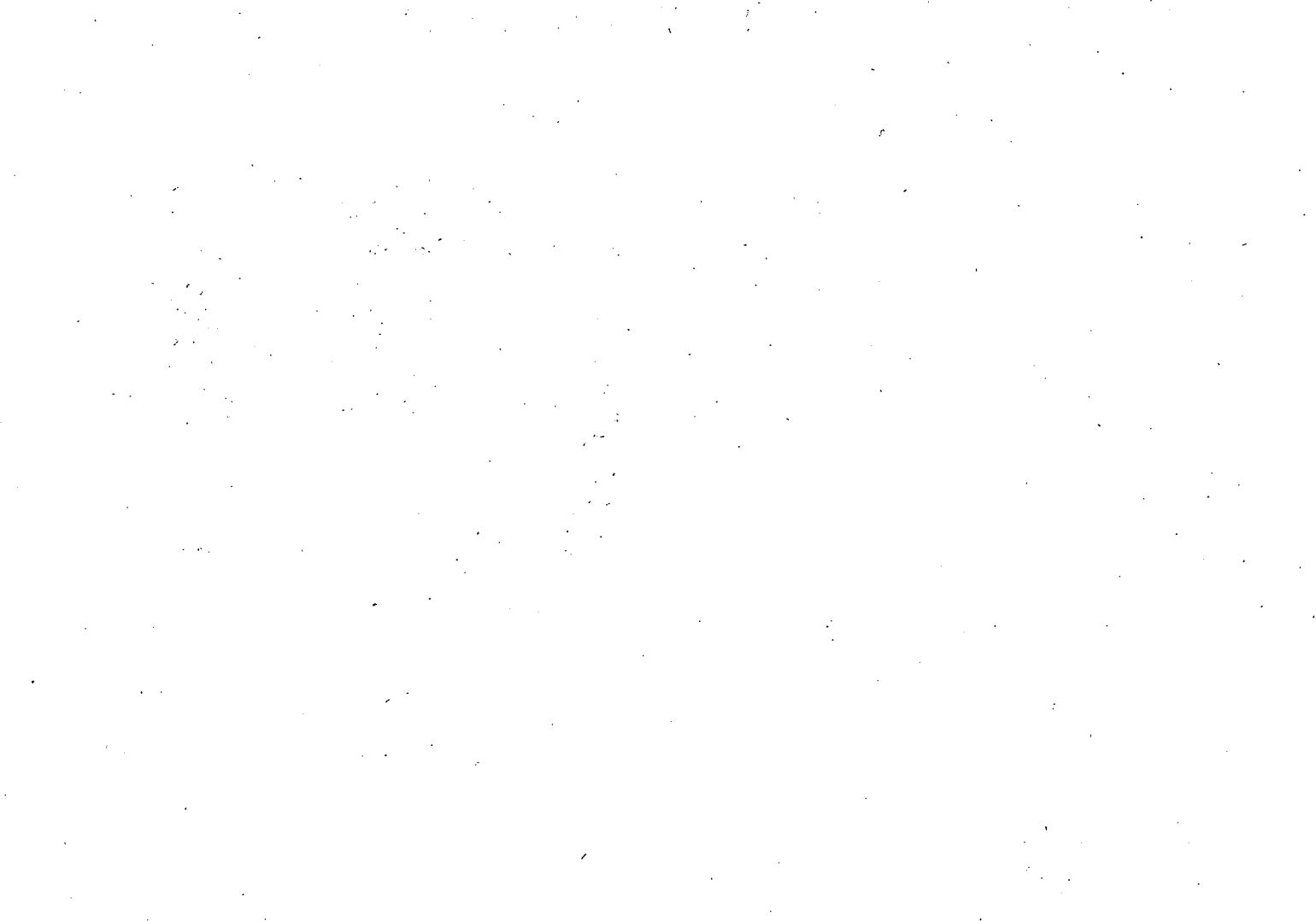
Südost, 12km

Südost, 28km

Süd 64km

Süd 64km

Süd 65km



Böden mit Tondurchschlammung in Osteuropa

J. Breburda⁺⁾

Über die Bildung der Grauen Waldböden, der Rasen- oder Chernopodsole, der Braunen Waldböden in den Karpaten und im Kaukasus, der Zimtfarbenen Böden im Kaukasus und in Mittelasien sowie der Gelbpodsole in Weißrußland und im Ural herrschen verschiedene Ansichten. Die von einigen russischen Bodenkundlern vertretene Auffassung (Fridland 1958, Gerasimov 1960, Minasina 1958 u.a.), daß die Tonausscheidung im B-Horizont dieser Böden durch Einspülung von unzersetzten peptisierten Tonkolloiden aus dem oberen Horizont, d.h. also durch Lessivierung, zu erklären sei, wird von der Mehrzahl der sowjetischen Bodenkundler abgelehnt (siehe Rode, 1964). Die erwähnten Bodentypen werden weiterhin als podsolierte Böden aufgefaßt, deren Tonmaximum im Unterboden nur zu einem geringfügigen Teil durch Illuviation von fertigen Tonmineralen, überwiegend aber durch Tonsynthese bedingt sein soll.

Es wird angenommen, daß die Waldsteppenböden durch den gleichzeitigen Ablauf des Schwarzerde- bzw. Rasenprozesses mit Bildung einer mächtigen humosen Schicht einerseits und des Podsolierungsprozesses andererseits entstanden sind. Das heißt, die fällbaren Humin- und Fulvosäurefraktionen werden in der oberen Schicht ausgeflockt, wodurch ein Humusanreicherungshorizont entsteht, die freien Fulvosäuren werden in tiefere Schichten ausgewaschen und leiten dort den Podsolprozeß ein (Ponomareva, 1964). Im B-Horizont kommt es durch eine Synthese der eingewaschenen Sesquioxide mit biogener Kieselsäure zu einer Tonneubildung. Durch Sedimentation der Fällungen entstehen orientierte Tonhüllen. Die anflugartige Beschaffenheit und Einheitlichkeit dieser in Mikropalten und Poren von Waldsteppenböden bis zu großen Tiefen festgestellten Tonhüllen werden als Beweis dafür angesehen, daß sie dort aus Lösungen synthetisiert wurden, die aus ausgelaugten Schichten zuströmten. Aber auch im Frühstadium der Bo-

+) Institut für kontinentale Agrar- und Wirtschaftsforschung, Sektion Bodenkunde und Bodenerhaltung, der Justus Liebig-Universität Gießen, Schloßgasse 7

denbildung konnten auf Basalttuff unter Flechten in 0-5 cm Tiefe im Dünnschliff die gleichen orientierten Tonablagerungen festgestellt werden. Ihre Orientierung kann nur durch Bildung in situ, nicht durch Umlagerung, bedingt sein (Jarilova, Parfenova, 1957, 1960). Nach Gorbunov (1961) ist vor allem das Vorhandensein von kristallisierten Sesquioxiden in tieferen Horizonten bei Braunen Waldböden und Grauen Waldböden ein Hinweis auf Tonzerfall. Wie Untersuchungen ergeben haben, besteht der im Verarmungshorizont bei Grauen Waldböden auftretende weiße Puder nicht nur aus durch Auswaschung von Tonkolloiden bloßgelegten Quarz- und Feldspatkörnchen, sondern vor allem aus amorpher Kieselsäure als Zersetzungsrückstand von Kolloiden (Rode, Feoforova, 1955). In Ortsanden konnten freie Sesquioxide und Kieselsäure als Zerfallsprodukte, außerdem aber auch in größerer Menge unzersetzte Tonminerale festgestellt werden. Gradusov und Dzjagevič (1961) konnten im Unterboden von stark podsolierten Böden durch Röntgenaufnahmen und DTA Kaolinit feststellen, der sich ihrer Auffassung nach infolge starker Auswaschung von Basen und ebenso starker Entkieselung im Oberboden bildet und durch Wasser umgelagert wird. Durch Laubextrakte konnte eine Dispergierung von Kaolinit nachgewiesen werden. Eine Durchspülung von unzersetzten Tonmineralen findet hiernach also nicht nur im Lessivé, sondern auch im Podsol statt.

Mikroskopisch werden von Jarilova und Parfenova (1960) in den B-Horizonten von Waldsteppenböden und Podsolen drei Arten von orientierten Tonformen unterschieden:

1. schichtige Ablagerungen einer gleichmäßig polarisierenden Substanz mit starker Doppelbrechung, die als durch Tonsynthese im Illuvialhorizont gebildet angesehen werden und bei Grauen Waldböden, Rasenpodsolen und Podsolen auftraten
2. eine feine ungleichmäßig polarisierende Masse mit unvollständiger Orientierung der Teilchen, die noch ganz oder teilweise die Gestalt der primären Minerale beibehalten hat. Sie wird als durch Verwitterung von primären Mineralen am Ort entstanden gedeutet
3. eine feine ungleichmäßige mehr wirrfaserige Masse mit einer Orientierung in verschiedenen Richtungen, deren Teilchen zu kleinen, gewundenen, verflochtenen Fasern vereinigt sind. Sie wird als

eigentümlich für die Tonablegerung angesehen. Diese faserigen Gebilde mit feinen Streifen, Körnchen und Schuppen konnten vor allem in Braunen Waldböden und Zimtfarbenen Böden gefunden werden.

Auf Grund aller dieser Befunde läßt sich nach Auffassung des Großteils der sowjetischen Bodenkundler keine klare Trennung zwischen Böden mit Tondurchschlammung und solchen mit Tonzerstörung durchführen, denn einerseits ist das, was wir als Lessivés bezeichnen würden hiernach nicht nur durch Illuviation von fertigen Tonmineralen entstanden, sondern für sehr wahrscheinlich wird daneben auch - wie dargestellt - eine Tonsynthese im Illuvialhorizont gehalten; andererseits findet eine Durchspülung von unzersetzten Tonmineralen nicht nur im Lessivé, sondern auch im Podsol statt. Um aber trotzdem eine Unterteilung der großen Gruppe der in der Sowjetunion verbreiteten podsolierten Böden durchzuführen, sollen nach einem neuen Vorschlag von ZONN (1964) die sog. ausgelaugten Schwarz-erden, die podsoligen Schwarz-erden, die dunkelgrauen Waldböden und die Grauen Waldböden, bei denen eine stärkere Tonanreicherung im Unterboden festgestellt ist, zur Klasse der ausgelaugten Waldsteppenböden zusammengestellt werden. Für die hellgrauen Waldböden, die Rasenpodsole und die nördlichen Podsole, bei denen die Tonzerstörung überwiegt, wird hingegen eine Zusammenfassung zur Klasse der Böden mit einem Podsolierungsprozeß vorgeschlagen.

Literatur

- Fridland, V.M.: Über Podsolierung und Illimerisation. Počvovedenie 1958, 1.
- Gerasimov, I.P.: Die Böden von Mitteleuropa und Fragen ihrer Geographie. Akademija nauk, 1960.
- Gorbunov, N.J.: Über die Verlagerung von Kolloid- und Ton- teilchen in Böden. Počvovedenie 1961, 7.

- Gradusov, B.P., Džjagevič, G.S.:
Chemische und mineralogische Zusammen-
setzung der Tonfraktion stark podsolierter Bö-
den in Abhängigkeit von der Beweglichkeit.
Počvovedenie 1961, 7.
- Jarilova, E.A., Parfenova, E.I.:
Tonneubildung in Böden.
Pocvovedenie 1957, 9.
- Jarilova, E.A., Parfenova, E.I.: Untersuchung der Tonminerale in Bo-
denkolloiden. Kolloidnyj Žurnal, 1960, 22, 2.
- Minašina, N.G.: Optisch orientierte Tone in Böden.
Počvovedenie 1958, 4.
- Parfenova, E.I., Jarilova, E.A.: Zur Frage der Lessivierung und Pod-
solierung. Počvevedenie 1960, 9.
- Ponomareva, V.V.: Theorien des Podsolierungsprozesses.
Nauka, 1964.
- Rode, A.A., Feoforova, J.J.: Einige Angaben über die mineralogi-
sche Zusammensetzung des "SiO₂-Puders"
in Waldsteppenböden.
Počvovedenie 1955, 9.
- Rode, A.A.: Zur Frage der Podsolierung und Lessivierung.
Počvovedenie 1964, 7.
- Zonn, S.V., Karpačevskij, L.O.: Vergleichende genetische Charakte-
risierung des Podsols, Derno-Podsols und Grau-
en Waldbodens, in:
Genetik, Klassifikation und Kartographie der
Böden der UdSSR, Nauka, 1964.

Tonverlagerung in "schweren" Böden

von E. Schlichting ⁺⁾

Der Nachweis einer Tonverlagerung ist in "schweren" Böden - zumal bei geringer Ausprägung - schwierig. Die Interpretation von Körnungsdaten ist wegen des hohen Tongehaltes der Matrix, bei Pelosolen zusätzlich der ungleichmäßigen Schichtung und diagenetischen Verfestigung des Gesteines wegen problematisch. Ähnliches gilt für das Gefüge, da Cutane oft undeutlich und illuviale (Beläge) von stress-bedingten (Häute) makroskopisch kaum und mikroskopisch nicht immer sicher zu differenzieren sind. Eine sorgfältige Prüfung ist daher erforderlich.

Es wurden Pelosole aus verschiedenen mesozoischen Tonen (Tonmineralbestand siehe Beitrag von K.-H. Papenfuß in diesem Heft) auf Körnung (H_2O_2 -HCl-Dithionit-Vorbehandlung, $Na_4P_2O_7$ -Dispergierung, Pipett- und Aräometer-Analyse) und Gefüge (makroskopisch, an Dünnschliffen mikroskopisch) untersucht. Ausgewertet werden insbesondere Tongehalt der Feinerde (Nachweis des Tonmaximums), Schluff: Feinsand-Verhältnis (bei Schichtung Zusammenfall mit Tonmaximum zu erwarten), (Schluff*Feinsand): (Grobsand*Ton)-Verhältnis (auch bei Schichtung ähnliche Werte, bei Tonverlagerung dagegen Abfolge $A_1 < C < B_t$ zu erwarten) sowie Körnung der tonfreien Feinerde (auch bei Tonverlagerung in homogenem Material ähnliche Werte zu erwarten). - Zum Vergleich wurden einige von Diez, Ehwald und Sjang und Mückenhausen analysierten Profile aus vergleichbaren Gesteinen herangezogen.

Von 38 Profilen besaßen 24 ein Tonmaximum im B, von 9 mit einem Schluff: Feinsand-Maximum im B 8 dort auch ein Tonmaximum (entsprechende Zahlen für den C 9 und 9). Besonders auffällig aber war, daß in nahezu allen Profilen mit einem höheren Tongehalt im Unterboden dort auch das Schluff: Feinsand-Verhältnis höher war (siehe Figur). Das

⁺⁾ Institut für Bodenkunde der Landwirtschaftlichen Hochschule
Hohenheim

kann verschiedener Ursachen haben, auf die das eigene Untersuchungsmaterial (23 Profile) mit Hilfe der bereits genannten Kriterien geprüft wurde.

1. Es kann sich um eine primäre Schichtung des Sediments handeln. Unwahrscheinlich ist jedoch, daß eine solche tonig-schluffige Schicht zufällig immer reliefparallel in einer bestimmten Tiefe ansteht. Meist sind auch die Profile innerhalb des C weit homogener als innerhalb des Solums.
2. (Fein-)Schluff und Ton können gemeinsam umgelagert worden sein. Ein solcher von der deutlich körnungsselektiven Lessivierung abweichender Prozeß könnte bei starker Schrumpfung ablaufen. Tatsächlich weist der Wasserhaushalt von Pelosolen offenbar gewisse Ähnlichkeiten mit demjenigen von Vertisolen auf (z.B. bei Starkregen nach Austrocknung starker Wasserstrom in Rissen und Befeuchtung von unten und seitwärts). Auch sind nicht selten andere Vertisol-Merkmale zu beobachten (z.B. slickensides, parallele peds). Eine so beträchtlich leitbahnggebundene Ton + Schluff-Anreicherung müßte aber makro- und mikroskopisch besser zu erkennen sein als es der Fall ist und dürfte nicht zur Feintonselektion führen (was oft der Fall ist).
3. Schluff kann im Oberboden verwittert sein. Er besteht aber einerseits im wesentlichen aus stabileren Mineralen (Quarz, Kaolinit) und andererseits aus Glimmern, die den Tongehalt am Verwitterungsort erhöhen müßten, während das Tonmaximum im Unterboden liegt. Gegen die Annahme, auch der Ton könne im Oberboden verwittert sein, sprechen die bisher bekannten Tonmineralbilanzen von Böden gleichen oder stärkeren Verwitterungsgrades sowie die geringe Selektion zugunsten stabilerer. Auch für eine Tonbildung im Unterboden aus gelösten Silikatverwitterungs-Produkten des Oberbodens gibt es kaum Anhaltspunkte (z.B. kein deutliches Überwiegen eines bestimmten Tonminerals im Feinton des Unterbodens).
4. Schluff und Ton können gemeinsam aus dem Oberboden erodiert worden sein, zümal sich diese Böden meist in hängiger Lage befinden. Es besteht aber einerseits kaum eine Beziehung zwischen Oberbodenvergrößerung und Relief und andererseits reicht diese oft bis in größere Tiefe (50 cm und mehr) und zeigt das Grobkornmaximum nicht immer im obersten Horizont.

5. Sand kann auf den Oberboden sedimentiert, das Material mithin geschichtet worden sein. Das ist angesichts der Löss-Verbreitung im Luv des eigenen Untersuchungsgebietes und in diesem selbst vorstellbar. Erstaunlich wäre aber die reliefunabhängige Erhaltung einer gleichmäßigen Deckschicht, da kaum anzunehmen ist, daß die Landoberfläche seit einer solchen Sedimentation stabil blieb. Das Fehlen schärferer Schichtgrenzen sowie die gleitende Kornvergrößerung vom tonreichen Unterboden zum Oberboden (s. 4). sprechen ebenfalls nicht dafür.

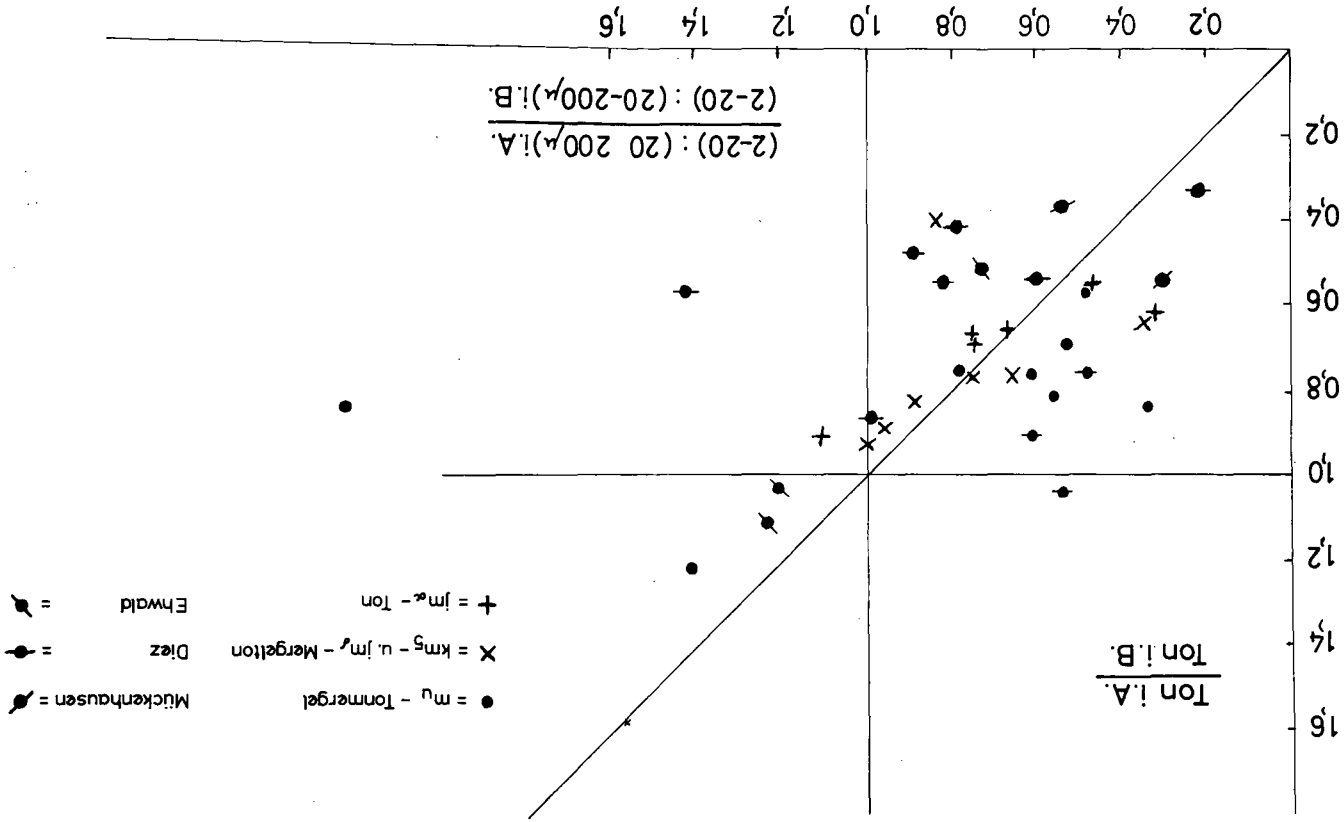
6. Sand kann aus dem Unter- in den Oberboden transportiert worden sein. Das wäre vorstellbar unter Periglazialbedingungen (Kryoturbation) und bei starker Wechselfeuchte durch Quellungsdruck, wie es bei Gilgais vermutet wird. In ersterem Falle müßte eine seit dem Pleistozän erhaltene Landoberfläche angenommen werden (s.5), was unwahrscheinlich ist, für letztere ist die zu postulierende Abfolge von Sand-, Schluff- und Tonmaximum vom Ober- zum Unterboden nicht regelmäßig genug ausgeprägt. Wir planen weitere Untersuchungen. - Theoretisch möglich; aber sehr unwahrscheinlich ist die Bildung von bei obiger Vorbehandlung stabilem Pseudo-Sand im Oberboden aus Ton und Schluff.

7. Es kann sich um eine Kombination aus verschiedenen der genannten Ursachen handeln. Dann wandelt sich die Frage nach der allgemeinen Ursache des zu beobachtenden Zusammenhanges zu derjenigen nach den speziellen Ursachen im Einzelfalle und wird noch schwieriger, da das Vergleichsmaterial eingeschränkt wird.

Sicher ist in einigen Pelosolen eine Tonverlagerung abgelaufen (belegt durch Körnungs- und Gefügeanalyse). Es ist auch vorstellbar, daß sie durch eine Kombination mit anderen Prozessen gefördert wird (z.B. durch Verwitterungsschichtpakettrennung - Bildung leichter transportabler Tonsubstanz, durch Überdeckung mit groberem Material gleichmäßigere Durchfeuchtung und mithin bessere Dispergierung und Verfeuchtung des Tones, durch unvollkommene Quellung geschrumpfter feinerkörniger Schichten im Unterboden Erhaltung von Leitbahnen bei Befeuchtung). Beobachtungen und Messungen zeigen aber, daß das verbreitet auftretende Tonmaximum im Unterboden nicht immer und nicht nur auf Lessivierung zurückzuführen ist. Die Ausprägung von Tonbelägen entspricht selten dem hohen Tongehaltsunterschied zwischen Ober- und Unterboden; dieser darf also nicht als quantitatives Merkmal für die Intensität der Tonverlagerung genommen werden. Außerdem fällt der B_t nicht immer mit dem Tonmaximum zusammen.

Die Sicherung der aus dem Horizontvergleich abgeleiteten Aussagen durch einen Profilvergleich in einer Entwicklungsserie (im Sinne einer Chronosequenz) ist aus verschiedenen Gründen schwierig. Allgemein läßt sich nur feststellen, daß ein Tonmaximum im Oberboden nur bei kalkhaltigen Profilen auftritt.

Die Ausführungen sollen zur Diskussion und Beobachtung anregen. Die eigenen Untersuchungen gestatten noch kein abschließendes Urteil (werden fortgesetzt und zu gegebener Zeit in der Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde veröffentlicht). Wir meinen aber, daß die Stellung des von der Kommission für Bodensystematik der DGB vorgeschlagenen Subtyps "Durchschlämmter Pelosol" unsicher ist.





Lessivierung in Abhängigkeit vom Kleinklima

von S. Müller ⁺⁾

Das Thema : 'Tonverlagerung im Boden' ist in SW-Deutschland fast überall aktuell, da in diesem Raum die meisten Böden aus kalkreichen Substraten entstanden, in denen erfahrungsgemäß die Voraussetzungen für die Lessivierung am ehesten gegeben sind. Gebietsweise fehlen deshalb in Baden-Württemberg eigentliche Braunerden fast völlig.

Im Zuge der forstlichen Standortkartierung von Baden-Württemberg stellte sich dabei heraus, daß regional klimatische Faktoren bei der Tonverlagerung mitwirken; z.B. sind die Parabraunerden aus jüngerm Löß um so schärfer horizontiert, je wärmer das regionale Klima ist. Außerdem sind in warmen Gebieten die Kolloide oft als dunkler, örtlich auch als rötlicher Saum an der Grenze zum C-Horizont angereichert. Ein derartiger "Kolloidstau" kennzeichnet viele Parabraunerden aus jüngstem Würmlöß im Weinbaugebiet des Neckarlandes.

Leider gibt es keine kühl-feucht getönten Klimabezirke, wo mächtige Decken aus jüngerm Löß vorkommen, die man zum Vergleich heranziehen könnte. Wir können aber feststellen, daß in den vermutlich primär schon kalkarmen Lößlehmschleiern, die stellenweise auf dem Buntsandstein am Ostrand des Nordschwarzwaldes in 6 - 700 m Höhe liegen, die Horizontierung der Bodenprofile verschwimmt. Hier findet man Übergangsformen zwischen Parabraunerden und Braunerden; örtlich haben sich auf diesem Substrat auch saure Braunerden von lockerer Struktur ausgebildet. Ein solcher Vergleich hinkt aber wegen des doch etwas verschiedenen Substrats.

Hingegen kann man innerhalb der petrographisch sehr einheitlichen Gesschiebemergel des würmeiszeitlichen Rheingletschers bessere Vergleiche

⁺⁾ Stuttgart, auf der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Aachen am 9.9. 1965

ziehen. Die Jungmoräne reicht in Baden-Württemberg vom warmen Bodenseebecken (Radolfzell, 411 m über NN, 754 mm, 9°C) bis zum kühl-feuchten Westallgäuer Hügelland (Isny 721 m über NN, 1654 mm, 7°C). J. Werner hat in seinen "Grundzügen einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlandes" sehr schön die Gegensätze zwischen stark durchschlämmten Parabraunerden mit rötlichen B_t - Horizonten im trocken-warmen Hegau und den geringer durchschlämmten im niederschlagsreichen, kühleren Westallgäu herausgearbeitet.

Auch die Tonverlagerung in den wenigen kalkfreien Substraten, die zur Lessivierung neigen, wie z.B. bei dem an leicht löslicher SiO₂ reichen Opalinuston, gehorcht ähnlichen Regeln. Man kann beispielsweise die Böden aus Opalinuston in der relativ trocken-kühlen 700 - 900 m hoch gelegenen Schichtstufenlandschaft der Baar mit den vorherrschenden Böden in wärmeren Teilen des südwestdeutschen Schichtstufenlands etwa im mittleren Altvorland des Stuttgarter Raumes vergleichen. Dabei findet man in der Baar die Lessivierung schwächer und die Horizontierung verschwommener als im wärmeren Stuttgarter Raum. Als Ursache für diese regionalen Verschiedenheiten im Lessivierungsgrad vermuten wir die Wärmetönung des Klimas. Aber bislang erschien es aussichtslos, den vielfältigen Ursachenkomplex zu entwirren und einzelne Faktoren zu isolieren.

Neuere Kartierungsergebnisse im Bodenseeraum bringen aber Hinweise auf expositionsbedingte Unterschiede der Bodenentwicklung, die vielleicht weiterführen. Auf dem Bodanrück in der warmen unteren Stufe der Bodenseeeumrandung (Jahresdurchschnittstemperatur 8 - 9°C, Niederschlagsmittel ca 800 mm) gibt es zahlreiche Drumlins aus würmeiszeitlicher Moräne. In den Drumlins ist die Moräne reich an Kies (ca. 60 - 80 % des Volumens) und relativ locker gelagert. Die petrographische Zusammensetzung des Kiesanteils ergibt sich aus Schotteranalysen (vgl. J. Werner 1964, S. 46) mit 60 - 70 % alpinen Karbonatgesteinen (in erster Linie Kieselkalke, Kalksandsteine und Marmore). Den Rest bildet alpines Kristallin, in dem Quarzite mit Graniten, Gneisen und Amphiboliten überwiegen. In den feineren Fraktionen zwischen 20 und 0,6 mm schwankt der Kalkgehalt zwischen 20 und 50 % (vgl. J. Werner 1964, Abb.17); d.h. der Anteil an Quarz und Silikaten ist in der Grundsubstanz der Moräne wesentlich höher als im Kies.

Auf diesem Substrat findet man die folgende Boden-Entwicklungsreihe: Pararendzina → Parabraunerde geringer Entwicklungstiefe → Parabraunerde großer Entwicklungstiefe. Die Weiterentwicklung zum Parabraunerde-Pseudogley und zum sekundären Pseudogley ist um so seltener, je stärker das Substrat durch Kies- und Schotteranteile drainiert ist.

Bei der Kartierung der Drumlins des Forstbezirks Konstanz durch Forstrat R. Bosch stellte sich im Jahre 1964 die erstaunliche Regel heraus, daß die schattseitigen nach NO exponierten Drumlinhänge i.a. die nicht oder kaum lessivierten Anfangsstadien der oben genannten Entwicklungsreihe aufweisen, d.h. also Rendsinen und Rendsinabraunerden, während ihre sonnseitigen, nach SW geneigten Hänge stark durchschlammte Parabraunerden tragen, mit wesentlich größerer Entkalkungstiefe, die gegen den Hangfuß noch zunimmt (vgl. Abb.1). Dies ist zwar keine absolute Gesetzmäßigkeit, aber eine Regel, die für rund 70 % der Drumlins im Kartiergebiet gilt. Parabraunerden gibt es vereinzelt auch auf den Schatthängen, besonders an Stellen wo diese verflachen. Ebenso findet man auch auf Sonnhängen Rendsinen, wenn infolge starker örtlicher Erosion durch Entwaldung und landwirtschaftliche Nutzung die Bodenentwicklung zurückgeworfen wurde. Wo aber unter altem Wald an dem nahezu symmetrisch gebauten Drumlinquerschnitt die nacheiszeitliche Bodenbildung nur durch die Exposition unterschieden ist, findet man die genannte Asymmetrie der Bodenentwicklung.

Es handelt sich im Kartiergebiet um submontane präalpine Buchenwälder. Durch die Forstwirtschaft wurden stellenweise Lärchen und Kiefern, seltener auch Fichten eingebracht. Das heutige Waldbild ist überall in ähnlicher Weise von ehemaliger Waldweide beeinflusst. Dabei verlichteten manche Stellen auf den windexponierten und besonnten Südwestseiten und es kam zur Verhagerung und zur Entwicklung einer azidiphilen Bodenvegetation mit sauren Humusformen, ganz im Gegensatz zur Nordostflanke. Am sonnseitigen Hang finden sich daher säurezeigende Bodenpflanzen wie *Luzula nemorosa*, *Polytrichum formosum* und selten auch *Calluna vulgaris*.

So weit der reine Geländebefund.

Wenn man die Ursachen sucht, die zu dieser eigenartigen Gruppierung der Bodentypen führten, so muß man sich darüber klar sein, daß sehr komplexe Vorgänge vorliegen und das Isolieren einzelner Faktoren nicht einfach ist. Die schwierigste Frage ist, ob nicht auf den Schatthängen ein vom Menschen ausgelöster Erosionsprozeß eine eventuelle ältere Bodenbildung ausgelöscht hat. Hierzu fehlen noch eingehende historische und mikromorphologische Untersuchungen. Dieser Bericht ist deshalb eine vorläufige Mitteilung.

Eine auf die Schatthänge beschränkte Bodenerosion erscheint aber unwahrscheinlich, da bei den heute landwirtschaftlich genutzten Drumlins vor allem die dem Regen ausgesetzten Südwesthänge erodiert sind und Rendsinen tragen.

Die Regelmäßigkeit der asymmetrischen Bodenentwicklung unter altem Wald erlaubt also bis zum Beweis des Gegenteils die Annahme einer ungestörten Entwicklung.

Man kann daher festhalten, daß auf dem sehr leicht zur Lessivierung neigenden kiesigen Substrat der Jungmoräne an den schattseitigen und damit kühleren und feuchteren Drumlinhängen mit ihrem gleichmäßigen Kleinklima die Entkalkung und die Tondurchschlämmung stark gehemmt sind. Beide Prozesse wirken hingegen auf den im Weinbauklima der tieferen Bodenseenumrandung zeitweilig sehr warmen, zwischen Austrocknung und Durchfeuchtung oft wechselnden Südwest-Expositionen auffällig stark;

Dabei stellt sich die Frage, ob die vermutlich recht geringen kleinklimatischen Unterschiede, wie sie sich heute unter Wald präsentieren, eine direkt entscheidende Rolle spielen, oder ob nicht die kleinklimatischen Unterschiede mehr indirekt über die Bodenvegetation und die Humusformen wirken. Auch mag das Kleinklima zur Zeit des Spätglazials und beim Beginn der Bewaldung schon eine sehr frühe Differenzierung in der Vegetations- und Bodenentwicklung gebracht haben, wenn Firnflecke und vegetationsfreie Fließerden am Schatthang einem geschlossenen Pflanzenkleid am Sonnenhang gegenüber standen. Jedenfalls dürfte die verschiedene Vegetationsentwicklung den großen Unter-

schied in den Humusformen gebracht haben, der entscheidend ist für das Verständnis des heutigen Bodenprofils.

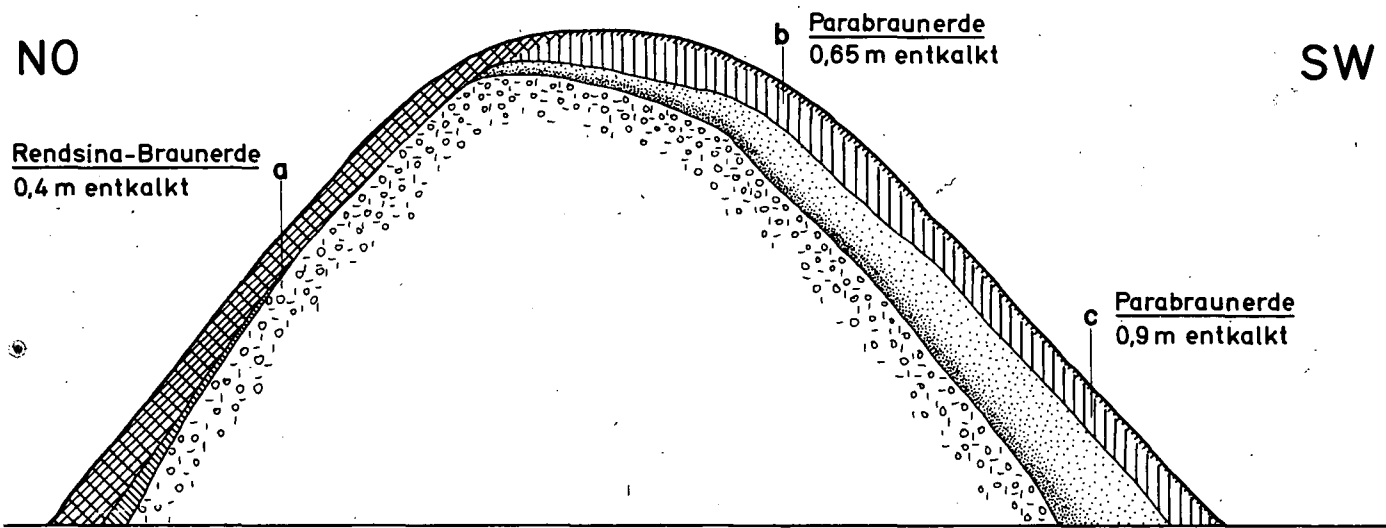
Aber auch Gesteinseigenschaften könnten die Entwicklungs-Asymmetrie des Bodens begünstigt haben. Der sich rasch erwärmende und gut wärmeleitende Kiesanteil in der locker gelagerten Moräne dürfte die kleinklimatischen Differenzen der Exposition durch sein eigenes "Bodenklima" verstärken. Auch nach der Entkalkung kann der relativ hohe Anteil silikatischer Gesteine, die im Oberboden verbleiben, sowohl Wärmeleitung wie Wärmespeicherung in diesen Böden höher halten als z.B. in einem steinfreien Lößlehm. So stellt sich auch die Frage nach dem direkten Wärmeeinfluß, den man in der Wärmeabhängigkeit aller ionendispersen Lösungsvorgänge, insbesondere aber in einer verstärkten Mobilisierung der Kieselsäure vermuten möchte, was die verstärkte und raschere Lessivierung auf den sonnseitigen Hängen erklären würde.

Diese Fragen bleiben vorläufig noch offen. Es ist aber zu hoffen, daß geplante bodenklimatische Messungen, die im Rahmen eines Forschungsauftrages von einem Meteorologen an einigen dieser Drumlins durchgeführt werden sollten, Hinweise auf das wirkliche Ausmaß der kleinklimatischen Unterschiede bringen. Vielleicht kommen mit solchen Untersuchungen dann auch die klimatischen Schwellenwerte zutage, an denen in diesem Substrat eine erhöhte Tonwanderung in vollem Umfang einsetzt.

Literatur:

- Müller, S.: Thermische Sprungschichtenbildung als differenzierende Faktor im Bodenprofil. Zschr. Pflanzenernährg., Düngung, Bodenk. 109. Bd. H₁. S. 26-34 Weinheim 1965
- Werner, J.: Grundzüge einer regionalen Bodenkunde des südwestdeutschen Alpenvorlands. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden Württemberg Bd. 17 Stuttgart 1964

Schematischer Querschnitt durch den Drumlinhügel "Schönenberg" (Gemeindewald Reichenau, Kreis Konstanz)



Ton						Mull	Org. Subst.	C/N	Ton					
0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅					0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	
15,3	7,4	745	8	6,1		1,6	12,3	5,6	4,5	120	4,8	5,6		
13	7,6	4880	15	4,1		12,2	4,5	105	2,7	1,6				
16,7	7,9	10000	24,8	2,0		22,2	6,8	1050	12	1,6				

Ton						Moder. Subst.	C/N	Ton					
0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅				0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	
4,5	21,4	5,6	4,4	69	3,9	6,7		5,6	4,4	69	3,9	6,7	
11,5	4,3	21	2,1	0,8	18,9	4,2		37	3,4	0,3			
18,9	4,2	37	3,4	0,3	25,7	4,3		260	9,4	0,8			
25,7	4,3	260	9,4	0,8									

Ton						Moder. Subst.	C/N	Ton					
0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅				0,002	pH	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	
4,8	19,2	5,6	4,4	69	3,9	6,7		5,6	4,4	69	3,9	6,7	
11,5	4,3	21	2,1	0,8	18,9	4,2		37	3,4	0,3			
18,9	4,2	37	3,4	0,3	25,7	4,3		260	9,4	0,8			
25,7	4,3	260	9,4	0,8									

* Für Laboratoriumsuntersuchungen danke ich Herrn Dr. Häsel, Geolog. Landesamt, Freibg. 1-21.

Die Parabraunerde unter Ackerkultur

H. E. Stremme ⁺⁾

Die Parabraunerden stehen in Deutschland weitgehend unter Ackerkultur. Die Ausprägung der typischen Horizontfolge ihrer Profile erfolgte jedoch hauptsächlich in einer vorhergegangenen Zeit der Bewaldung. Veränderungen der Parabraunerden (braunen Waldböden, Braunerden) durch die Ackerkultur wurden schon in früheren Jahren (8) und neuerdings u.a. von H.-J. Altemüller (1) beobachtet,

Das Erkennen solcher Änderungen entscheidet über die richtige Ansprache und genetische Deutung der Profile und über die landwirtschaftliche Beurteilung der Standorte. Die Bedingungen (z.B. pH-Werte) der Lessivierung und die bodenbildenden Prozesse, die heute in den Ackerböden vor sich gehen, lassen sich nur danach erfassen. Die wenigen Kenntnisse darüber sollen um einige Untersuchungsergebnisse erweitert werden.

Mit einer Gegenüberstellung von Profilen unter Wald einerseits und unter Acker andererseits werde ich zunächst die morphologisch an den Bodenprofilen erkennbaren und dann einige analytisch nachweisbare Veränderungen der Parabraunerde aufzeigen. Das Gebiet, von dem ich berichte, ist die Jungmoränenlandschaft Schleswig-Holsteins.

Die Horizontmorphologie der Parabraunerde

Die Horizontbildung der Parabraunerden unter Wald weist mit geringmächtigen Ah-Horizonten (5 - 15 cm) über den Al- und Bt-Horizonten auf dem jungeszeitlichen Geschiebemergel des norddeutschen Raumes weitgehend gleiche Züge auf, wie eigene und fremde Beobachtungen im Raume Schleswig-Holstein (2, 4 und 7) und im Gebiet um Berlin zeigen. Es handelt sich dabei um grundsätzliche Merkmale der Parabraunerde, worauf auch Vergleiche mit Profilen aus Löß in Hessen schließen lassen.

⁺⁾ Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel

Als Beispiel der Parabraunerde unter Wald sei ein Profil aus der Nähe von Kiel gebracht.

Profil 1, Boksee (südl. Kiel)

Büchenaltholz mit einzelnen Eichen und Lärchen.

Oberhang (40 m NN) einer Endmoräne mit Geschiebemergel der Weichselvereisung.

O	0,5 cm	Laubstreu, gut zersetzend
Ah	0 - 5	cm Sand, lehmig, dunkelgrau, humos, einzelne Bleichkörner
Al ₁	5 - 35	cm Sand, lehmig, gelbbraun, plattig, locker
SAl ₂	35 - 45	cm Sand, stark lehmig, grau bis gelbbraun, fleckig, plattig
Bt ₁	45 - 75	cm Lehm, sandig, rostbraun, polyedrisch, Nadelstichporen
Bt ₂	tiefer als 75 cm	Lehm, sandig, grobpolyedrisch, fester als Bt ₁ , z.T. etwas fleckig

Der Ah-Horizont dieses Profiles besitzt sehr geringe Mächtigkeit mit 5 cm, an anderen Stellen wurden 6 cm (Rehbergholz) oder 12. - 14 cm (Siggen) beobachtet.

Die allgemein bekannte in der Horizontbezeichnung ausgewiesene Veränderung der Parabraunerde unter Ackerkultur ist der vom Pflug gebildete Ap-Horizont, für den als Beispiel ein Profil von Kogel angegeben wird aus dem südöstlichen Landesteil Schleswig-Holsteins.

Profil 2, Gut Kogel (Südöstl. Ratzeburg)

Acker, leichte Anhöhe in welligem Gelände (50 m NN), Endmoräne der Weichselvereisung mit Geschiebemergel.

Ap	0 - 18	cm Sand, lehmig, graubraun, humos, plattig bis polyedrisch
Al	18 - 34	cm Sand, lehmig, gelblichbraun, plattig
Bt	34 - 145	cm Lehm, sandig, mit Linsen von Lehm und tonigem Lehm, gelblichbraun, Kluftüberzüge

braun bis rostbraun, einzelne kleine schwarze und größere braune Rostkonkretionen, schwach polyedrisch, einzelne Wurmgänge

C tiefer als 145 cm Geschiebemergel, sandig, gelblichgrau

Der Ap-Horizont ist durch die Pflugarbeit homogenisiert und scharf gegen den Al-Horizont abgegrenzt. Eine ganz andere Profilmorphologie der oberen Horizonte zeigt das Bodenprofil eines Ackers von Prasdorf aus der Umgebung von Kiel.

Profil 3, Prasdorf (nordöstl. von Kiel)

Acker, fast ebenes Gelände (25 m NN), Moräne der Weichselvereisung mit Geschiebemergel.

Ap	0 - 25 cm	Sand, stark lehmig, dunkelbraungrau, gut humos, polyedrisch
Alh	25 - 35 cm	Sand, stark lehmig, dunkelbraungrau (humos, Ah) und gelbbraun (Al), polyedrisch, Humusmaterial von Würmern eingeschleppt <u>"biologischer Mischhorizont"</u>
Bt	35 bis über 70 cm	Lehm, sandig, rostbraun, polyedrisch

Der humose Ap-Horizont ist in diesem Profil nach unten nicht scharf abgegrenzt. Darunter folgt ein weiterer humoser Horizont Alh. Bei näherer Beobachtung läßt er erkennen, daß der Humus hauptsächlich durch die Regenwürmer eingeschleppt ist. Die Würmer haben Material vom oberen humosen Horizont nach unten gebracht, sie haben einen Mischhorizont entstehen lassen, den ich als "biologischen Mischhorizont" bezeichne. Im oberen Teil ist er nahezu einheitlich von Humus dunkel gefärbt. In diesem Horizont von 10 cm Mächtigkeit sind oben reichliche Mengen humosen Materials vorhanden, die nach unten allmählich abnehmen. Der biologische Mischhorizont tritt als besonderes Merkmal von Parabraunerden sowie anderen Bodentypen in Gebieten alter Ackerkultur auf. Die Bildung war früher einmal als "steppenbodenartige Ver-

änderung" bezeichnet worden (8). In der Bodenkarte des Deutschen Reiches (8) war sie an einigen Stellen bereits zur Darstellung gelangt.

Der biologische Mischhorizont

Über die Ausbildung und das Auftreten des biologischen Mischhorizontes gibt eine Untersuchung an über 200 Profilen eines Kartiergebietes in Ostholstein (Heiligenhafen) einen guten Überblick.

Der Horizont war so charakteristisch ausgebildet, daß er bei den Profilbeschreibungen für die Bodenkartierung erfaßt werden konnte. Er zeigte sich als Mischhorizont von Material des Ah- und des Al- oder des Bt-Horizontes. Meist zeichnete sich deutlich die Abnahme des humosen Materials nach unten ab. Gelegentlich wurde jedoch ein mächtiger humoser Horizont von 30 cm und über 30 cm Stärke aufgenommen, ohne daß ein besonderer Mischhorizont festgestellt worden wäre.

Da bei der Kartierung nicht die Absicht bestand, eine eigene Untersuchung über den Mischhorizont anzuknüpfen, ist zu vermuten, daß bei den meisten Profilen mit über 30 cm mächtigem Ah, für die kein eigener Mischhorizont festgestellt wurde, die große Mächtigkeit durch den gleichen Vorgang starker Aktivität der Bodenfauna hervorgerufen wurde.

Die durchschnittliche Mächtigkeit des Mischhorizontes liegt bei 10 cm, geringe um 5 cm, große um 15 cm. Im Mittel wurde dieser Horizont bei der Parabraunerde von 27 bis 37 cm Tiefe, bei der Pseudogley-Parabraunerde von 29 bis 38 cm Tiefe beobachtet.

Über die Häufigkeit des Auftretens des Mischhorizontes (getrennt für die Parabraunerde und die Pseudogley-Parabraunerde) gibt die nachstehende Tabelle 1 Aufschluß.

Tabelle 1 Häufigkeit von Mischhorizonten bei Heiligenhafen

	Parabraunerde	Pseudogley- Parabraunerde
Profile mit Misch- horizont (in %)	42	61
Mischhorizont und Ah >30 cm(in %)	60	78
Ausbildung im B Horizont (in %)	60	87

Danach war bei 42 % aller aufgenommenen Profile der Parabraunerde ein biologischer Mischhorizont festgestellt. In einem hohen Anteil von Profilen unter Ackerkultur ist somit die Tätigkeit der Bodenfauna deutlich ausgeprägt. Rechnet man die Profile ohne Mischhorizonte jedoch mit größerer Ah-Mächtigkeit als 30 cm hinzu, dann kann man bei 60 % aller Profile der Parabraunerde des Kartiergebietes eine Vertiefung der humosen Horizonte unter Ackerkultur über die Pflugtiefe hinaus feststellen. Bei der Pseudogley-Parabraunerde ist die Wirksamkeit der Bodenorganismen sogar noch größer. Die entsprechenden Anteile an allen Profilen betragen für den biologischen Mischhorizont 61 %, für den biologischen Mischhorizont und die über 30 cm mächtigen Ah-Horizonte zusammen sogar 78 %.

Die Tabelle enthält außerdem Hinweise darüber, in welchen Horizonten die biologischen Mischhorizonte ausgebildet sind. Angegeben werden die Anteile an Profilen mit einer Ausbildung des Mischhorizontes in Bt-Horizonten, die mit 60 und 87 % der Profile sehr hoch liegen. Bei den übrigen Profilen reichen die Mischhorizonte lediglich in die A1-Horizonte hinein.

Der biologische Mischhorizont besitzt in Gebieten mit alter landwirtschaftlicher Kultur große Verbreitung. Beobachtet habe ich ihn auf Fehmarn (6), in Hessen bei Exkursionen unter Führung von E. Bargon und H. Zakogek, in der Pfalz (5) sowie in der Bretagne anlässlich der Exkursion der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft (1956) unter Führung von

G. Aubert. Profile mit derartigen Horizonten erhielten dort die Kennzeichnung "phase cultivée".

Für die Entstehung dieser Horizonte besitzt besondere Bedeutung die Feld-Graswirtschaft (Hermann Stremme, 9). Entscheidende Kenntnisse über die Zusammenhänge von Humusbildung- und Feldgraswirtschaft verdanken wir andererseits J. Köhnlein (3).

Die Änderung chemischer Werte

Die Feststellung der morphologischen Änderungen der Profile beruht auf sehr vielen statistisch auswertbaren Beobachtungen im Gelände. Analytische Daten liegen zwar für zahlreiche Profile vor, doch reicht deren Zahl keineswegs für statistische Erhebungen aus, es können nur die Tendenzen erkannt und aufgezeigt werden.

Gute Möglichkeiten bieten die Analysenergebnisse für organische Substanz und die Bestimmungen der pH-Werte und der V-Werte. Es werden jeweils mehrere Acker- und Waldbodenprofile in einer Darstellung zusammengebracht, um die Unterschiede von Acker- und Waldbodenprofilen ablesen zu können. Die Auswahl der Profile ist dabei von geringer Bedeutung, da die gleichen Tendenzen immer wiederkehren.

Die folgenden Profile sind mit Abkürzungen dargestellt:

Walddprofile

B	=	Boksee (Kiel)
R	=	Rehbergholz (Angeln)
S	=	Siggen (Heiligenhafen)

Ackerprofile

F	=	Fehmarn
H	=	Heiligenhafen
Ka	=	Kaköhl (Ostholstein)
Ko	=	Kogel (Ratzeburg)

Die Profile B, R, F, H und Ko wurden im Laboratorium des Geologischen Landesamtes Schleswig-Holstein analysiert, die analytischen

Daten der Profile S und Ka sind von H.P. Blume und E. Schlichting (2 und 4) veröffentlicht.

In der Abbildung 1 sind die Gehalte an organischer Substanz wiedergegeben bis zu 50 cm Tiefe. In den oberen Horizonten fallen hohe Gehalte bei den Waldbodenprofilen Boksee, Siggen und Rehbergholz zwischen 3,6 und 4,8 % auf. Die Profile unter Acker weisen dagegen nur 1,6 - 2,7 % organische Substanz auf. Der Ah-Horizont unter Wald mit hohem Humusgehalt ist allerdings meist nur sehr wenig mächtig, in den Beispielen einmal 5, einmal 6 und dann 14 cm. Die geringe Mächtigkeit ist allgemein unter Wald zu beobachten sowohl in Schleswig-Holstein als auch bei Berlin und auf Löß in Hessen.

Die Ap-Horizonte (= Ah) der Profile unter Acker sind mächtiger. In 15 oder 25 cm Tiefe besitzen die Parabraunerden darum unter Acker im allgemeinen höhere Gehalte an organischer Substanz.

Diese Beziehungen sind aus der Abb. 1 gut zu ersehen. Durch Punktierung werden die höheren Humusgehalte der Waldbodenprofile angedeutet, durch Kreis-Signatur die der Ackerbodenprofile. - Durch das Pflügen werden die hohen Humusgehalte der flachen humosen Waldbodenhorizonte wegen der Aufteilung auf einen mächtigeren humosen Horizont vermindert. Weitere Aussagen zu einer Humusbildung müssen besonderen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Sehr eindrucksvoll ist die Gegenüberstellung der pH-Werte (Abb. 2). Eine klare Trennung der oberen Horizonte der Waldbodenprofile (oberhalb 40 cm) von denen der Ackerbodenprofile ist gegeben mit pH-Werten der Waldbodenprofile zwischen 3,3 und 4,4 und der Ackerbodenprofile zwischen 6,1 und 7,3. In der Darstellung ist bei den Ackerprofilen deutlich erkennbar, daß die Unterböden saurer sind als die Oberböden, was unschwer auf die Wirkung der Kalkdüngung schließen läßt. Am besten sichtbar ist das beim Profil Kogel mit einem pH von 5,3 in 100 cm Tiefe und 7,4 in 10 cm Tiefe. Als Folgerung ergibt sich, daß die pH-Werte der Ackerböden von der Ackerkultur bestimmt sind, was bei bodengenesischen Fragen zu berücksichtigen ist.

Die V-Werte der Abbildung 3 zeigen geringe Basensättigung der Waldbodenprofile (V = 4 - 35) gegenüber den Ackerprofilen (V = 60 - 96). Der

Kultureinfluß als Ursache dieser Unterschiede ist wiederum im Profil Kogel am deutlichsten sichtbar.

Zusammenfassung

Die Gegenüberstellung von Wald- und Ackerbodenprofilen aus jungpleistozänen Geschiebemergel zeigt als morphologisch erkennbare Veränderung durch die Ackerkultur im Bodenprofil den allgemein verbreiteten Ap-Horizont und darunter in vielen Fällen einen biologischen Mischhorizont, der bei hoher biologischer Aktivität hauptsächlich von den Regenwürmern gebildet wird.

Eine statistische Untersuchung in Ostholstein ergab für den biologischen Mischhorizont eine Mächtigkeit von 10 cm. Die Häufigkeit des Auftretens von Mischhorizonten lag bei 42 % (bis zu 60 %). Bei der Klassifizierung der Parabraunerde sollten diese Horizonte berücksichtigt werden in der Subvarietät als "kultiviert" (entsprechend der in Frankreich verwendeten phase cultivée). Biologische Mischhorizonte sind nicht auf Parabraunerden beschränkt. In Feuchtböden können sie häufiger auftreten.

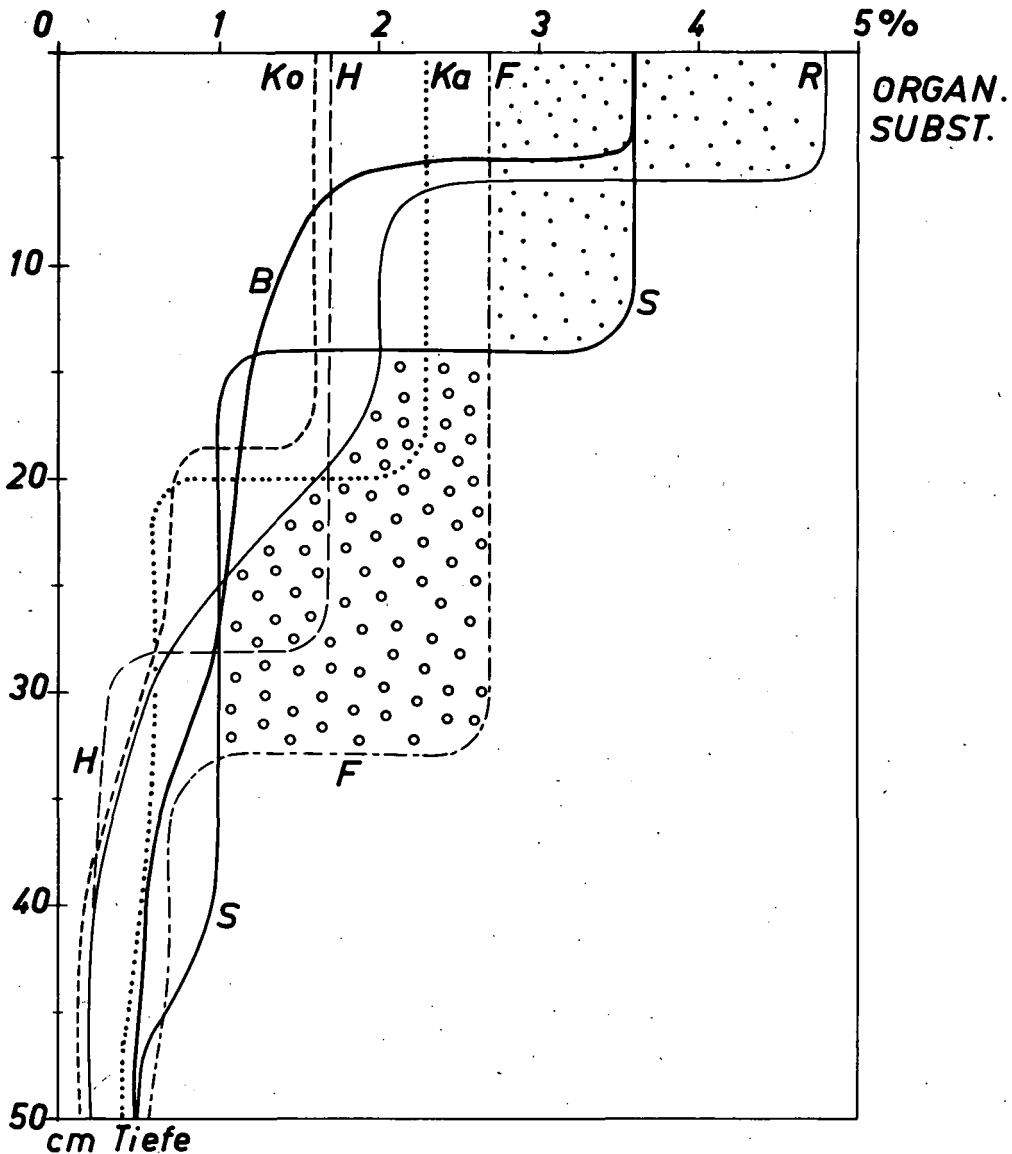
Der in den Waldböden auf einen flachen Ah-Horizont beschränkte hohe Gehalt an organischer Substanz wird durch die Ackerkultur auf einen mächtigeren Horizont verteilt.

Die Ackerkultur sorgt für eine wesentliche Änderung des Chemismus der Parabraunerde. Stark saure Reaktion unter Wald wird in schwach saure bis schwach basische Reaktion umgewandelt, geringe Basensättigung in mittlere bis hohe.

Literatur

1. Altemüller, H.-J.: Bodentypen aus Löß im Raume Braunschweig und ihre Veränderungen unter dem Einfluß des Ackerbaus. - Diss. Bonn (1957)

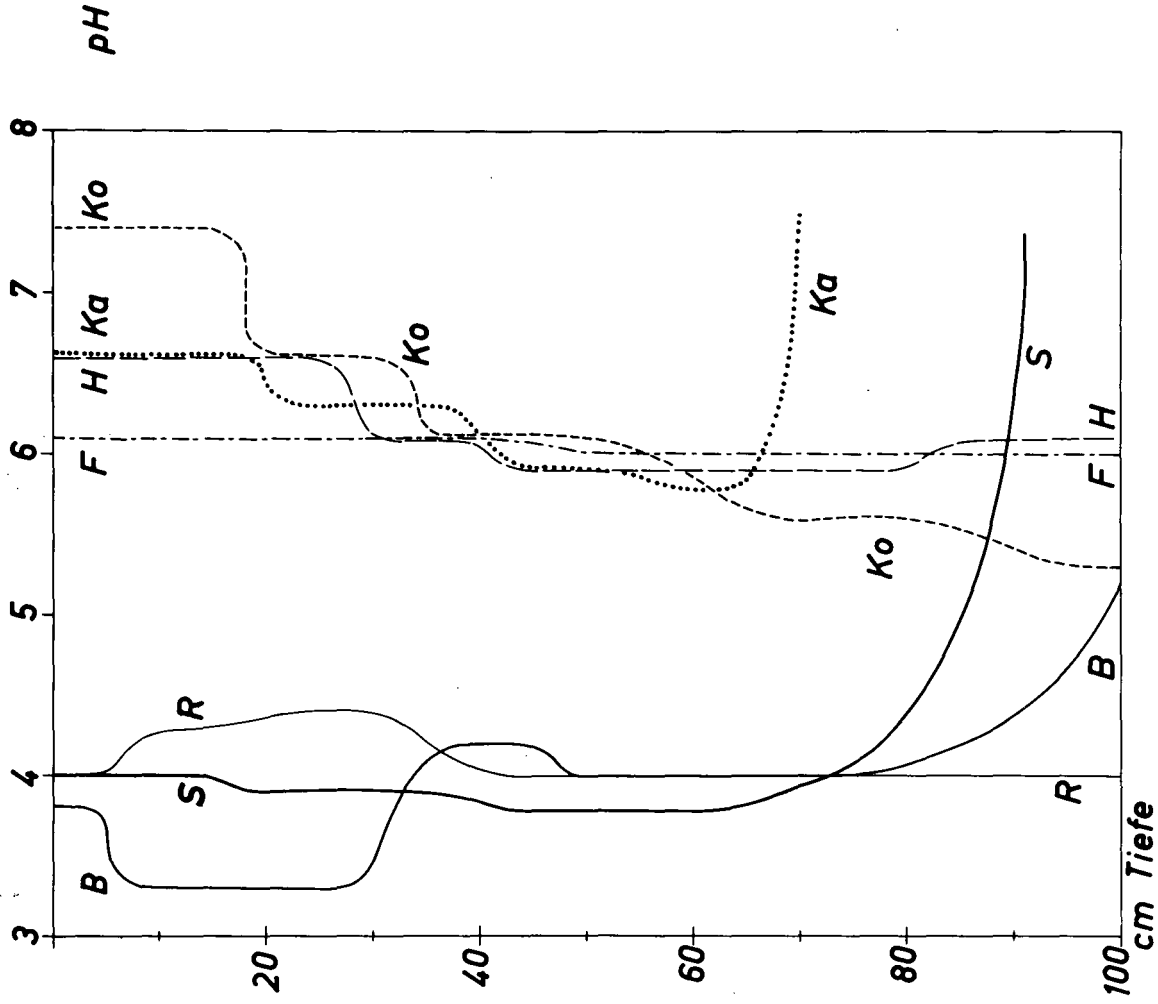
2. Blume, H.P.: Die Tonverlagerung als profilprägender Prozeß in Böden aus jungpleistozänem Geschiebemergel. - Diss. Kiel (1961)
3. Köhnlein, J.: Über die Beziehungen zwischen Ertragsbildung, Bodenfruchtbarkeit und Humus usw. - Schriftenreihe Landw. Fak. Univ. Kiel, H. 37, S. 5 - 40, Parey, Hamburg und Berlin (1964)
4. Schlichting, E.: Typische Böden Schleswig-Holsteins. - Schriftenreihe Landw. Fak. Univ. Kiel, H. 26, 140 S., Parey, Hamburg und Berlin (1960)
5. Stremme, H.- E.: Zum Vorkommen brauner Steppenböden im Oberrheingebiet. - Z. Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkunde 60, (105), S. 273 bis 278 (1953)
6. " Erläuterungen zur Bodenkarte von Schleswig-Holstein, Insel Fehmarn 1 : 50 000. - Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel (1958)
7. " Merkmale der Bodenbildung auf dem jungpleistozänen Geschiebemergel in Schleswig-Holstein. - Z. Pflanzenernähr., Düngung, Bodenkunde 88, (134), S. 148 - 155 (1960)
8. Stremme, Hermann: Die Böden des Deutschen Reiches. - Petermanns Mitt., Erg.-Heft 226, J. Perthes, Gotha (1936)
9. " Die Böden der Deutschen Demokratischen Republik. - 176 S., Deutsch. Zentr.-Verl., Berlin (1949)



Parabraunerde in Schleswig-Holstein

Wald	Acker
· · · mehr org. Subst.	○ ○ mehr org. Subst.

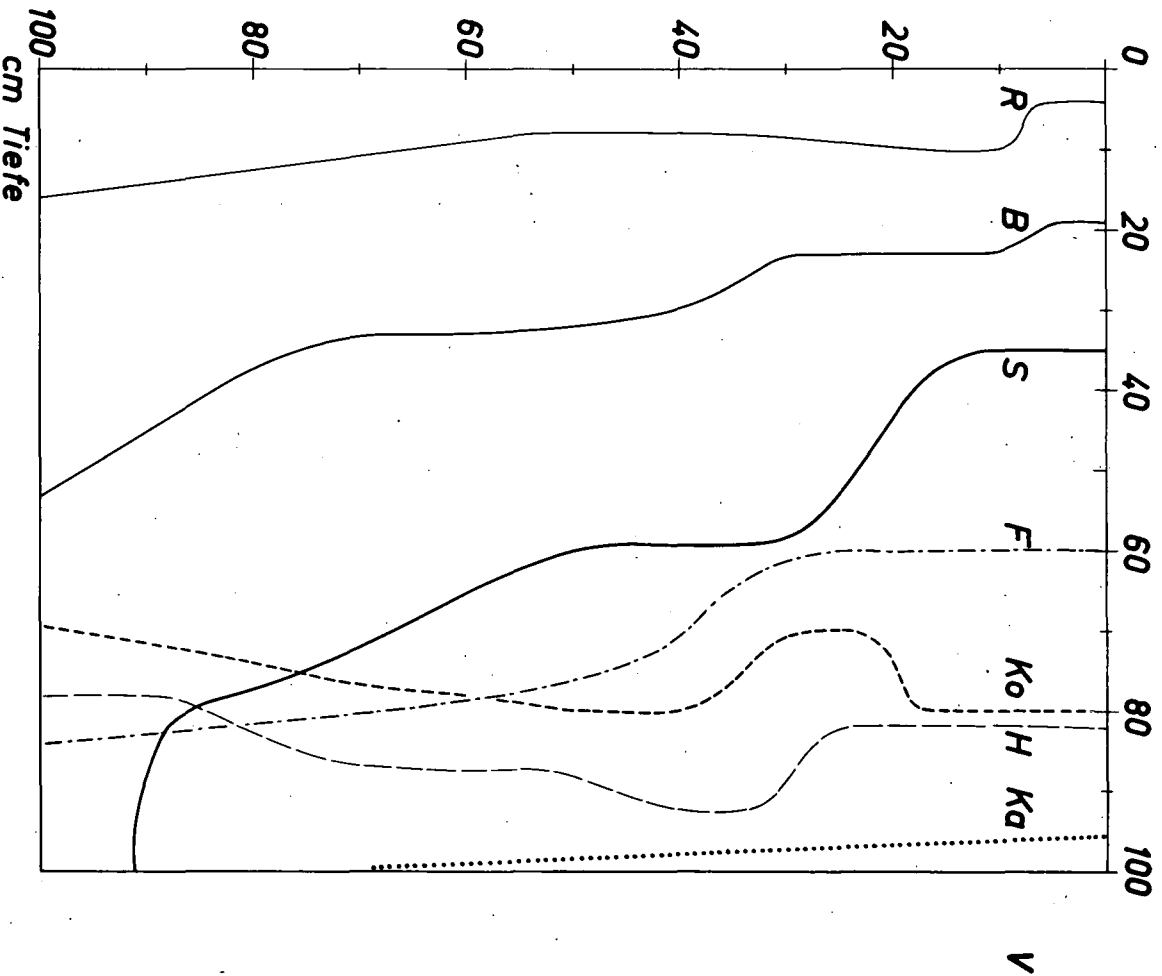
Abb. 1 Organ. Substanz



Parabraunerde in Schleswig-Holstein

Wald Acker

Abb 2 pH - Werte



Parabraunerde in Schleswig-Holstein

| Wald
 ||| Acker

Abb. 3 V - Werte

Tonverlagerung in einigen südwestafrikanischen Böden von H. Scholz ⁺⁾

Südwestafrika liegt zwischen dem 17. und 29. südlichen Breitengrad an der Westküste des südlichen Afrika. Es hat eine Größe von 825 000 km², das ist etwa die dreifache Größe der Bundesrepublik Deutschland. Seine Niederschläge erhält das Land zum weitausgrößten Teil im Sommer. Lediglich die Südwestecke wird von den Ausläufern der südlichen Winterregen des Kaplandes gestreift. Sie haben für das Land kaum eine Bedeutung. Bis auf die Nordostecke mit Niederschlägen von über 600 mm, erhält der Rest des Landes weniger als 500 mm im Jahresdurchschnitt. Dadurch muß es zu den ariden und semiariden Gebieten gezählt werden.

Die für die Niederschläge notwendigen feuchten Luftmassen werden von den Südost-Passaten vom Indischen Ozean über den Kontinent bis nach SWA getragen, wo sie als Regen niedergehen. Von Westen her erhält das Land so gut wie keine Niederschläge, da an der Westküste Südwestafrikas vom Südpol her der kalte Benguella-Strom entlangzieht. Hierdurch werden die von Westen wehenden Winde über dem Meere stark abgekühlt und können nur eine geringe Menge absoluter Feuchtigkeit aufnehmen. Bei Erwärmung der Luft über dem Lande sinkt die relative Luftfeuchtigkeit stark ab, so daß die vorhandene Feuchtigkeit nur für eine geringe Nebelbildung in Küstennähe ausreicht. Hierin liegt die Erklärung, daß die Niederschläge von Westen mit weniger als 50 mm nach Nordosten hin bis über 600 mm zunehmen (Abb. 1).

Ein etwa 100-150 km breiter Streifen entlang der Westküste mit Niederschlägen unter 100 mm ist die Wüste Namib. Daran schließt sich nach Osten mit Niederschlägen von 100 - 200 mm die Halbwüste an, auf diese folgt, wieder weiter östlich, die Savanne.

Die nun zu behandelnden Böden liegen in dem trockneren Teil der Savanne mit Niederschlägen von 250 - 300 mm, etwa 100 km südwest-

⁺⁾ Institut für Bodenkunde der Universität Bonn, Direktor Prof.
Dr. E. Mückenhausen

lich Windhoeks, der Landeshauptstadt. Die Böden liegen in unterschiedlichen, gut abgegrenzten Landschaftstypen. Der südliche Teil ist eine Peneplain kretazischen und tertiären Alters. Die Peneplain steigt nach Norden zu schwach an und geht in eine kuppige Landschaft über, die sich durch das Einschneiden verschiedener Trockenflüsse aus der Peneplain entwickelt hat (Abb.2).

Auf der Peneplain finden sich heute rote und rotbraune, meist tiefgründige Böden. Bereits aus ihrer Farbe ist zu erkennen, daß es sich um Böden handelt, die unter einem feuchteren tropischen oder subtropischen Klima entstanden sein müssen, das zumindest niederschlagsreicher war als das der Gegenwart. Wahrscheinlich stammen diese roten Bodenbildungen aus den Pluvialen des Pleistozäns, denn während des Tertiärs scheint nach den bisherigen Forschungen das Klima noch wüstenhafter gewesen zu sein, als es jetzt der Fall ist.

Je nach Lage sind die Böden unterschiedlich mächtig. In einer schwach geneigten Lage beträgt ihre Mächtigkeit etwa 40 - 60 cm. In der Ebene, bei sehr geringem Erosionspotential, sind sie meist tiefgründig und erreichen eine Mächtigkeit von mehr als 150 cm. Dort zeigen sie häufig den Einfluß ehemaliger Staunässe, wie aus zahlreichen Eisen- und Mangankonkretionen hervorgeht. Im ausgetrockneten Zustand ist das Graben von Profilgruben solcher Böden sehr mühsam, da das Bodenmaterial sehr dicht und fest zusammengebacken ist. Trotz des heutigen ariden Klimas haben diese Böden eine saure Reaktion mit pH-Werten bis unter 5.

Ein typisches Profil eines solchen Bodens ist das Profil Marienhof (Tab. 1). Bei Betrachtung der Korngrößenverteilung der einzelnen Horizonte ist eine Zunahme der Tonsubstanz von 9% im A-Horizont auf 34,3 % im Sd-Horizont festzustellen. Die kontinuierliche Zunahme von Ton von den oberen zu den unteren Horizonten läßt eine Tonverlagerung bereits vermuten.

Während der regenlosen Zeit trocknet das Bodenmaterial aus, und es bildet sich ein System von Trockenrissen, die senkrecht in die Tiefe hinunterreichen. Wenn die Regenzeit mit den üblichen Gewitterregen einsetzt, findet entlang der Klüfte eine Verschlammung statt, wobei Tonsubstanz von oben nach unten im Profil verlagert wird.

Der im ausgetrockneten Zustand kompakte B-Horizont zeigt bei Durchfeuchtung einen polyedrischen Aufbau. Auf den Polyederflächen sind bereits makroskopisch Tonhäutchen zu erkennen. Im Dünnschliff ist unter dem Mikroskop bei gekreuzten Nicols in der Tonsubstanz eine gute Doppelbrechung zu beobachten. Es hat eine Orientierung der feinsten Tonpartikel stattgefunden. Demnach ist auch eine Tonverlagerung entlang der Polyederflächen erfolgt. Es ist jedoch nicht zu entscheiden, inwieweit die Tonverlagerung bei diesen roten Böden rezent und inwieweit sie fossil ist, da sie sich unter anderen Klimabedingungen als den gegenwärtig herrschenden, ariden entwickelt haben.

Im bereits erwähnten nördlichen Landschaftsteil dagegen finden sich rezente Böden. Hier wurde während des Pleistozäns die ursprüngliche Peneplain zersägt durch das Einschneiden der Flüsse und dabei in ein kuppiges Gelände verwandelt. Reste der alten, roten Bodenbildungen finden sich nur noch auf den höchsten flachen Kuppen und Rücken, die mit dem einstigen Niveau der Peneplain identisch sind. Die übrigen Böden dieser Landschaft haben i.A. eine braune Farbe.

Das aride Klima läßt keine tiefgründige Bodenentwicklung zu. Deshalb finden sich auf Hängen der Kuppen und Rücken aus Glimmerschiefer flachgründige, kalkfreie und schuttreiche braune Böden. Sie sind von einer mehr oder minder dichten Schicht aus Quarzschutt bedeckt, der aus den Quarzadern stammt, die den Glimmerschiefer an zahlreichen Stellen durchziehen. Zu den Tälern hin werden die Böden tiefgründiger, weil hier ein Teil des weiter hangaufwärts erodierten Bodenmaterials kolluvial zur Ablagerung gelangt. So sind in den kleineren, wannenförmigen Tälern häufig tiefgründige, schutfreie Böden entstanden, in denen bereits eine neue Bodenbildung stattgefunden hat. Bedingt durch das aride Klima, sind diese braunen Böden nicht so intensiv verwittert wie die oben beschriebenen roten Böden, deren Tongehalt auch wesentlich höher liegt. Dennoch kann es in dem primär karbonatfreien Substrat zur Entwicklung eines Ca-Horizontes kommen. Bei der hydrolytischen Zersetzung der Plagioklase wird das Calcium frei und in der Bodenlösung über $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ in CaCO_3 umgewandelt. Da das Bodenwasser nicht in den Untergrund abfließt, sondern an der Oberfläche verdunstet, fällt das CaCO_3 im Boden in Konkretionen aus. Hierdurch liegen die pH-Werte dieser Böden oft über 7,5.

Das Profil Friedenthal (siehe Tabelle 2) kann als typischer Repräsentant eines solchen Bodens gelten. Es hat im A-Horizont einen Tongehalt von

4,6 %, der im Bv₂-Horizont bis auf 7,5% ansteigt. Damit liegt er dort um 66 % höher. Das ist bei der Tonarmut des Bodens ein erheblicher Betrag.

Bei Austrocknung schrumpft das Bodenmaterial auch hier so weit, daß es zur Ausbildung eines vertikalen Spaltensystems kommt. Ebenso wie in den roten Böden findet eine Einschlämmung von Ton auf den Schwundrissen statt. Auf den kleineren, polyedrischen Bodenaggregaten kann wiederum das Auftreten von Tonhäutchen beobachtet werden, welches auf eine Tonverlagerung hindeutet. Im Dünnschliff leuchtet an den etwastonreicheren Stellen unter dem Mikroskop bei gekreuzten Nicols die Tonsubstanz in doppelbrechenden Schlieren auf. Ebenso zeigen an vielen Skelettkörnern die Tonanlagerungen eine gut Doppelbrechung. Es muß demnach auch hier eine Orientierung der feinstdispersen Tonsubstanz stattgefunden haben. Hieran ist zu ersehen, daß Tonverlagerungsprozesse selbst im ariden Klima stattfinden können. Jedoch haben sie mit der Lessivierung der Parabraunerden in den semihumiden Gebieten nichts zu tun. Allerdings ist der höhere Tongehalt der B-Horizonte kein Indiz für die Tonverlagerung. Es muß auch eine Tonbildung in situ angenommen werden, die mengenmäßig jene der oberen Horizonte übersteigt. Denn die wesentlich längere Durchfeuchtung der unteren Horizonte, die der Verdunstung nicht so extrem ausgesetzt sind, hat auch einen höheren Verwitterungsgrad der Minerale zur Folge.

Zusammenfassung

Aus Südwestafrrika, das ein arides Klima hat, werden Tonverlagerungsprozesse an fossilen und rezenten Böden beschrieben, die im Niederschlagsbereich von 250 -300 mm liegen. Der höhere Tongehalt der B-Horizonte hat mehrere Gründe:

1. Die Einschlämmung von Ton auf Schwundrissen, die bei der Austrocknung entstehen.
2. Die Illuviation von Tonsubstanz von den oberen in die unteren Horizonte entlang der Polyederflächen.
3. Die intensivere chemische Verwitterung in den unteren Horizonten und die damit verbundene, vermehrte Tonbildung in situ.

Diese Arbeit wurde in dankenswerter Weise von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.

Anschrift: Dr. H. Scholz, Farm Naos, P.P.S. 13134 Windhoek, S.W. Afrika

Tab. 1

Profil	Horizont	Tiefe in cm	pH		Korngrößen in mm in % des Feinbodens < 2,0 mm					
			H ₂ O	KCl	<0,002	0,002 -0,006	0,006 -0,02	0,02 -0,06	0,06 -0,02	0,2 -2,0
Marien- hof	A ₁₁	0-4	5,3	3,9	9,0	6,3	13,0	11,4	25,0	35,3
	A ₁₂	4-12	5,8	4,4	10,1	6,4	8,0	10,2	28,1	37,2
	B _v	12-25	5,4	4,9	13,3	6,2	7,1	9,4	26,6	37,4
	SwB _v	25-52	6,6	5,5	23,0	4,6	5,3	8,2	21,8	37,1
	S _d	52-70	6,8	5,3	34,3	4,9	4,7	8,0	19,3	28,8

Tab.2

Profil	Horizont	Tiefe in cm	pH		Korngrößen in mm in % des Feinbodens < 2,0 mm					
			H ₂ O	KCl	<0,002	0,002 -0,006	0,006 -0,02	0,02 -0,06	0,06 -0,2	0,2 -2,0
Frieden- tal	A	0-15	7,3	7,0	4,6	2,0	3,7	11,8	46,6	31,3
	Bv ₁	15-45	7,6	7,3	6,6	0,7	10,0	6,4	39,3	37,0
	Bv ₂	45-90	7,7	7,5	7,5	1,9	4,7	13,4	42,0	30,5
	CaBvC	90-140	8,5	7,8	5,1	3,0	5,1	8,1	42,7	36,0

Abb. 2 Schematische Darstellung der Böden auf einer alten Peneplain und in einer jüngeren, zertalten Landschaft

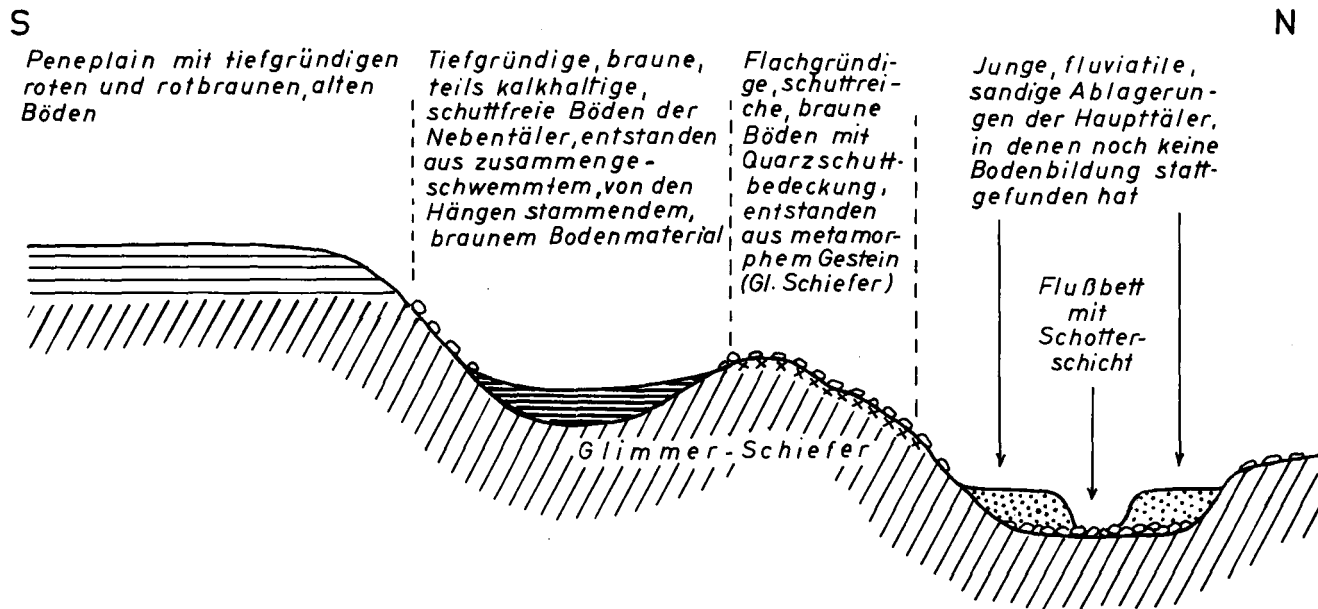
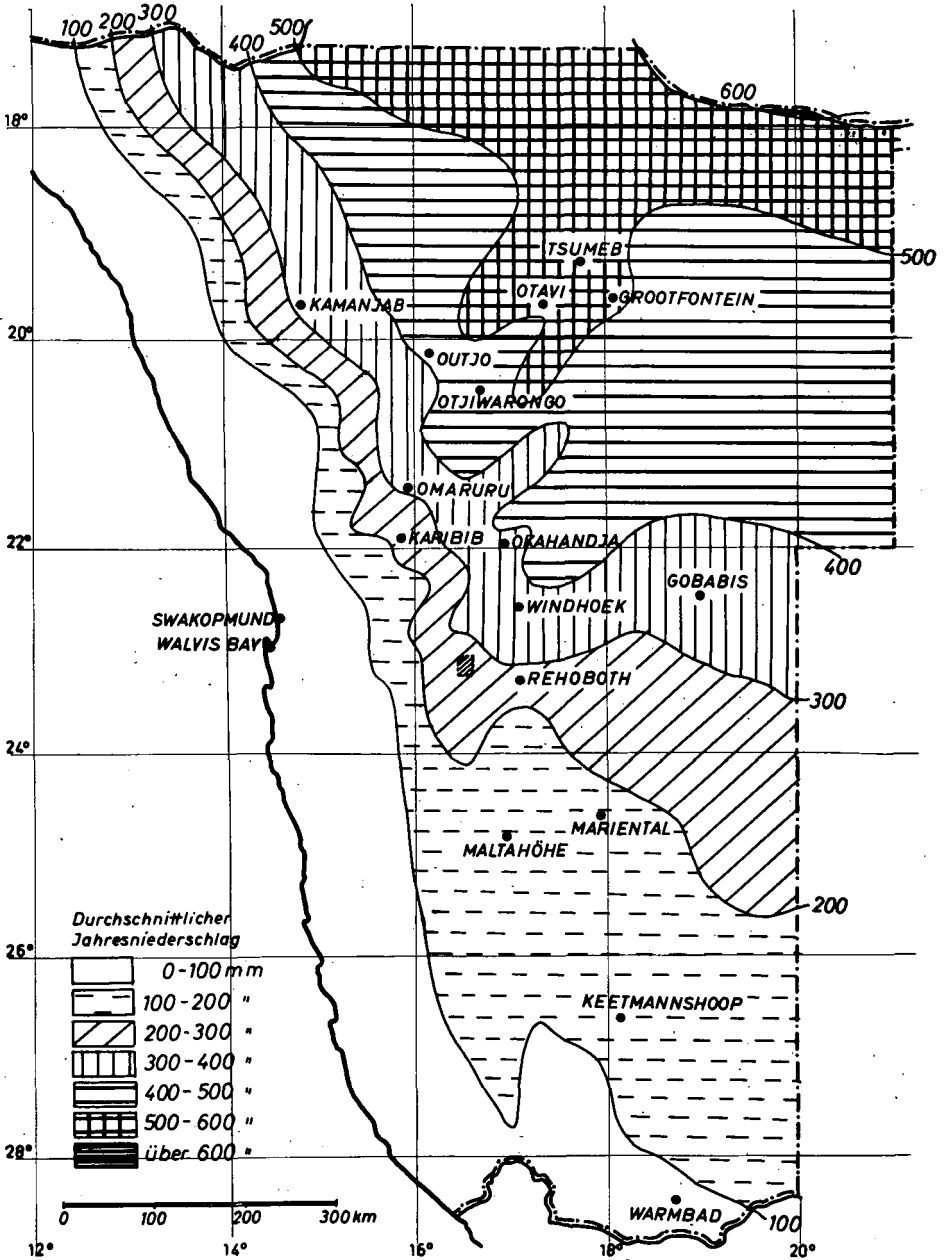


Abb.1 Niederschlagskarte Südwestafrikas



Antagonismus von Tonverlagerung und Fe-Al-Metabolik in der Sequenz Parabraunerde-Pseudogley aus Löß

von H. Gebhardt ^{†)}

1 Problemstellung

Die von uns bilanzanalytisch untersuchte Profilsérie aus Löß enthält auf der einen Seite gut ausgeprägte Parabraunerden ebener Lage mit ausschließlich vertikaler Wasserperkolatión und Stoffbewegung (Profilbeschreibungen s. MEYER et. al. 1962 und FÖLSTER et. al. 1962) und auf der anderen Seite Pseudogleye oder Gleye mit extremer Vernässung bei überwiegend seitlicher Wasserführung (Profilbeschreibungen s. GEBHARDT, 1964). Das Reihungsmerkmal ist hierbei die kontinuierliche Veränderung des Vernässungsgrades. Die Profilsérie stellt also keine genetische Sequenz sondern eine reliefbedingte Hydrosequenz dar. Obwohl die Profile räumlich weit voneinander entfernt liegen, ist ihre Einordnung unter diesem Gesichtspunkt möglich. Um einmal die Verlagerungsbeträge zu erfassen, die in maximal entwickelten Parabraunerden während des letzten Interglaciáis aufgetreten sind, ist auch eine Eem-Parabraunerde in die Untersuchungen einbezogen worden (Profil Lang-Göns in Abb.1, Beschreibung siehe GEBHARDT, 1964).

Innerhalb der Sequenz Parabraunerde-Pseudogley ist makroskopisch feststellbar und wohlbekannt, daß mit zunehmender Vernässung Sesquioxidflecken und -zonen sowie starke Versauerung auftreten und daß die Tonmigration abnimmt. Über den Verwitterungsgrad der vernästen Böden ist aber bisher wenig bekannt. Es soll daher im folgenden vor allem der Frage nachgegangen werden, ob im stark sauren Bodenmilieu die pedogenetischen Teilprozesse der detritischen Tonbildung und der Tonmineralverwitterung weiter fortgeschritten sind als in hydrologischen Normalböden.

†) Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen, v. Siebold-Straße 4

Es ist bereits früher darauf hingewiesen worden, daß die Glimmerumwandlung mit ihren Verwitterungsstadien charakteristisch für bestimmte Verwitterungsmilieus ist und Indikatorwert für verdeckte ehemalige Verwitterungsbedingungen (Staunässe, Naßböden; besitzt (MEYER et al. 1964). Grundsätzlich zerfällt der Biotit schuppchenförmig zu Tonkorngrößen. Auch der Muskovit blättert stark auf und zerlegt sich in Blättchen von 2-10 μ Dicke. Aus diesem Zerfallsverhalten der Glimmer ergibt sich die Vermutung, daß die gesamte Schichtsilikatgenese, d.h. Tonbildung und Tonmineralverwitterung, eine Frage der Dispergierung ist. Da in der Bodenlösung der sauren Böden überwiegend koagulativ wirkende Al-Ionen vorhanden sind, ist eine Hemmung dieser Prozesse zu erwarten.

2. Methodik

Die quantitative Abgrenzung von Tonbildungs- bzw. -verlagerungsvorgängen und lösungsschemischer Eisenbewegung erfolgte auf dem Wege der Profilbilanzierung (KUNDLER 1959). Für die bilanzmäßige Beschreibung besonders der Tonbildung muß eine autigene Tonmineralneuentstehung über die Lösungsphase ausgeschlossen werden. Diese Voraussetzung ist nicht nur in den holozänen Lockersedimenten der gemäßigten Klimazone gegeben (SCHWERTMANN 1961), sondern der detritischen Tonbildung scheint grundsätzlich überragende Bedeutung zuzukommen. Selbst bei der Ablagerung und Diagenese von Tiefseetonen spielt nach Experimenten von HARDER, 1961, die autigene Neuformation von Illiten eine untergeordnete Rolle. Nur unter ganz speziellen Bedingungen wird eine Kristallisation amorpher Gele zu Tonmineralen für möglich gehalten (HARDER 1965). In den untersuchten stark vernäßten und sauren Böden mit gehemmter Perkolation wurde deshalb keine Neuformation von kristallinen Substanzen aus evtl. in der Bodenlösung vorhandenen Abbauprodukten primärer Minerale festgestellt. Die in den Böden vorkommenden Tonminerale können daher als Verwitterungsreste der Glimmer angesehen werden. Die Begriffe "Tonbildung" oder "Tonneubildung" beziehen sich folglich ausschließlich auf den Glimmerzerfall. Eine Veränderung des Tongehaltes in einem bestimmten Profilabschnitt, die sich bei primärer sedimentärer Einheitlichkeit bilanzanalytisch nicht aus dem Glimmerzerfall ableiten läßt, muß also auf die Tonverlagerung zurückzuführen sein. Auf diese Weise ist die quantitative Abgrenzung von Neubildungs- und Verlagerungsvorgängen möglich. Für die Bilanzierung war es notwendig,

den Mineralgehalt der Schluff-Fraktionen polarisationsmikroskopisch bzw. phasenkontrastoptisch und das gesamte freie Eisen aller Fraktionen nach der Extraktion mit Na-Dithionit colorimetrisch zu bestimmen. Zur Charakterisierung der Al-Metabolik wurden die Tonfraktionen röntgenographisch untersucht. Im folgenden werden lediglich die Ergebnisse der bilanzmäßigen Betrachtungen angeführt und diskutiert. Absolutwerte über Korngrößenverteilung, Mineral-, Ton- und Eisengehalte finden sich neben den Profilbeschreibungen bei eingangs erwähnten Autoren.

3. Untersuchungsergebnisse

31. Tonbildung und Tonverlagerung

Tonbildung und -verlagerung sind in Abb. 1 schematisch dargestellt. Die Abszisse enthält die untersuchten Profile in einer Reihe mit zunehmendem Vernässungsgrad von links nach rechts. Auf der linken Ordinate sind die Tonmengen aufgetragen, die innerhalb einer 30 cm mächtigen Bodensäule von 1 m² Querschnittsfläche neu gebildet bzw. verlagert worden sind. Es zeigt sich deutlich, daß die Intensität beider Vorgänge mit steigender Vernässung abnimmt. Die Tonverlagerung zeigt in den holozänen Profilen Einbeck, Herberhausen und Reinhausen immer etwas höhere Werte als die Neubildung, während sie in der Eem-Parabraunerde Lang-Göns von der Tonbildung überrundet wird. Dies deutet daraufhin, daß die im Bt-Horizont des Eembodens akkumulierten extrem hohen Tonmengen nicht überwiegend aus dem Al-Horizont stammen, sondern in situ entstanden oder nur innerhalb des Bt-Horizontes bewegt worden sind. Da für die Bodenbildung im letzten Interglacial ein wesentlich längerer Zeitraum zur Verfügung stand als für die Entwicklung unserer Holozänböden, ist anzunehmen, daß für deren künftige Genese der Tonbildung im B-Horizont besondere Bedeutung zukommt. - Synchron mit dem Glimmerzerfall (Tonbildung)nimmt natürlich innerhalb der Sequenz auch die Eisenoxidfreisetzung (Verbraunung) ab.

32. Lösungsschemische Eisenverlagerung

Die lösungsschemische Eisenverlagerung verläuft - verglichen mit den Prozessen der Tonbildung und -verlagerung - genau in entgegengesetzter Richtung. Zur Verdeutlichung sind auf der rechten Ordinate der Abb. 1 die kg Fe aufgetragen, die in einer ebenfalls 30 cm mächtigen Bodensäule von oben nach unten bewegt worden sind. Während in den Parabraunerden Lang-Göns und Einbeck keine vertikale Eisendifferenzierung im Sinne einer Podsolierung festzustellen ist, erreicht sie im Hanggley Gahrenberg einen Wert von 8 kg Fe. In den Zwischengliedern Herberhausen und Reinhausen beträgt sie dagegen nur 1-2 kg. - Als weiteres analytisches Kriterium kommt für die Böden mit zusätzlicher Vernässung hinzu, daß sich das freigesetzte Eisenoxid nicht mehr so sehr in den Tonfraktionen anreichert und infolge seiner feinen Verteilung einen ausgesprochenen "Verbraunungseffekt" hervorruft, sondern sich mehr und mehr in den Schluffkorngrößen konzentriert. Die Ausscheidung erfolgt dabei nicht mehr hülsenförmig sondern feinkonkretionär, bei extremer Vernässung auch grobkonkretionär.

Es sei hier nochmals daraufhingewiesen, daß mit zunehmender Vernässung lediglich die bilanzanalytisch erfaßbare lösungsschemische Eisenbewegung zunimmt (Abb. 1). Der absolute Gehalt an freiem Eisen ist dagegen in den Naßböden geringer als in hydrologischen Normalböden (vgl. GEBHARDT 1964).

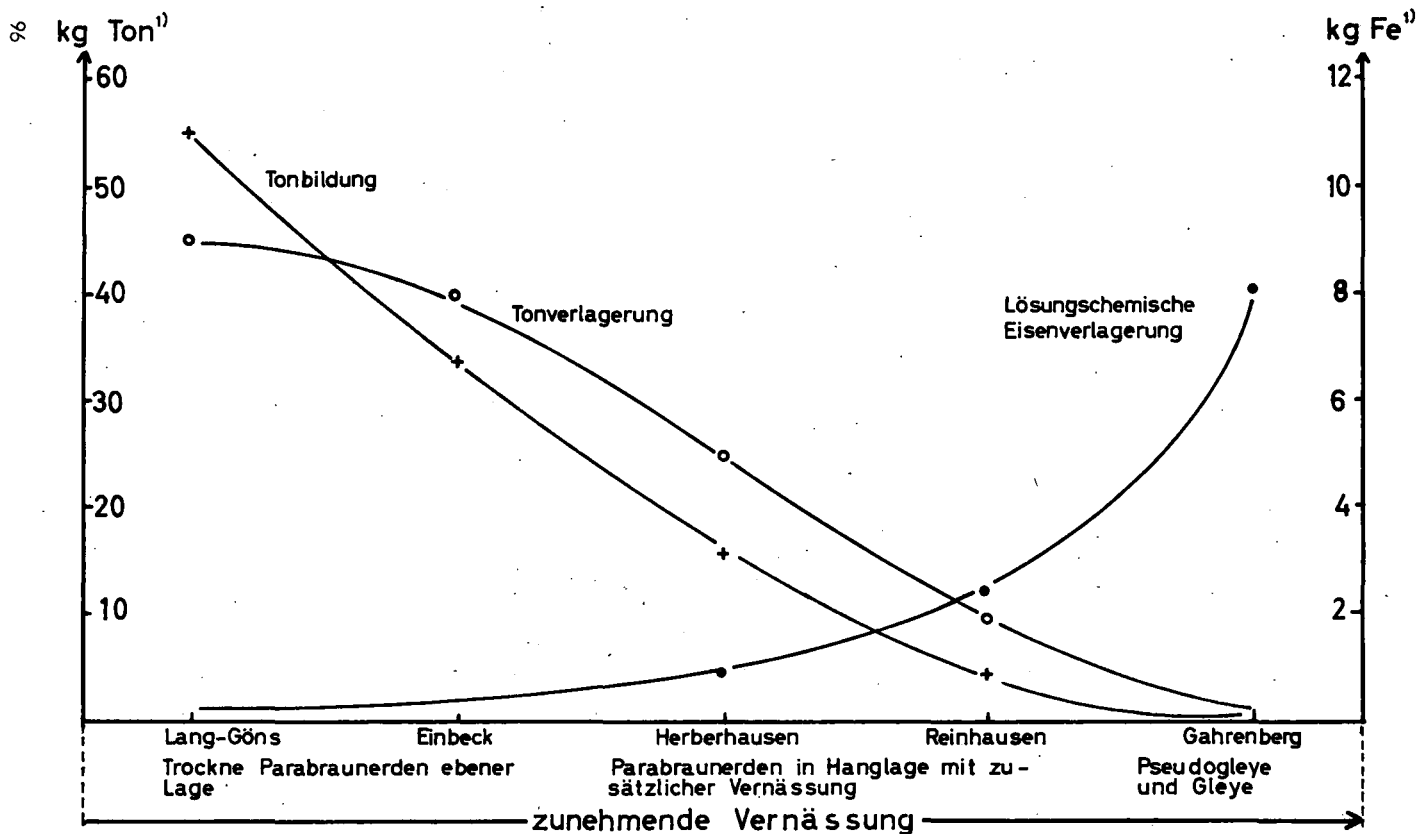
33. Tonmineralverwitterung (Al-Metabolik)

Die Hemmung der Tonbildungs- und Tonverlagerungsvorgänge mit zunehmender Vernässung und Versauerung ist nicht nur mit einer verstärkten lösungsschemischen Eisenverlagerung verbunden, sondern führt auch zu einer beschleunigten Al-Mobilisierung. Ein Bild hiervon erhält man bei der röntgenographischen Untersuchung der Tonfraktionen (durchgeführt n. SCHEFFER et al. 1961a). In Abb. 2 ist die Tonmineralverwitterung schematisch dargestellt. Ausgangspunkt ist die im phasenkontrastmikroskopischen Bild leicht erkennbare Tatsache, daß sich die "Illite" der Grobtonfraktion ($0,6 - 2 \mu$ Äquivalentdurchmesser) aus stark angewitterten - später leichter aufweitbaren - Biotitbruch-

stücken und kompakteren - später schwerer aufweitbaren - Muskovit-abkömmlingen zusammensetzt (vgl. GEBHARDT 1964). Da unter normalen Bedingungen Muskovite und Biotite etwa in gleichem Ausmaß in Tonkorngrößen zerfallen, liefert der Glimmerzerfall zunächst gleiche Mengen von Illit (I) und Hemiexpandit (H). Das Verhältnis I : H ist gleich eins. Bei der Tonmineralverwitterung in hydrologischen Normalböden (Profil Einbeck) erfolgt ein weiterer gleichmäßiger Zerfall von Muskoviten und Biotiten (I : H = 1). Erst bei lang anhaltender normaler Entwicklung, wie sie z.B. in der untersuchten Eem-Parabraunerde gegeben war, werden die schwerer aufweitbaren muskovitbürtigen Illite in Hemiexpandite überführt. Das Verhältnis I : H wird kleiner als eins. Diese Verschiebung des I : H-Verhältnisses zugunsten der Hemiexpandite tritt in Böden mit zusätzlicher Vernässung viel früher ein. Die Hemiexpanditanreicherung ist aber hier mit einer Al-Blockierung des Zwischenschichttraumes der Dreischicht-Tonminerale verbunden, während bei normaler Entwicklung entstehende Hemiexpandite voll kontrahierbar sind und die Expanditstufe erreichen können. Es ergibt sich also ein markantes Unterscheidungsmerkmal für die Tonmineralverwitterung in Böden mit und ohne zusätzlicher, über die Niederschlagsmengen hinausgehender Vernässung. Mit anderen Worten läßt sich auch sagen, daß bei ersteren nur Al-Chlorite und bei letzteren schließlich Montmorillonite entstehen.

4. Zusammenfassung

Innerhalb der Sequenz Parabraunerde-Pseudogley aus Löß wurde mit Hilfe von Profilbilanzierungen versucht, die Prozesse der Tonbildung, Tonverlagerung und Fe-Al-Metabolik größenordnungsmäßig zu erfassen und ihre antagonistische Wirkung aufzuzeigen. Die angegebenen Werte stimmen nur bilanzmäßig, brauchen also nicht der Wirklichkeit zu entsprechen, da z.B. horizontale Stoffbewegungen bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt werden konnten. Diese macht jedoch ein Abschätzen der Entwicklungstendenz unserer Böden möglich.



¹) bezogen auf eine 30cm hohe Bodensäule von 1m² Querschnittsfläche

Abb.1: Schematische Darstellung von Tonbildung, Tonverlagerung und Eisendynamik

Als wichtiges Ergebnis ist festzuhalten, daß mit zunehmender Ver-
nässung nicht nur die Tonverlagerung, sondern auch die Tonbildung
u. weitere Tonmineralverwitterung durch verstärkte Sesquioxidmobi-
lisierung gehemmt werden. Der Grund hierfür ist in der durch die Al-
Blockierung bewirkten Fixierung der verwitternden Schichtsilikate so-
wie der Flockung (Al-Fällung) und Aggregatstabilisierung der Tonsub-
stanz zu suchen. Hinsichtlich des Verwitterungsgrades stellen demnach
die stark vernässten Glieder der Sequenz wesentlich weniger entwickel-
te Böden als die Parabraunerden dar. Es besteht somit kein Zusammen-
hang zwischen Verwitterungs- und Versauerungsgrad dieser Böden. Früh
im Holozän auftretende Vernässung kann wichtige pedogenetische Pro-
zesse behindern.

Literatur

- Fölster, H., Meyer, B. und Kalk, E., 1962,
Parabraunerden aus primär carbonathaltigem Würm-
Löß in Niedersachsen II. Z. Pflanzenern., Düngg., Bo-
denk. 100, 1-12
- Gebhardt, H., 1964,
Bilanzanalytische Untersuchungen zur Silikatver-
witterung und zum Stofftransport in feuchten und
nassen Holozänböden aus Löß mit besonderer Be-
rücksichtigung der Feldspatverwitterung.
Dis. Landw. Fak. Göttingen
- Harder, H. 1961, Einbau von Bor in detritische Tonminerale.
Geochim. et Cosmochim. Acta 21, 284-294
- Harder, H., 1965, Experimente zur "Ausfällung" der Kieselsäure.
Geochim. et Cosmochim. Acta 29, 429-442
- Kundler, P., 1959, Zur Methodik der Bilanzierung der Ergebnisse
von Bodenbildungsprozessen (Profilbilanzierung),
dargestellt am Beispiel eines Texturprofils auf Ge-
schiebemergel in Norddeutschland.
Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk. 86, 215-222

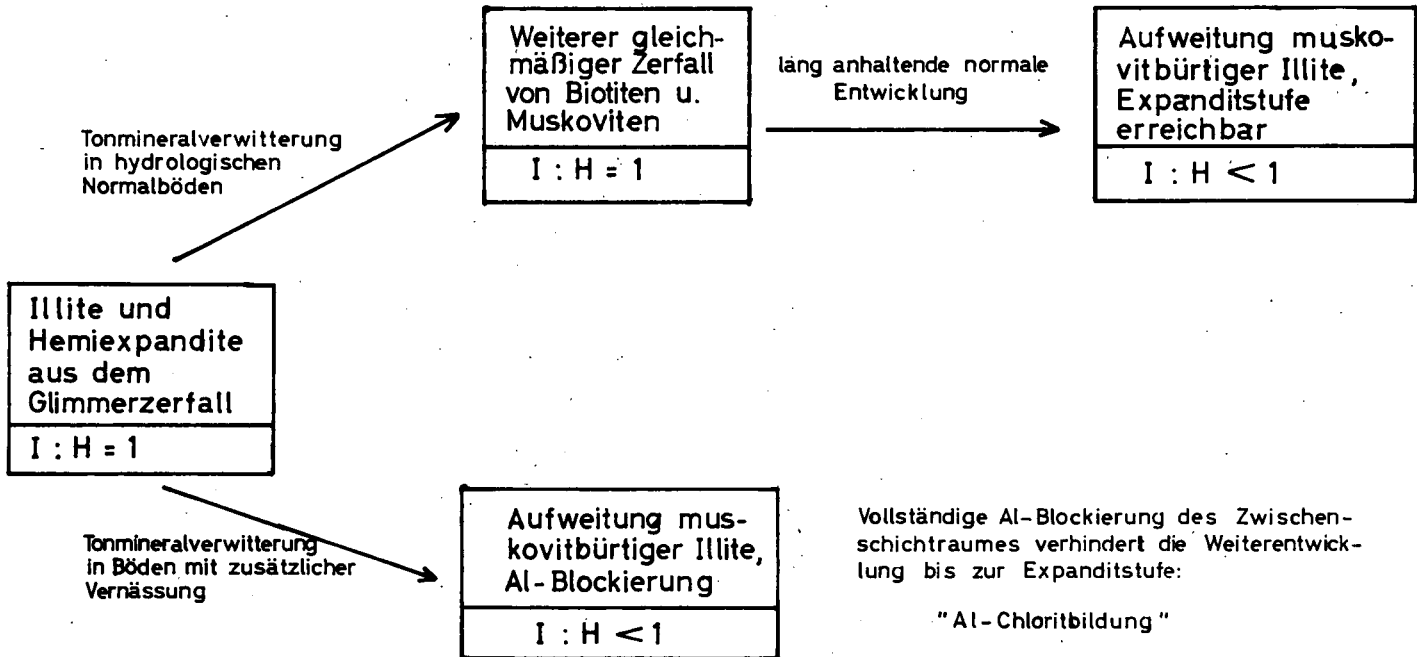


Abb.2; Schematische Darstellung der Al-Metabolik bei der Tonmineralverwitterung

- Meyer, B., Kalk, E. und Fölster, H., 1962,
 Parabraunerden aus primär carbonathaltigem
 Würm-Löß in Niedersachsen I.
 Z.Pflanzenern., Düngg., Bodenk. 99, 37-54
- Meyer, B. und Kalk, E., 1964,
 Verwitterungsmikromorphologie der Mineral-
 spezies in mitteleuropäischen Holozänböden
 aus pleistozänen und holozänen Lockersedi-
 menten.
 Soil Micromorphology, 109-129, Elsevier Publ.
 Comp., Amsterdam-London, 1964
- Scheffer, F., Fölster, H. und Meyer, B., 1961a,
 Zur Diagnostik und Systematik von Drei-
 schicht-Tonmineralen in Böden und pedogenen
 Sedimenten. Chemie der Erde 95, 209-227
- Scheffer, F., Meyer, B. und Fölster, H., 1961b,
 Dreischicht-Tonminerale mit Aluminium-
 Zwischenschichtbelegung in mitteldeutschen
 sauren braunen Waldböden.
 Z.Pflanzenern., Düngg., Bodenk. 92,
 201-207
- Schwertmann, U., 1961, Der Mineralbestand der Fraktion $2/\mu$ eini-
 ger Böden aus Sedimenten und seine Eigen-
 schaften. Z. Pflanzenern., Düngg., Bodenk.
95, 209-227



Rezente und fossile Podsole am Marschenrand

von J.-H. Benzler ^{†)}

Wenn ein sandiger Hang, z.B. eine Düne, bis unter den Grundwasserspiegel abfällt, bildet sich eine Bodencatena aus, die vom Podsol über Gley-Podsol und Podsol-Gley zum typischen Gley (Eugley) und im Extrem zum Niedermoor führt (Abb. 1). Die Einstufung der einzelnen Bodentypen und Subtypen erfolgt nach der Lage des Go-Horizontes im Profil. Außerdem nimmt mit höherer Lage des Go-Horizontes die Verwaschenheit des Podsol-B-Horizontes zu. Als Kennzeichen für den Go-Horizont wird dabei die Eisenfleckung betrachtet (Merkmals-Kartierung).

Am Geestabfall zur Marsch findet sich bei der Kartierung häufig eine Profilfolge, wie sie in Abb. 2 dargestellt ist. Sie enthält Podsole, in denen das Grundwasser bis in den A-Horizont reicht, die aber keinerlei Eisenfleckung zeigen, dafür jedoch scharf begrenzte B-Horizonte. Nach der Merkmalskartierung müßten sie zu den Podsolen gestellt werden, weil keine Gleyfleckung erkennbar ist, obwohl sie ihrer Dynamik und Ökologie nach eindeutig zu den Gleyen gehören. In ihrer Nachbarschaft kommen in topographisch gleicher Lage Podsole vor, die von einer dünnen Schlicklage überdeckt sind. Bei diesen ist die Gleyfleckung auf die Schlickauflage beschränkt. Daraus läßt sich das Fehlen der Gleyfleckung erklären: In den Podsolen sind die oberen Horizonte soweit am löslichem Eisen verarmt, daß keine Gleyfleckung mehr entstehen kann. Die Schlicküberdeckung dagegen enthält noch lösliches Eisen, das zur Fleckenbildung führt.

Wir müssen daher annehmen, daß die Podsolbildung und die Verarmung der Horizonte an Eisen bereits abgeschlossen war, bevor die Böden in den Einflußbereich des Grundwassers gerieten. Der Grundwasseranstieg wurde verursacht durch die Meerestransgression in der Nacheiszeit. Wäh-

†) Niedersächs. Landesamt für Bodenforschung Hannover-Buchholz
Alfred-Bentz-Haus, Sven Hedin Straße 80

Catena Podsol - Gley - Niedermoor

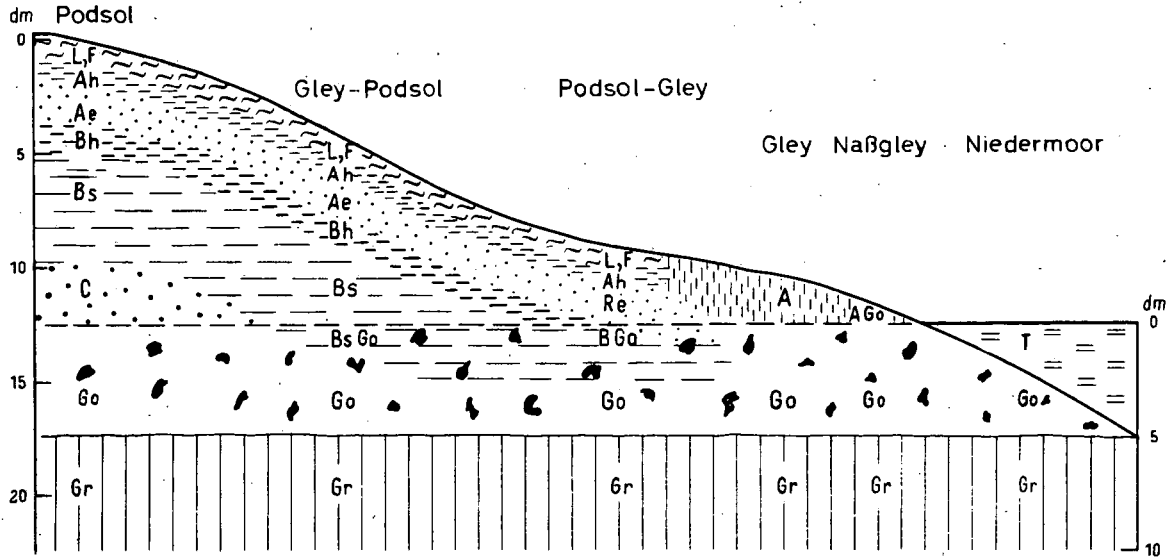


Abb. 1

rend es sich bei den schlicküberdeckten Podsolen um echte "fossile", d.h. begrabene Böden handelt, sind die nicht überschlickten, im Grundwasser liegende Podsole nicht wirklich fossil, sondern nur "ertrunken". Nach KUBIENA sind sie als Relikt-Podsole zu bezeichnen. Es wären also "Reliktpodsol-Gleye", die man vielleicht auch als "Podsole mit stark angestiegenem Grundwasser" bezeichnen könnte.

Catena Podsol - Gley über fossilem Podsol

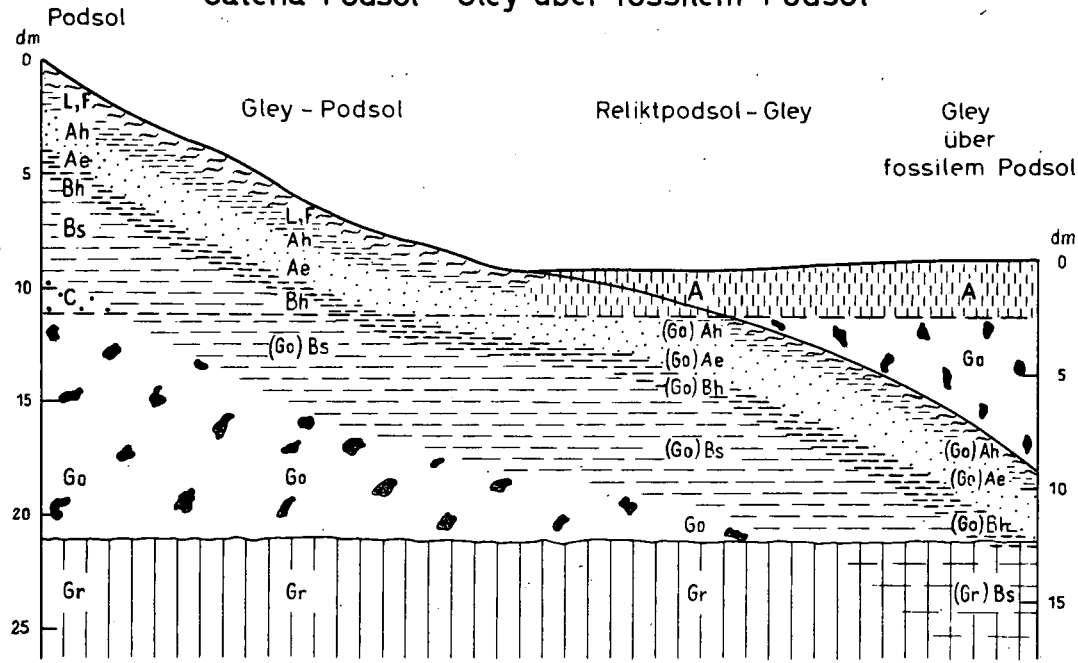


Abb. 2

Die Böden der Nordeifel und ihres Vorlandes von Hildegard Dahm-Arens +)

Von den Faktoren, die für die Bildung der gegenwärtigen Böden der Eifel und des nördlich anschließenden Flachlandes entscheidend sind, dürfte dem geologischen Substrat die größte Bedeutung zukommen. Deshalb soll zunächst auf die geologischen Gegebenheiten dieses Gebietes und die Vorgänge in den einzelnen geologischen Zeitabschnitten, so auch der fossilen Bodenbildung, eingegangen werden.

Die Eifel, an deren Nordwestrand Aachen gelegen ist, gehört zum Rheinischen Schiefergebirge. Tonschiefer, Grauwacken und vielfach Quarzite, untergeordnet Phyllite, nehmen die größte Fläche ein. In den geologischen Mulden und am Eifelnordrand kommen Kalksteine, Dolomite und Kalkmergel dazu. Stratigraphisch (Abb. 1, ob. Teil) gehört die Eifel zum Devon (Unter- bis Oberdevon). Im Hohen Venn, einem alten Sattelkern im Scheitel einer bedeutenden Antiklinale, die sich nach Belgien zu als Massiv von Stavelot in den Ardennen fortsetzt, treten kambrische und ordovizische Sedimente zutage. Den Nordrand bilden Schichten des Karbons (Unter- und Oberkarbon), die im Nordwesten, im Raume Aachen, von den Sedimenten der Kreide (Obersanton bis Maastricht) diskordant überlagert sind. Im Nordosten, zwischen Düren und Mechernich, schiebt sich das muldenförmige Triasdreieck (Buntsandstein bis Keuper) keilförmig von der Niederrheinischen Bucht aus in das Eifelgebirge hinein.

Im Norden und Nordosten grenzt die Eifel gegen Flachlandgebiete, deren Untergrund fast ausschließlich von lockeren Tertiärschichten (Paläozän bis Pliozän) der Niederrheinischen Bucht eingenommen wird (Abb. 1, unt. Teil). Zu diesen Bildungen gehören u. a. die mächtigen Braunkohlenflöze (Miozän), deren Hauptflöz im Beckentiefsten eine Mächtigkeit bis zu 100 m hat. Zur heutigen Oberfläche hin sind die Tertiärsedimente von Kiesen und Sanden der verschieden alten Rhein- und Maasterrassen (Pleistozän) bzw. der Ter-

+) Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld,
Westwall 124

massen ihrer Nebenflüsse überlagert, und diese wieder sind - bis auf die jüngsten Talstufen - meist von Löß (Pleistozän) in unterschiedlicher Mächtigkeit überdeckt. Auch auf den älteren Gesteinen der Eifel sind vielfach noch Lößreste - meist isoliert und fast stets umgelagert - zu finden.

Das Rheinische Schiefergebirge - und damit die Eifel - wurde im Karbon in mehrmaligen Phasen aufgefaltet. Dieser variszischen Faltung folgten Perioden intensiver Abtragung. Das Tertiär ist die Zeit bedeutender Senkung und Sedimentation in den nördlich anschließenden Gebieten. An früh vorgezeichneten Bewegungszonen drang im Tertiär und noch im Pleistozän Basalt auf, der z.T. im mesozoischen Deckgebirge steckengeblieben ist (Abb. 1, ob. Teil). Die Bruchzonen sind im Pleistozän neu belebt worden, wobei in staffelförmigen Abbrüchen z.T. recht schmale Tertiärschollen versenkt bzw. herausgehoben worden sind (Abb. 1, unt. Teil). Stellenweise ist die Hauptterrasse, wenn auch in schwächerem Ausmaß, tektonisch mitbewegt worden. Einige Bruchzonen sind bis heute wirksam geblieben.

Seit der Auffaltung im Karbon hat das Gebiet der Nordeifel, zumindest der Kern, aus dem Sedimentationsfeld der Umgebung herausgeragt. Bereits im Perm, vor allem aber im Tertiär, wurde durch intensive Verwitterung und Abtragung das Gebirge zur Rumpffläche eingeebnet. Sie ist noch heute in den Hochflächen der Eifel zu erkennen. An der ehemaligen Landoberfläche bildeten sich unter dem Einfluß tropischer und subtropischer Klimate jener geologischen Zeitabschnitte im Bereich der silikatischen Gesteine vorwiegend Plastosole und im Gebiet der Karbonatgesteine Böden der Terrae-calcis-Klasse. Reste dieser sehr alten Bodenbildungen sind in der Nordeifel an vielen Stellen beobachtet worden. Sie kommen jedoch nur in erosionsgeschützter Lage vor, einmal in Karsthohlräumen, zum weiteren auf stark abgesunkenen Schollen oder auch in erosionsferner Hochflächenlage. Gerade im Bereich des Venn-Sattels und der unterdevonischen Schichten sind Reste von Graulehmen flächenhaft erhalten geblieben. Der größere Teil ist jedoch im Quartär abgetragen worden. Im Pleistozän haben Materialumlagerungen von großem Ausmaß stattgefunden, und zwar im wesentlichen durch zwei Faktoren: Die erneute Hebung des Gebirgskörpers bei gleichzeitiger verstärkter

Einsenkung der Niederrheinischen Bucht und die erheblichen klimatischen Veränderungen. Während der aufsteigende Gebirgsrumpf im Süden von tiefen Tälern (bis zu 200 m) zerschnitten wurde, kam es in den Randgebieten und im Vorland zu einer mehr oder weniger kontinuierlichen Sedimentation des abgetragenen Materials, so daß sich weiträumige Schotterfluren bildeten. Erst in einem späteren Stadium schnittensich auch hier die Täler ein.

Die nun folgende Darstellung soll einen Überblick über die vorherrschenden rezenten Bodenbildungen des Gebietes geben. Die Böden des Gebirges, der Nordeifel, haben sich zum überwiegenden Teil aus festen Gesteinen entwickelt. Bodentypologisch überwiegt die Braunerde. An Steilhängen und auf Kuppen sind auf den Silikatgesteinen Braunerden geringer Entwicklungstiefe vorherrschend. Sie gehen stellenweise in Ranker über. Infolge Basenarmut und meist exponierter Lage neigen diese Böden zu podsoliger Entwicklung. Ökologisch wirkt sich diese Tendenz jedoch weniger aus, da die Böden meist durch starken Steingehalt einen gewissen Basennachschub haben und infolge der Lockerheit der Zersatzzone physiologisch mittelgründig wirken. An Mittel- und Unterhängen, vielfach im Akkumulationsbereich von Solifluktions- und Erosionsmaterial, herrschen Braunerden mittlerer und großer Entwicklungstiefe vor. Es darf angenommen werden, daß in der Eifel die rezente Bodenbildung 60 - 80 cm tief in das Gestein eingegriffen hat. Der Basengehalt der Böden auf den silikatischen Gesteinen ist dem Ausgangsmaterial entsprechend gering. Sie werden als basenarme Braunerden oder als saure Braunerden angesprochen. Die belgischen Kollegen bezeichnen diese Böden als sols brun acides. Sie kommen in den Ardennen als charakteristische Ausbildung im gleichen Substrat- und Klimabereich wie in der Eifel vor. Sowohl dort wie hier wird unterschieden in die saure Mullbraunerde mit Schwingel-Buchenwaldvegetation (Luzulo-Fagetum festucetosum) und die saure Moderbraunerde, die sich in den mit Simsen-Buchenwald bestockten Zonen vorfindet, dem Luzulo-Fagetum typicum.

Die basenärmsten Braunerden der Nordeifel sind auf mittlerem Buntsandstein zu finden. Die typologische Entwicklung ist über das Stadium der podsoligen Braunerde hinaus fortgeschritten bis zum Podsol.

In der Nachbarschaft der basenarmen Braunerden kommen im Bereich der Kalk- und Kalkmergelgesteine des Paläozoikums und des Meso-

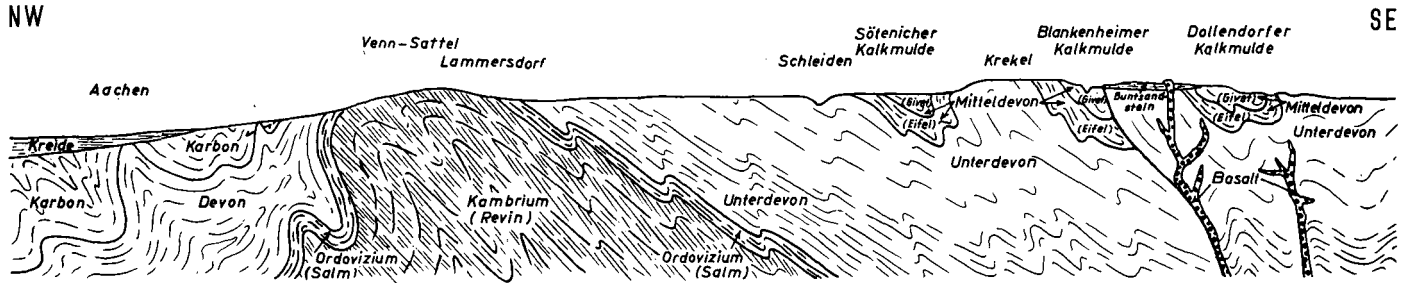
zoikums Braunerden hoher Basensättigung vor. An exponierten Hängen und auf Kalkrippen sind außerdem Rendzinen zu finden.

In erosionsferner Lage kommen auf den Phylliten, Tonschiefern und Grauwacken zu den Braunerden stellenweise pseudovergleyte Böden, und zwar fast ausschließlich auf den Relikten der Graulehne und den mit fossilen Verwitterungsresten durchsetzten Solifluktsdecken. Die Wasserundurchlässigkeit der alten Verwitterungsprodukte hat zur Bildung ausgedehnter Staunässe geführt. Rezent haben sich auf den fossilen Plastosolen Pseudogleye entwickelt. Ganz besonders ungünstig ist auf diesen Böden die biologische Aktivität, wodurch sich sehr schlechte Humusformen gebildet haben. In Extremfällen ist es zur Entwicklung von anmoorigen Stagnogleyen oder auch von Hochmooren (Hohes Venn) gekommen.

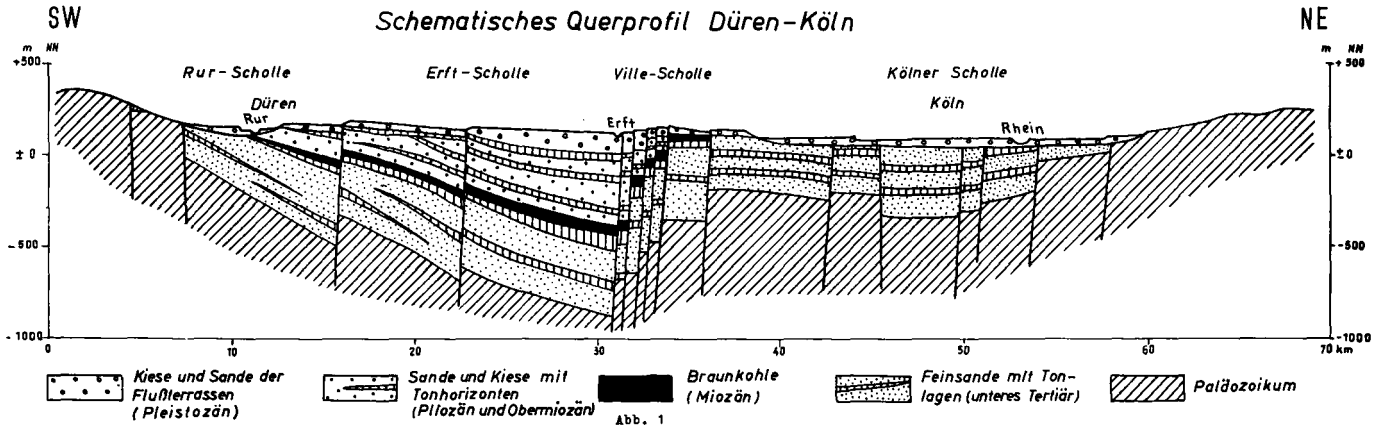
Bei den rezenten Böden der Eifel, sowohl auf Silikatgesteinen als auch auf Karbonatgesteinen, hat sich bisher weder makroskopisch noch mikroskopisch die Verlagerung von Tonsubstanz nachweisen lassen. Solange die Ursache des Fehlens der Tonverlagerung in den Mittelgebirgsböden nicht erkannt bzw. ihr Vorhandensein nicht durch bessere Methoden und neue Beobachtungen erfaßt ist, kann nicht entschieden werden, ob die Tonverlagerung eine gewisse klimatische Abhängigkeit hat.

Bei den Böden des Flachlandes, des Eifelvorlandes, haben Bodenbildungen mit Tonverlagerung große Verbreitung, wie z.B. die hier vorherrschenden Böden aus Löß in autochthoner Lage zeigen. Bodentypologisch dominiert die Parabraunerde. Im allgemeinen ging in diesen Böden der Tonwanderung eine Tonneubildung voraus, d.h. daß sich auf den Lössen über ein relativ kurzes Pararendzinastadium eine Braunerde gebildet hat, die erst allmählich durch Tonwanderung in eine Parabraunerde übergegangen ist. Bei geringerer Lößmächtigkeit und Unterlagerung mit schlecht durchlässigem Fremdmaterial ist es vielfach mit zunehmender Stauwirkung zur Pseudogleybildung gekommen. Im Eifelvorland wird der Löß vorwiegend von Hauptterrasse unterlagert, die durch intensive Bodenbildung im ersten Interglazial verdichtet ist. Das gesamte Bodenprofil im Löß kann weitgehend umgewandelt sein, so daß sich die vorausgegangene Parabraunerdeentwicklung kaum mehr abzeichnet.

Schematisches Querprofil Aachen-Blankenheim



Schematisches Querprofil Düren-Köln

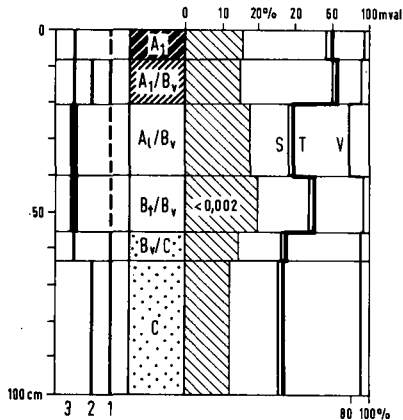


Eine Entwicklungsreihe ist durch Untersuchungsergebnisse von drei Profilen aus Löß (östlich Düren), der in unterschiedlicher Mächtigkeit Hauptterrassenkiese und -schotter des Rheins überlagert, in Abb.2 zusammengestellt. Die analytischen Daten zu den Profilen sowie die röntgenographischen und elektronenoptischen Aufnahmen der Tonminerale wurden im Institut für Bodenkunde in Bonn unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Dr. Mückenhausen ermittelt. Bei den ersten beiden Profilen beträgt die Lößmächtigkeit mehr als 3 m und das dritte Profil hat nur 80 - 90 cm Löß über Hauptterrassenschotter. Auf Grund der unterschiedlichen Tiefenlage der als Staukörper wirkenden Terrasse hat sich in Profil 3 ein Pseudogley ausgebildet und in den beiden anderen Profilen eine Parabraunerde. In Profil 2 ist die Zunahme des Rohanteils vom A- zum B-Horizont durch den Vorgang der Tonverlagerung besonders deutlich. In Profil 1 überwiegen noch die Braunerdemerkmale. Der T-Wert ist wegen seiner Bedeutung als zusätzliches Mittel für die Identifizierung der Tonmineralgruppen im Boden in den drei Profilen durch eine stärkere Linie hervorgehoben. Er weist in allen Profilen einen mehr oder weniger deutlichen Anstieg vom Gestein zum Solum auf. Im Solum tritt die Abhängigkeit von der Tonmenge hervor, außer in den A-Horizonten. Der Tonmineralbestand der einzelnen Böden ist ebenfalls durch Linien gekennzeichnet. Die Linienstärke gibt die relative Zusammensetzung nach Tonmineralen an. Die elektronenoptische Aufnahme erfolgte bei 10 000-facher Vergrößerung. Montmorillonit und aufgeweiteter Illit konnten nicht voneinander getrennt werden. Es darf jedoch angenommen werden, daß es sich vorwiegend um aufgeweiteten Illit handelt. Eine Bestätigung ist darin zu sehen, daß das hervortretende Vorkommen der 18-Å-Mineralen an die B_t-Horizonte und A₁-B_t-Horizonte der Parabraunerden gebunden ist, d.h. an die Horizonte mit der stärksten Verwitterung. In den A₁-Horizonten werden die 18-Å-Mineralen wahrscheinlich ebenfalls überwiegen, aber der Nachweis ist hier schwieriger, da die Röntgenbeugungsinterferenzen und die elektronenmikroskopischen Aufnahmen durch amorphe Humussubstanzen gestört werden. Im Pseudogley ist die Tonmineralzusammensetzung deutlich anders. Die 18-Å-Mineralen fehlen und im oberen Pseudogleyhorizont überwiegt der Kaolinit. Das saure Milieu, die pH-Werte liegen bei 4, und die zeitweilige Staunässe dürften die Ursache für die vorherrschende Kaolinitbildung sein.

Tonmineralbestand in Böden aus Löß östlich Düren

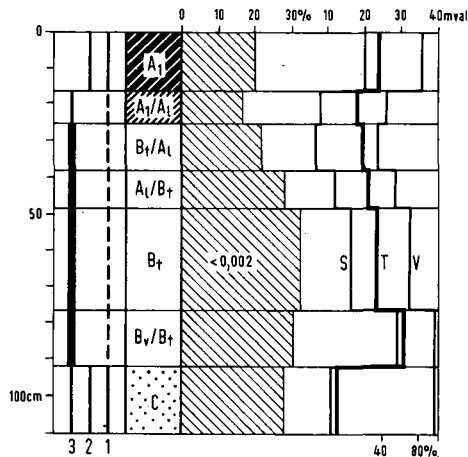
Profil 1, Bliesheim

Bodentyp: Parabraunerde - Braunerde



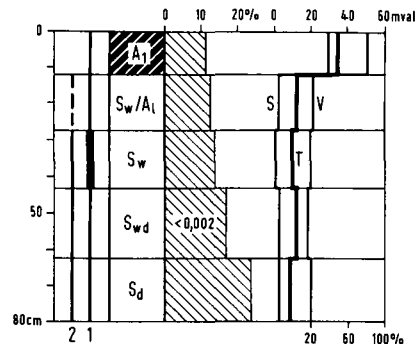
Profil 2, Rösberg

Bodentyp: Parabraunerde



Profil 3, Weilerswist

Bodentyp: Pseudogley



Tonmineralien:

- 1 Zweischichtmineral (Kaolinit)
- 2 Dreischichtmineral $< 10 \text{ \AA}$ (Illit)
- 3 Dreischichtmineral $10 - 18 \text{ \AA}$ (aufgeweiteter Illit z.T. Montmorillonit)

Häufigkeit:

- in Spuren
- vorhanden
- hervortretend

Abb. 2

Im Eifelvorland kommen neben Parabraunerden untergeordnet Podsole vor, einmal auf den leichteren äolischen Substraten und zum weiteren auf den kiesig-sandigen Terrassenablagerungen, vereinzelt auch auf tertiären Sanden. Die Podsolprofile haben in tieferen Horizontbereichen vielfach mehrere übereinanderliegende Tonanreicherungs-bänder, bei denen es sich vermutlich um aufgelöste ehemals zusammenhängende B_t -Horizonte handelt. Rhythmische Absetzung von Tonsubstanz durch bodengenetische Vorgänge, speziell der Tonverlagerung, dürfte auch möglich sein. In diesen Böden waren Tonverarmung und Versauerung des Oberbodens die Ursache der sekundären Podsolierung.

Bei den Böden aus fluviatilen Sedimenten, aus Hochflutablagerungen über Niederterrasse und älteren Auenablagerungen im Bereich der heutigen Talböden, dominiert ebenfalls die Parabraunerde. Im Rur- und Indetal ist festgestellt worden, daß in jungen Flußabsätzen - in Sedimenten aus römischer Zeit - Tontapeten auf den Oberflächen der Gefügeagregate vorkommen. Die gleiche Beobachtung ist in den Niederlanden aus dem Maastal bekannt. Bei den jüngeren Auenabsätzen überwiegt der allochthone braune Auenboden (allochthone braune Vega), der in den meisten Flußtäälern, soweit sie nicht eingedeicht sind, zeitweilig und kurzfristig überflutet wird.

Die kleineren Bachtäler, sowohl im Gebirgsvorland als auch in der Nord-eifel, sind prädestiniert für die Entwicklung von Gley mit meist ganzjährig hochstehendem Grundwasser. Oft werden im Gebirge diese Böden jedoch weniger wegen des Profilbildes als vielmehr wegen der ermittelten Grundwasserstände und der allgemeinen morphologischen Situation als Gleye angesprochen. Hier weist das Fehlen von Reduktionshorizonten auf zügiges und sauerstoffreiches Grundwasser hin.

Schließlich ist noch eine besondere Gruppe von Böden im Eifelvorland zu nennen, nämlich die in den abgebauten Braunkohlenfeldern durch Rekultivierung geschaffenen Böden aus künstlich aufgefülltem Lößabraum. Sie nehmen, vor allem im Vergleich zu den relativ natürlichen Böden, eine Sonderstellung ein. Die mit einem Löß- und Lößlehmgemisch künstlich überdeckten Böden aus ärmeren Substraten gehören ebenfalls in diese Gruppe.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Nordeifel mit ihren paläozoischen und mesozoischen Gesteinen das Gebiet mit vorherrschend Braunerden ist; das Eifelvorland, also der Südtel der Niederrheinischen Bucht, mit tertiären Ablagerungen, die zur Oberfläche hin von quartären Sedimenten abgeschlossen sind, dagegen das Gebiet mit vorherrschend Parabraunerden ist.

Erfassung und Darstellung der Bodeneinheiten auf den Bodenkarten des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen

von G. Heide ⁺⁾

1. Aufgabe der Bodenkartierung

Die Bodenkartierung bei den Geologischen Landesämtern wird heute nicht mehr, wie in den ersten Nachkriegsjahren, als eine Auftragsarbeit für spezielle, eng begrenzte Aufgaben betrieben, sondern mehr als eine planmäßige Inventur der Böden des ganzen Landes. Alle bodenkundlichen Untersuchungen bei den Landesämtern finden mehr oder weniger ihren Ausdruck in der Herausgabe von Bodenkarten, die den vielfältigsten Aufgaben und Verwendungszwecken gerecht werden sollen. Der Benutzerkreis von Bodenkarten ist dabei wesentlich größer als der von geologischen Karten; denn alle in der Land- und Forstwirtschaft, in Wasserwirtschaft und Landeskultur, in Flurbereinigung und Landesplanung verantwortlichen Tätigen müssen in der Lage sein, Bodenkarten selbständig lesen und für ihre spezielle Fachrichtung auswerten zu können.

Es ist demnach erforderlich, Karten herzustellen, die leicht lesbar und gut verständlich sind und die für alle Maßstäbe und Verwendungszwecke eine gleichartige Darstellung und eine einheitliche Symbolgebung besitzen. Wir haben in Nordrhein-Westfalen versucht, ein derartiges System zu entwickeln, nachdem Beispielskartierungen aus allen Teilen des Landes vorgelegen haben. Bevor die erste Bodenkarte i.M. 1 : 25 000 für den Druck vorbereitet worden ist, sollten der generelle Aufbau und die Darstellungsmethode für alle 280 Meßtischblätter des Landes in ihren Grundzügen klargestellt sein.

Der große Rahmen für den Aufbau der Bodenkarten ist von der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (1965) umrissen und in der Kartieranleitung

⁺⁾ Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld, Westwall 124.

festgelegt worden. Der speziell für Nordrhein-Westfalen beschrittene Weg soll hier kurz erläutert werden.

2. Bildung und Abgrenzung der Bodeneinheiten

Im Mittelpunkt der auf den Bodenkarten ausgegrenzten Flächen steht der Begriff der Bodeneinheit. Böden, deren systematische Stellung, Bodenart, Bodenartenschichtung und Ausgangsgestein gleich oder ähnlich sind, werden zu Bodeneinheiten zusammengefaßt. Sie umfassen in der Regel eine oder mehrere Bodenformen, die nach Mückenhausen (1962) als Kombinationen einer beliebigen bodensystematischen Kategorie mit lithogenen Merkmalen, also mit Bodenart und Ausgangsgestein, aufgefaßt werden.

Die systematische Stellung, bis zu der Bodeneinheiten auf den Bodenkarten 1: 25 000 gegliedert werden können, wird teilweise nur bis zu den Bodentypen als den Grundgestalten der Bödenbildung erfolgen können, in der Regel jedoch bis zur Kategorie der Subtypen als den qualitativen Abwandlungen der Typen. Dazu werden gerechnet

- a) der sog. Normaltyp, d.h. der Boden mit der typischen Horizontfolge,
- b) Abweichungen vom Normaltyp, d.h. Böden, die bei gleichbleibender Horizontfolge besondere Merkmale aufweisen,
- c) Übergangsformen zu anderen Typen, das sind Böden, bei denen Merkmale anderer Typen zu denen des Normaltyps hinzukommen.

Durch diese Unterteilung werden die Bodeneinheiten hinsichtlich ihrer typologischen Stellung eindeutig gekennzeichnet. Eine großräumige Vergleichbarkeit wird durch die Gliederungsmerkmale der Bodentypen gewährleistet, die in der Kartieranleitung der Geologischen Landesämter beschrieben sind. Die meisten Typen sind hier bereits behandelt und bis zur Stufe des Subtyps gegliedert. Mit der weiteren Untergliederung und mit der Bearbeitung der noch fehlenden Bodentypen befaßt sich die Kartierkommission der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde bei den Geologischen Landesämtern.

Das zweite wesentliche Moment für die Erfassung der Bodeneinheiten ist die Bodenart. Diese wird im Gelände mit der Fingerprobe bestimmt und nach dem Bodenarten-Diagramm einer Hauptbodenartengruppe zugeordnet. In Nordrhein-Westfalen hat sich - in Anlehnung an die Bodenschätzung - für die Zwecke der Darstellung eine Gliederung in acht Hauptbodenartengruppen bewährt, die auf Grund der Auswertung zahlreicher Korngrößenanalysen und Fingerprobestests erarbeitet worden ist.

2.1 Symbolgebung

Die Symbole für die Bodeneinheiten sind aus verschiedenen "sprechenden" Symbolgliedern zusammengesetzt, die stets in der gleichen Reihenfolge aufgeführt werden und die Bodentyp, Bodenart und besondere Merkmale kennzeichnen. Durch einen Großbuchstaben wird die bodentypologische Stellung zum Ausdruck gebracht, wie z.B. B = Braunerde, L = Parabraunerde, P = Podsol, S = Pseudogley. Vorangestellte Kleinbuchstaben charakterisieren die Übergangsformen zu anderen Typen, wie z.B. gB = Gley-Braunerde, pS = Podsol-Pseudogley oder IG = Parabraunerde-Gley. Die bei der Kartierung festgestellten Bodenarten werden in acht Hauptbodenartengruppen zusammengefaßt und mit arabischen Zahlen bezeichnet, wobei die Ziffer 1 Tonböden darstellt und die Ziffer 8 Sandböden. Das Symbol gL4 würde z.B. bedeuten: Gley-Parabraunerde aus sandigem Lehm oder bG7: Braunerde-Gley aus lehmigem Sand.

Durch diese Kombination von Groß- und Kleinbuchstaben für die bodentypologische Stellung mit Ziffern für die Bodenart wird es möglich Bodentyp und Bodenart zusammenzufassen und mit einem Symbol für die Bodeneinheit zu kennzeichnen. Damit ist der große Rahmen für die einheitliche Ansprache und Darstellung aller Bodeneinheiten des Landes gegeben, und die früher übliche getrennte Darstellung von Bodentypen- und Bodenartenkarten ist nicht mehr erforderlich,

Unsere Symbole für die Bodeneinheiten sind in etwa zu vergleichen mit den Horizontsymbolen, die ebenfalls ein Hauptsymbol mit einem

Großbuchstaben für die allgemeine Kennzeichnung des Horizonts besitzen und ggf. ein Zusatzsymbol mit einem Kleinbuchstaben für die detaillierte typologische Ansprache. Durch zusätzliche Ziffern kann bei den Horizontsymbolen eine weitere Unterteilung vorgenommen werden. Analog dazu können auch die Symbole der Bodeneinheiten durch eine oder mehrere klein geschriebene Ziffern weiter gegliedert werden, um besondere Merkmale oder Eigenschaften des Bodens zum Ausdruck zu bringen. Dazu gehören z.B. die Bodenartenschichtung, die Mächtigkeit einer Löß- oder Hochflutlehmdecke über dem Untergrund oder die Stärke des humosen Oberbodens.

2.2. Darstellung

Die generell festgelegte Symbolgebung für die einzelnen Bodeneinheiten gestattet auch eine einheitliche Darstellung auf den Karten verschiedener Maßstäbe. Farbgebung und Symbol der Bodeneinheit sollen unmittelbar den bodentypologischen und bodenartigen Gesamtcharakter der ausgegrenzten Fläche erkennen lassen. Die zurücktretenden, weniger wichtigen Bodeneigenschaften können in der farblichen Darstellung nicht berücksichtigt werden; sie kommen nur in den nachgestellten kleinen Ziffern der Symbole zum Ausdruck.

Die Grundfarben für die Darstellung der Bodeneinheiten kennzeichnen die bodentypologische Stellung und sind nach einem Farbschemas verbindlich festgelegt. Auch für den Druck von bodenkundlichen Spezial- und Übersichtskarten beim Landesvermessungsamt in Bad Godesberg wird diese Farbtafel verwendet, so daß die gleiche Darstellung auf allen Bodenkarten des Landes gewährleistet ist.

Die verschiedenen Bodentypen sind in der Farbtafel einzeln aufgeführt. Die Farbtiefe wird jeweils nach der vorliegenden Bodenart variiert, indem bindige Böden mit dunklen Farben und leichte Böden mit helleren Farbtönen dargestellt werden. Außerdem wird durch eine Aufrasterung der Farben für bestimmte Bodeneinheiten die Mächtigkeit der oberen Bodenart über dem Untergrund zum Ausdruck gebracht. Zur Kennzeichnung der Übergänge zu anderen Bodentypen werden dünne farbige Schraffen verwendet, damit z.B. Braunerden von Gley-Braunerden, Podsole von Pseudogley-Podsolen oder Gleye von Naßgleyen leicht unterschieden werden können. Die Zeichen für Grundwasser, Staunässe

oder Grundwasserablenkungen werden getrennt von den Bodeneinheiten dargestellt.

2.3 Randaufstellung

Die Anordnung der Legende auf den Bodenkarten 1: 25 000 erfolgt nach einheitlichen Gesichtspunkten. Auf der linken Seite werden jeweils die terrestrischen Böden, auf der rechten Seite die semiterrestrischen nach der durch die Systematik gegebenen Reihenfolge aufgeführt. Dabei werden die verschiedenen Bodeneinheiten nach ihrer systematischen Stellung und nach dem geologischen Substrat geordnet. So können z.B. bei den Parabraunerden die Böden aus Löß und Hochflutablagerungen, bei den Pseudogleyen die Böden aus Geschiebelehm und paläozoischen Gesteinen zu Gruppen zusammengefaßt werden. Innerhalb dieser Gruppen werden die Böden nach der Mächtigkeit der oberen Bodenart geordnet. Zuerst werden die Normaltypen aufgeführt und dann die durch Podsolierung, Staunässe oder Grundwasser beeinflussten Bodeneinheiten. Bei Auenböden und Gleyen werden die Böden möglichst nach ihrer Bindigkeit gegliedert.

Die Bodenartenschichtung wird unter den Farbkästchen in vollem Text vermerkt. Auf die Wiedergabe von bodenartlichen Abkürzungen in der Karte ist verzichtet worden, weil mit jeder Änderung der Bodenart auch eine neue Bodeneinheit entsteht, die ohnedies in der Legende aufgeführt wird.

3. Zusammenfassung

Auf den Bodenkarten des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen werden "sprechende" Symbole für die Darstellung der Bodeneinheiten verwendet. Mit Buchstaben und Ziffern werden bodensystematische Stellung, Bodenart und besondere Bodenmerkmale oder -eigenschaften gekennzeichnet. Die Kombination von verbindlich festgelegten Symbolteilen mit beliebig zu verwendenden Ziffern ermöglicht es, die heute noch unübersehbare Formenfülle der Böden eines Landes zu erfassen und nach einheitlichen Gesichtspunkten in Karte und Legende darzustellen.

Literatur

Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde:

Die Bodenkarte 1 : 25 000: Anleitung und Richtlinien zu ihrer Herstellung. - Hannover 1965

Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. - Frankfurt am Main 1962

Ostendorf, E.: Grundlage und Methode neuzeitlicher Bodenaufnahme. - Oldenburg 1945

Bodenbildung und Sedimentation im Ruhr- und Indetal von Jörg Schlich⁺⁾

Das Referat behandelt die Ergebnisse der bodenkundlichen und geologischen Aufnahme des Ruhr- und Indetales im Bereich der Meßtischblätter Düren (Nr. 5104), Jülich (Nr. 5004) und Linnich (Nr. 5003). Die reiche Auswahl an interessanten bodenkundlichen und geologischen Profilen bot dort die Möglichkeit einer Gliederung der im Postglazial abgelagerten Auenlehmdecken und Schotter. In diesem Zusammenhang muß auch auf die zahlreichen prähistorischen und historischen Funde und Kulturgerölle in den holozänen Ablagerungen hingewiesen werden, da deren Vorhandensein die stratigraphische Gliederung wesentlich erleichterte und zum Teil erst ermöglichte.

Die morphologisch-geologische Gliederung des Arbeitsgebietes umfaßt mehrere Talstufen, die durch den wiederholten Wechsel von fluvialer Aufschüttung und Tiefenerosion, verbunden mit tektonischen Bewegungen, entstanden sind. Die Begrenzung der Talauen bilden erstens die Hauptterrasse von Rhein und Maas und zweitens die nur wenige Meter über dem Talniveau liegende Untere Mittelterrasse von Rur und Inde. Die Niederterrasse entstand in einem ausgedehnten Erosionstal, das sich in die Hauptterrasse, die Untere Mittelterrasse und in den tertiären Untergrund eingeschnitten hat. Die heutigen Talauen haben sich nur wenig in die Niederterrasse eingetieft; sie sind mit Hochflutablagerungen erfüllt, die meist mit Schottern und Sanden beginnen und in Auenlehme übergehen.

Die Auenlehmdecken lassen sich drei verschiedenen Hauptakkumulationszyklen zuordnen. Diesen entsprechen in zeitlicher Reihenfolge Alte Auenlehme, Junge Auenlehme und Jüngste Auenlehme, wobei jede Akkumulation generell mit Kiesen und Sanden beginnt und mit der Bildung von

+) Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld,
Westwall 124

Auenlehm endet. Das zeigt die talgeschichtliche Entwicklung, welche sich seit Beginn der Niederterrassenablagerung folgendermaßen umreißen läßt:

Die Aufschotterung der Niederterrasse ist im Hochglazial des Jungwürms endgültig abgeschlossen. Während und nach der Ablagerung des jüngeren Würmlösses kommt es in den Talbereichen zur Erosion, wobei auch Teile der Niederterrasse abgetragen werden. Danach, an der Wende Pleistozän-Holozän, werden die Alten Auenlehme und ihre Basisschotter abgelagert. Der karbonatfreie tonige Auenlehm von max. 2, 5 m Mächtigkeit überlagert mit allmählichem Übergang zu den Basisschottern auch die Niederterrasse.

In den Randbereichen des Rurtales ist der Alte Auenlehm petrographisch durch Schwemmlöß vertreten.

Die Ablagerung dieser Hochflutbildungen verklingt wahrscheinlich im beginnenden Holozän, da bereits Artefakte des Mesolithikums auf diesen Ablagerungen vorkommen. Während mesolithische Funde vergleichsweise selten sind, erreicht die menschliche Besiedlung bereits im Neolithikum, und später in römischer Zeit erste Höhepunkte.

Vor der Akkumulation der nächst jüngeren Auenlehme und ihrer Basisschotter kommt es in allen Talbereichen zu einer ausgedehnten Phase der Tiefenerosion, wobei ein großer Teil der in Verwitterung befindlichen Alten Auenlehme, Schwemmlöse und Teile der Niederterrasse abgetragen wird.

Die Oberfläche der Talauen wird in diesem Zeitraum stellenweise um 3-4 m tiefer gelegt. Vermutlich erst im feuchteren Klima des Subatlantikums kommt es zur Ablagerung der Basisschotter des Jungen Auenlehms.

Im mittleren bis oberen Bereich dieser Schotter treten Ziegelgerölle auf, die überwiegend römischen Ursprungs sind. Frühmittelalterliche Ziegelgerölle sind vereinzelt an der Oberkante der Schotter zu finden, so daß ihre Ablagerung stellenweise bis ins 12. bis 13. Jahrhundert angedauert hat.

Die Bildung der jüngsten Auenlehme ist eine Folge der römischen und frühmittelalterlichen Rodungen. Die Hauptmasse dieser Auenlehme dürfte zwischen dem 9. bis 14. Jahrhundert abgelagert worden sein und besteht größtenteils aus umgelagertem Lößlehm.

Während im Unterlauf der Rur die Ablagerung des jungen Auenlehms in geringem Umfang heute noch anhält, kommt es in der Talmitte des Rur- und Indetales südlich von Linnich zu einer erneuten Erosion, die sich zeitlich noch nicht genau fassen läßt. Die dazu führende Ursache mag in den örtlich stärkeren tektonischen Bewegungen zu suchen sein. Nach der Erosion und zum Teil mit ihr bilden sich Basisschotter, die Kulturgerölle des 19. Jhd. und Schlacken der an der oberen Inde verbreiteten Zinkhütten enthalten. Die Schotter gehen im Indetal und stellenweise auch im Rurtal in lehmig-schluffige bis sandig-lehmige Bildungen über, die als jüngste Auenlehme bezeichnet werden.

Für die Dynamik und Profilausprägung der im Rur- und Indetal verbreiteten Böden sind die Höhenlage und das Alter der Auenlehmedecken von entscheidendem Einfluß. Verbraunung, Lessivierung, Pseudovergleyung und Vergleyung nehmen mit der Höhenlage und dem Alter der Tonablagerungen zu.

Im Bereich der untersten Talstufe treten Auenböden und Auengleye auf, die in jüngster Zeit durch stark schwankendes Grundwasser und periodische Überflutungen entstanden sind. Bodenbildung und Sedimentation laufen dort nebeneinander, sobald es zur Ablagerung von Sand, Kies und Ton kommt.

Die höher gelegenen Talstufen werden nicht mehr überflutet. Die dort verbreiteten Böden sind aus jungem und zum Teil altem Auenlehm entstanden. Sie sind aus den verschiedenen Auenböden hervorgegangen, aber während eines jahrhundert- und z.T. jahrtausendandauernden, im wesentlichen ungestörten Bodenbildungsprozesses gänzlich überprägt worden. Hier liegen Gleye und Übergangsbildungen zwischen rein terrestrischen und semiterrestrischen Böden vor.



Tonverlagerung in Flußablagerungen verschiedener Art von de Bakker-Wageningen ⁺⁾

Naturgemäß kann nur in Böden, die sich aus tonigem Ausgangsmaterial entwickelt haben, Tonverlagerung auftreten. Weiter herrscht in der Literatur allgemein Übereinstimmung über die Tatsache, daß die Bodenbildung eine ausreichend lange Zeit angedauert haben muß, bevor Tonverarmung im Oberboden und Tonanreicherung im Unterboden deutlich festzustellen sind. Die Andeutung "eine ausreichend lange Zeit" scheint sich genauer angeben zu lassen als "mindestens pleistozänes Alter".

Ausgangsmaterial von pleistozänem Alter kommt in den Niederlanden viel vor, nämlich 40 % der Oberfläche unseres Landes. Die Bodenart dieser Böden ist jedoch nahezu ausschließlich Sand oder schluffiger Sand. Die Böden, die hieraus entstanden sind, sind demzufolge Podsole. Lediglich 3,5 % der niederländischen Böden haben toniges Ausgangsmaterial von pleistozänem Alter, worauf ich noch eingehen werde.

Beinahe 40 % von Holland bestehen aus tonigen Böden holozänen Alters, nämlich die Marschböden in den Poldern und die Auenböden in den Flußgebieten. Die beginnende Bodenbildung in diesem meist jung-holozänen Material hat schon lange die Aufmerksamkeit der niederländischen Bodenkundler gehabt. Studien über Tonverlagerung fehlen bisher nahezu. Dieses kann durch das Interesse erklärt werden, das auf die relativ große Fläche holozäner Tonböden gerichtet war. Das vertraute Wohn- und Arbeitsmilieu der meisten Holländer - das Poldergebiet unter dem Meeresspiegel - bestimmte lange Zeit auch das vertraute Studienmilieu vieler niederländischer Bodenkundler.

Tonverlagerung ist in den Niederlanden am deutlichsten in Böden sichtbar, die aus Löß entstanden sind. Dieses Ausgangsmaterial bedeckt noch

⁺⁾ H. de Bakker, Stichting voor Bodenkarteing, Boverweg 7.
Bennekew, Holland

keine 2 % der Oberfläche der Niederlande und kommt nahezu ausschließlich in Südlimburg vor. Bei ausreichender Mächtigkeit der Lößschicht und bei flacher Lagerung wird hierin das für Holland klassische Profil mit Tonverlagerung gefunden. Folgt man dem System der Kommission für Bodensystematik der D.B.G., so sollen derartige Böden angesprochen werden als mitteldurchschlämmte, basenreichere Parabraunerden, entstanden aus Würm-Löß (Mückenhausen, 1962). Gegen den Hintergrund von diesem Profil werden vier Böden auf Maasterrassen verschiedenen Alters gestellt; der jüngste ist ungefähr 100 Jahre alt, der zweite ist aus römischer Zeit, der dritte hat Alleröd-Alter und der älteste ist Frühglazial oder älter (Maarleveld and Van den Broek, 1964). Sie wurden näher studiert und mikromorphologisch von Jongerius untersucht. Hierbei zeigt sich, daß mit dem Alter des Ausgangsmaterials ein Unterschied in der Bodenentwicklung parallel geht. Das erste Profil ist ein Auenrohboden, das zweite ein brauner Auenboden, das dritte eine Parabraunerde und das letzte kann vielleicht Fahlerde oder Red Yellow Podzolic genannt werden. Der rote Faden, der diese vier Profile verbindet kann Chronosequenz genannt werden.

Der Lößboden und die vier Terrassenböden sind gezeigt worden während Exkursion B und F nach Limburg (Südniederlande) als Profil 1 - 5 (mitt. deutsch. bodenk. Ges, 1965). In diesem Exkursionsführer sind sie erläutert und diskutiert.

In den Lößböden kommt der kalkreiche, unveränderte Löß in einer Tiefe von 2,70 m vor. Die Entbasung ist noch nicht so tief gegangen; die Auflösung (das Verschwinden) der ursprünglichen Feinschichtung unter Einfluß der Vegetation und Bodenfauna ist bis in den B₃-Horizont fortgeschritten. Dieser Prozeß wird in den Niederlanden Homogenisation genannt.

Die Tonverlagerung im Lößboden zeigt sich zu allererst im Verlauf der Tongehalte, nämlich mehr als 2 mal so hoch im B-Horizont als in der Ackerkrume. Löß ist ein sehr gleichförmiges Ausgangsmaterial, so daß diese Unterschiede einem Ein- und Ausschlämmen zugeschrieben werden dürfen. Im B-Horizont sind mit unbewaffnetem Auge deutlich Auffüllungen von Poren und Bekleidungen der Wände der Strukturelemente mit rötlichbraunem Material zu sehen; diese Einschlämmung von Ton

ist mikromorphologisch sehr deutlich. Die meisten Risse haben Leitbahne mit eingespülter Tonsubstanz. Es gibt weiter Poren worin keine eingespülte Substanz zu sehen ist, auch Poren mit einer sehr dünnen Bekleidung mit Ton, und Poren die nahezu gefüllt sind. Dazu kommen offenbar zugedrückte Poren mit deshalb gestörten Tonhäutchen vor. Das ganze Bild weist auf eine aktuelle Tonwanderung.

Als Vertreter eines ganz jungen Stadiums der Bodenbildung sei der sogenannte Kohlenschlick als Beispiel gewählt. In diesem Kalkauenrohboden fehlt jede Spur von orientierten Tonmineralen.

Als zweite Stufe in der Chronosequenz ist ein Boden aufgenommen, der im Hochflutlehm der Maas aus römischer Zeit entwickelt ist. Für das Feststellen einer möglichen Tonverlagerung eignet sich die Korngrößenverteilung in alluvialen Böden schlecht. Es sind zu viele Umstände wodurch Unterschiede in Tongehalt schon während die Ablagerung entstanden sein können, daß das Verhalten des Tongehaltes ein schlechtes Merkmal für diesen Zweck ist. Der Unterschied zwischen Oberboden und Unterboden ist gewiß nicht durch Bodenbildung verursacht, sondern durch Unterschiede des zugeführten Materials während der Aufschlickung. In Dünschliffen ist etwas doppelbrechendes Plasma zu sehen, jedoch bei weitem nicht in dem Maße, wie bei der Parabraunerde aus Löß. Der wichtigste Unterschied hiermit ist der Grad der Einschlämmung, das heißt die Menge der eingespülten Tonsubstanz. Ein großer Teil der Poren hat keine doppelbrechende Substanz, und dichtgedrückte aufgefüllte Poren sind beinahe nicht anwesend. Die Menge ist unserer Ansicht nach zu wenig, um es in der Klassifikation zum Ausdruck zu bringen. Das Profil kann somit ein autochthoner brauner Auenboden genannt werden.

Als dritter Punkt in die Chronosequenz ist ein typischer Vertreter eines Bodens mit Tonverlagerung in altem Hochflutlehm aufgenommen worden. Nach der geomorphologischen Untersuchung von Maarleveld (Van den Broek and Maarleveld, 1964) ist die Terrasse, worauf dieser Boden gefunden wird, aus der Alleröd-Zeit oder etwas früher. Auch hier ist es möglich zu bezweifeln, ob die Differenzierung der Tongehalte einer Tonverlagerung zuzuschreiben ist. Das mikromorphologische Bild aus etwa 60 cm Tiefe läßt jedoch hierüber keine Zweifel zu. Das Bild ist, abgesehen von den etwas gröberen Sandkörnern, fast identisch mit dem

aus dem B-Horizont der Löß-Parabraunerde. Auch hier sind Risse, die eine deutliche Füllung mit Feinsubstanz haben, und die meisten Poren zeigen Einspülungserscheinungen und das früher beschriebene Bild der dichtgedrückte Poren ist auch da. Wir wollen auch dieses Profil als Parabraunerde bezeichnen. Diese Böden werden in den Niederlanden auf pleistänen tonigen Maas- und Rheinablagerungen gefunden, soweit es Böden sind, die hoch über dem Grundwasser liegen; sie umfassen noch nicht einmal 1 % der holländischen Böden.

Das letzte Profil dieser Reihe kommt auf einer Terrasse vor, die erheblich älter als die Terrasse mit dem vorigen Profil ist. Nach Maarleveld ist sie jünger als Frühwürm und älter als das Bölling-Interstadial, doch ein Teil kann Eem-Alter haben, und zwar besonders im Süden von Roermond.

An den meisten Stellen ist sie sehr sandig entwickelt, es kommen dann Podsol-Braunerden oder Podsol-Parabraunerden mit mehreren B-Bändern im sandigen Substrat vor.

Das Profil am Exkursionspunkt 5 kommt auf den etwas toniger entwickelten Teilen dieser Terrasse vor. Das Auffallendste in diesem Profil ist die rote Farbe in dem schweren Mittelteil des Bodens, nach Munsell's Farbrabellen kommen hier Farben von 6 bis 8 vor. Diese Schicht hat eine merkwürdige Struktur, die am besten beschrieben werden kann als schwach entwickelte, große unregelmäßige Prismen, die innen stark porös sind und eine Art kantiges Krümelgefüge haben. Aus der Untersuchung von Dünnschliffen aus diesem Horizont zeigt sich, daß - neben ausgesprochenen Einschlammungserscheinungen - die Matrix zwischen den Sandkörnern eine erdige Mikrostruktur hat.

Es ist merkwürdig, daß an vielen Stellen darin einige größere und sehr viele äußerst kleine Felder zu beobachten sind, die aufleuchten in polarisiertem Licht. Dieses Gefüge sieht aus als ob einmal ein großer Teil aufleuchtend war und später umgewandelt worden ist. Es ist deutlich, daß Tonverlagerung stattgefunden hat, und daß dieser Boden als stark durchschlammter Boden vermerkt werden muß. Ob er noch als Parabraunerde oder als Fahlerde bezeichnet werden muß, ist nicht ganz klar. Die Kieselsäure/Sesquioxyd-Verhältnisse eines Profiles aus der Umgebung weisen in der Richtung einer Fahlerde. Auf jeden Fall ist klar, daß dieses Profil in dieser Reihe nicht nur geologisch, sondern auch bodenkundlich als das älteste angesehen werden muß.

Bis jetzt ist die holländische Nomenklatur und Klassifikation ausgelassen. Dieses wird noch kurz erörtert. In den letzten Jahren haben wir eine neue Bodensystematik entwickelt (De Bakker, 1965) und auch eine zum größten Teil neue Nomenklatur aufgebracht. Wir unterscheiden fünf Hauptklassen, und zwar :

Veengronden - Moorböden (Fenne, Fehn)

Podzolgronden - Podsole

Brikgronden - Parabraunerden (terres à briques, Ziegel)

Eerdgronden - Böden mit dunkel gefärbtem Al-Horizont
(Erde ist aarde, aber gewestlich eerd für humose Oberboden).

Vaaggronden - Böden mit schwach entwickeltem Al-Horizont.
(Vaag ist unbestimmt, vag) Es sind Böden ohne deutliche Bodenbildung, d.h. ohne oder mit schwacher Podsolierung oder Tonverlagerung.

Die Klassifikation der fünf Böden aus dieser Chronsequenz ist im Exkursionsführer behandelt (Mitt.d.bodenkundl.Gesellschaft 1965).

Literatur

- Bakker, H. de : Nieuwe bodemkundige terminologie.
Tijdschrift der Kon. Ned. Heidemaatschappij 76, 1965, 118 - 131
- Broek, J.M.M. and
Maarleveld, G.C.: The late-pleistocene Terrace deposits
of the Meuse.
Meded. Geol. Stichting Nieuwe Serie
No. 16, 1964, 13 - 24
- Mitt. deutsch. bodenkundl. Ges.:
Tonverlagerung in Böden. Exkursion B
und F. Mitt. d.b.G. Band 3, S. 27-40,
Göttingen 1965
- Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik
der Böden der Bundesrepublik Deutschland.
Frankfurt, 1962

Austauschbare Kationen und Dispersität von Tonen

von U. Schwertmann ⁺⁾

Außer der Art und Konzentration der Elektrolyte in der Bodenlösung beeinflussen vor allem die austauschbaren Kationen Ca, H und Al die Dispersität und damit die Mobilität der Tonteilchen bei der Lessivierung. Dieser Einfluß wurde an 2 Montmorilloniten und 2 Böden ermittelt. Als Maß diente die Aggregation einer zu mehr als 90 % aus Teilchen $< 0.2 \mu$ bestehenden Na-Tonsuspension nach verschiedener Behandlung.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

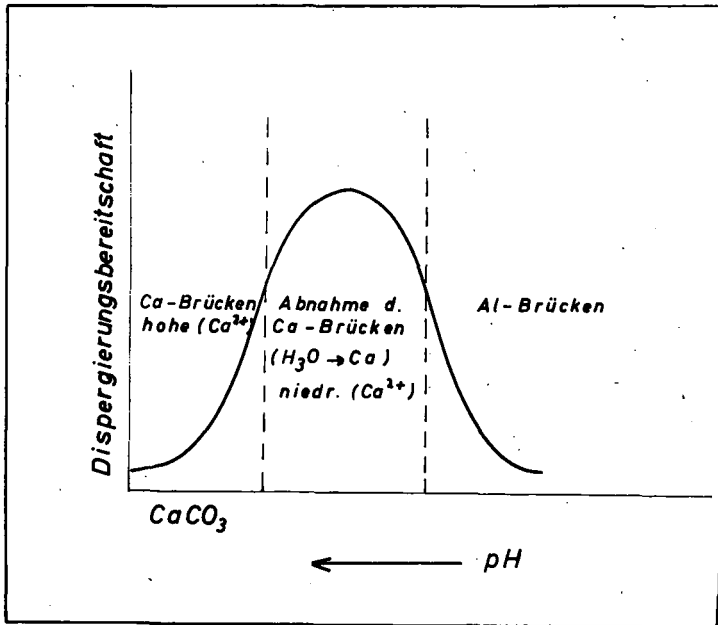
1. Die durch $AlCl_3$ -Behandlung Al-gesättigten und bis auf Cl-Freiheit ausgewaschenen Proben waren in erheblichem Maße aggregiert (100; 100; 95 bzw. 61 % $> 0.2 \mu$ bei den Montmorilloniten bzw. 2 Bodentonen).
2. H-Sättigung durch Behandlung der 0,2 %-igen Suspension mit H-Harz führte weder sofort nach der Behandlung noch nach 4tägigen Altern bei Zimmertemperatur und bei 80°C zur Aggregation, obwohl die Proben nach der Alterung z.T. über 85 % Al-gesättigt waren.
3. Bei konzentrierter Suspension (2-4 %) aggregierte der Ton nach 4-tägiger Alterung bei 80° C dagegen bei allen 4 Proben deutlich (79 - 92 % $> 0.2 \mu$). Die Austauschkapazität wurde verringert, was auf Bildung von nichtaustauschbaren polymeren Al-hydroxykationen schließen läßt.
4. Ca-Sättigung führt ebenfalls zu einer Aggregation, die durch H-Harz-Behandlung z.T. rückgängig gemacht wird.

Es wird vermutet, daß die beschriebene Aggregation vor allem durch Bildung von Brücken über sorbierte Kationen, also über elektrostati-

+) Institut für Bodenkunde der Technischen Universität Berlin, 1 Berlin 33, Königin-Luise-Straße 22

sche Kräfte zustande kommt (A. Weiss), zu der insbesondere die polyvalenten Al-OH-Polymere befähigt zu sein scheinen. Ein Modell wird gegeben, das außer einem Flächen-Flächen-Kontakt auch einen Flächen-Kanten-Kontakt vorstellbar macht.

Auf die Abhängigkeit der Intensität der Tonverlagerung in Parabraun-erden vom pH angewandt, lassen sich diese Vorstellungen wie folgt grob-schematisch darstellen:



Hiermit ist die Beobachtung im Einklang, daß die Tonverlagerung meist erst dann einsetzt, wenn die Carbonate ausgewaschen sind, und zum Stillstand kommt (bzw. garnicht erst erfolgt), wenn das Substrat stärker versauert ist.

Die Verlagerung von Sesquioxiden in Parabraunerden, Podsolen und Sauren Braunerden

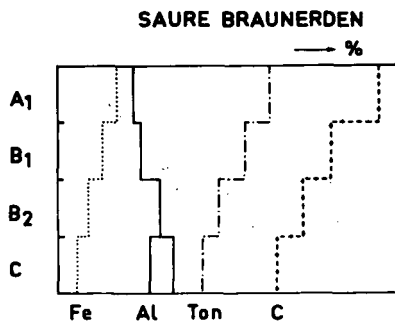
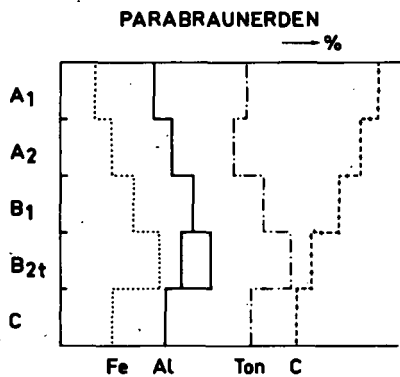
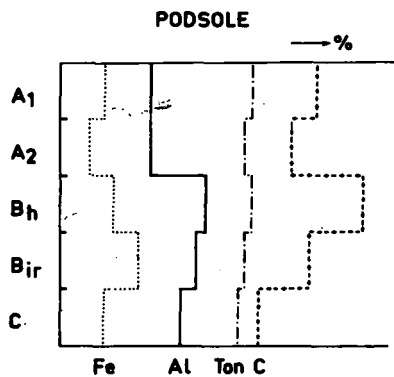
von J. van Schuylenborgh

Ein großer Teil der Oberfläche des Diluviums in Holland wird eingenommen von praeglazialen und glazialen Sanden, Flußlehmen und Lößlehm. Podsole (und Braune Podsolige Böden) und Saure Braunerden sind die wichtigsten Böden der Sande unter Verhältnissen freier Drainage; die Podsole auf Sanden mit einem Tongehalt von 2% oder weniger und die Sauren Braunerden auf Sanden mit einem Tongehalt von 2% bis 4 oder 5 %. Die Parabraunerden sind die wichtigsten Böden der Fluß- und Lößlehme unter oxydativen Verhältnissen.

Hinsichtlich der Verlagerung einiger Bodenkonstituenten verhalten die Podsole und Parabraunerden sich in gewisser Masse ähnlich; die Sauren Braunerden aber zeigen eine ganz andere Verteilung, wie die untenstehenden schematischen Blockdiagramme veranschaulichen. Dieselbe Verteilung von Sesquioxiden trifft auch zu innerhalb der Tonfraktion und zwar in den der Podsolen noch ausgeprägter, in den der Parabraunerden weniger ausgeprägt und in den der Sauren Braunerden gleich stark.

Die Verteilung des freien Eisens ist ganz ähnlich wie die des totalen Eisens. Das Ton freie Eisen Verhältnis ist innerhalb der Profile nur selten konstant, aber ist konstant in den B-Horizonten der Sauren Braunerden.

Schließlich muß noch bemerkt werden, daß Pape (1965) dieselbe Verteilung des Aluminiums fand, wie oben angegeben in den Diagrammen, als er das Gehalt an in 10%iger HCl löslichem Al bestimmte.



Man kann aus diesen Darstellungen schließen, daß die Al-, Fe-, und Ton-Verlagerungen nicht unbedingt mit einander verknüpft sind, aber auch unabhängig von einander stattfinden können. Auch die Zusammenhänge zwischen der organischen Substanz- und Sesquioxid-Verteilung sind undeutlich (Van Schuylenborgh, 1962, 1964).

Die Verlagerung der Sesquioxide kann nicht erklärt werden aus den Löslichkeiten der durch Hydrolyse aus den primären Mineralen freigesetzten Fe- und Al-Hydroxide (Van Schuylenborgh und Bruggenwert, 1965). Die Löslichkeit der Fe-Hydroxide ist viel zu gering um eine so weitgehende Verlagerung zu verursachen, wie in den Podsolen und Parabraunerden der Fall ist. Dagegen ist die Löslichkeit vom Al-Hydroxide so groß, daß hier nach Bodenkonstituenten gesucht werden muß, die das Al weniger löslich machen. Wir haben daher versucht eine mögliche Erklärung für die oben erwähnten Eigentümlichkeiten in der Verteilung der Sesquioxide dadurch zu finden, daß wir die organischen Bodenbestandteile in Betracht nahmen (was bereits viele Autoren getan haben), uns dabei basierend auf der Meinung Gallaghers (1942/43), daß die einfachen Abbauprodukte der den Böden zugeführten organischen Substanzen verantwortlich sind für die Verlagerung und Akkumulation der Sesquioxide. Uns scheint dieser Gedanke sehr fruchtbar, obwohl wir keine endgültigen Beweise dafür haben.

Wir untersuchten die Reaktion von drei Säuren mit Eisen und Aluminium. Die Säuren waren p-Hydroxy-Benzoesäure (H_2A), Glukuronsäure und Asparaginsäure (H_2B), welche als mögliche Abbauprodukte resp. der Lignine, der Kohlenhydrate, und der Proteine bekannt sind und auch in Bodenextrakten nachgewiesen sind. Natürlich sind diese Säuren nur während kurzer Zeit existenzfähig aber sie können doch einen bestimmten Einfluß haben auf die Verlagerung der Sesquioxide (und Tone), weil sie immer wieder erneut aus den frischen organischen Substanzen gebildet werden.

Aus den Experimenten ergab sich, daß das Eisen mit H_2A zwei lösliche Komplexe bildet: FeA^+ und $FeOHA$. Die Stabilitätskonstanten (definiert als: $\frac{a_{FeA}}{a_{Fe} a_A}$ und $\frac{a_{FeOHA}}{a_{FeOH} a_A}$) sind, resp.: 0.26×10^{13} und $0.27 \times$

10^{12} mol^{-1} . Aluminium dagegen bildet eine schwer lösliche Verbindung:

AlOHA. Das Löslichkeitsprodukt ($a_{Al^3+} a_{OH^-}^3$) ist: $0.15 \times 10^{-20} \text{ mol}^4 \text{ l}^{-3}$
(Van Schuylenborgh und Bruggenwert, 1965).

Glukuronsäure bildet kaum Komplexe, während Asparginsäure sowohl mit Fe als mit Al schwer lösliche Verbindungen bilden. Sie haben die Zusammensetzung FeOHE und AlOHB und die Löslichkeitsprodukte sind resp.:

0.22×10^{-23} und $0.41 \times 10^{-22} \text{ mol}^4 \text{ l}^{-3}$.

Die Resultate zeigen, daß die Säuren sich hinsichtlich Fe und Al sehr verschieden verhalten und daß wir hier vielleicht ein Mittel haben um die unterschiedenen Beweglichkeiten der Sesquioxide in den Böden verständlich zu machen.

Die Stabilitätskonstanten der FeA^+ und $FeOHA$ sind groß genug um eine weitgehende Entfernung des Eisens aus den A-Horizonten der Podsole und Parabraunerden zu bewirken. Bei pH 4 ist zum Beispiel $0.15 \times 10^{-4} \text{ mol Fe/l}$ in Lösung, wenn Fe-Hydroxid in Gleichgewicht ist mit H_2A einer Konzentration von 10^{-4} mol/l , während nur $0.56 \times 10^{-6} \text{ mol Fe/l}$ in Lösung sein würde, wenn Fe-Hydroxid in Gleichgewicht ist mit HCl 10^{-4} mol/l . Bei pH 5 sind die Zahlen resp. $0.43 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ und $0.14 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ (Van Schuylenborgh und Bruggenwert, 1965).

Die Tatsache, daß die Horizonte maximaler Humusakkumulation der Podsole meistens auch die Horizonte maximaler Al-Akkumulation ist, kann verursacht werden durch die Bildung unlöslicher organischer Komplexe, wie dies von p-Hydroxy-Benzoesäure demonstriert wird.

Die Akkumulation der Sesquioxiden in den B-Horizonten der Podsole und Parabraunerden kann verursacht werden durch die höheren pH-Werte dieser Horizonte, wodurch die Eisenkomplexe teilweise hydrolysieren (Scheffer und Ulrich, 1960, S. 191/192) und die Löslichkeit der Al-Komplexe herabgesetzt wird. Auch ist es möglich, daß die Komplexe biologisch abgebaut werden, was selbstverständlich zu einer Ablagerung der Sesquioxide führt. Dies wird der Fall sein in biologisch aktiveren Böden, wie die Parabraunerden.

Die eigentümliche Verteilung der Sesquioxide in den Sauren Braunerden kann erklärt werden, wenn die Löslichkeit der Eisen-Komplexe viel kleiner ist als die der Al-Komplexe, wie demonstriert wird von Asparaginsäure. Es wird eben so sein, daß Al überhaupt nicht gebunden wird von H_2B , weil die Konkurrenz des Eisens groß ist. Die Beweglichkeit des Aluminiums wird dann bestimmt durch die Löslichkeit dessen Hydroxids, Silikats oder anderer Verbindungen.

Man kann die Schlußfolgerung machen, daß die Art der organischen Abbauprodukte von mehr Bedeutung für die Bodenbildung ist als die Vegetation allein. Der Abbaumechanismus wird bestimmt vom Klima und Muttergesteine, während die Vegetation weitgehend bestimmt wird vom Klima wenn Verhältnisse freier Drainage vorliegen.

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund des verschiedenen Verhaltens einiger organischer Säuren mit Eisen und Aluminium wurden Erklärungsmöglichkeiten gegeben für die Verteilung der Sesquioxide in Parabraunerden, Podsolen und Sauren Braunerden.

Literatur

- Gallagher, G.H. 1942/43 The mobile colloidal humus of podzolic soils and its relationships to the process of podzolisation.
Proc. Roy. Irish Acad. 48B, 213-229

- Pape, J.C. 1965 Enige gegevens over humuspodzolen en moderpodzolen (Some data on humus podzols and moder podzols). Boor en Spade XIV, 163-184.
- Scheffer, F. und B. Ullrich 1960 Humus und Humusdüngung. Band I. S. 191/192, Stuttgart.
- Schuylenborgh, J. van 1962 On soil genesis in temperate humid climate. I. Some soil groups in the Netherlands. Neth. J. Agric. Sci. 10, 127-145.
- Schuylenborgh, J. van 1964 On soil genesis in temperate humid climate. III. Some other soil groups. Neth. J. Agric. Sci. 12, 190-203.
- Schuylenborgh, J. van 1965 On soil genesis in temperate humid climate. V. The formation of the "albic" and "spodic" horizon. Neth. J. Agric. Sci. 13, 267-279.
- und M.G.M. Bruggenwert

Synsedimentäre Gefügebildung und Tondurchschlammung

von E. Kopp

Die aus früheren Untersuchungen abgeleiteten Vorstellungen über die synsedimentäre Gefügebildung und Tondurchschlammung und die Genese rheinischer Hochflutlehmböden (KOPP) sollten überprüft werden. In Gefäßen wurde die Sedimentation mit verschiedenen Bodensubstraten nachgeahmt. Es sollte geklärt werden, ob mit der Sedimentation ein stabiles, funktionsfähiges Gefüge von unten nach oben aufwachsen kann. Dabei sollten auch die Tonverlagerungen bei der Perkolation und die Möglichkeiten von Tonverlagerungen und Tonorientierungen bei der Sedimentation untersucht werden.

In den Gefäßen ließ sich bei dünn-schichtigen Sedimentationen das Aufwachsen der an der Basis angelegten Gliederung zu größeren Gefügeeinheiten verfolgen. Diese Aggregate waren stabil. Sie wurden durch häufige Wechsel von periodischen Tauchungen, Überstauungen mit Suspensionen und Wasser nicht beeinträchtigt, sondern konsolidiert. Das Sedimentgefüge konnte auch durch wiederholtes Einfrieren und Auftauen nicht zerstört werden.

Die Gliederungsbereitschaft eines Sedimentes ist wie auch die Stabilität der entstandenen Gefügeeinheiten weitgehend von den petrographischen Charakter und der Art der Sedimentation abhängig. Die Phasen der Sedimentation wie Sinken, Setzen und Schrumpfen bestimmen die spätere Gliederung entscheidend mit. Beim ruhigen Absetzen können als neues diagenetisches Element Tonanreicherungen mit orientierter Lagerung entstehen.

Die Tonsuspensionen können in gewissem Umfange zu einer Tondurchschlammung der Sedimente beitragen, denn in ihren Perkolaten war immer mehr Ton nachzuweisen, als bei einem Durchlauf von reinem Wasser. Eine Selektion bestimmter Tonminerale fand dabei nicht statt.

Die Tonaufnahme aus Suspensionen durch poröse Körper ist bei einem Saugdruckgefälle anscheinend stets möglich. Aus Bodensuspensionen mit sehr verschiedenen Tonmineralgarnituren und Peptisationsgraden wurden nach mehrmaligen Tauchungen an poröser Schamotte immer Tonanlagerungen erzielt. Diese Tonbeläge waren meistens nur schwach, beim kaolinitischen Material aber besonders stark. Sie ließen sich in jedem Falle durch Röntgen nachweisen. Die Tonmineralgarnituren der Anlagerungen wiesen dabei dem Ausgangsmaterial sehr ähnelnde Diagramme auf, jedoch sind die Möglichkeiten gewisser selektiver Anlagerungen nicht auszuschließen. Die Schamottekörper gaben beim kaolinitischen Material ihrerseits photometrisch meßbare Tonmengen in reines Wasser ab. Die Tonanlagerungen aus allen Suspensionen wiesen im Dünn-
schliff eine mehr oder weniger deutliche Orientierung auf.

Die Vorstellungen über ein synsedimentäres Gefügewachstum und eine gleichzeitige Tondurchschlammung wurde bestätigt. Gefügebildung und Tonorientierung im Hochflutlehm können als Folgen spezifischer Sedimentationsbedingungen angesehen werden. Die Suspendierung und die Sedimentation sind Möglichkeiten zur Neuorientierung und Diagenese mit weitreichenden Einflüssen auf die Bodengenese.

Literatur

- Kopp, E.: Zur Genese der Böden aus Hochflutlehm auf der Niederterrasse im Raum Bonn-Köln-Krefeld. Z. Eiszeitalter und Gegenwart 15, 81 - 91, Öhringen, 1964

Zur Darstellung der Wanderungsfähigkeit und Festlegung von Ionen und Kolloiden in dispersen Systemen

von H. W. Scharpenseel

1 Problem

Radioaktiv markierte Nährstoffionen oder Bodenkolloide, welche dem Startpunkt eines mit Boden ($< 0,2 \text{ mm } \varnothing$) imprägnierten Rundfilterpapierchromatogrammes oder der Startlinie einer mit Boden : Silikagel : Stärke = 13 : 15:2 belegten Dünnschichtplatte aufgetragen werden, vermögen von der gewählten chromatographischen "beweglichen Phase" so weit transportiert und translokalisier zu werden wie es ihre Mobilität im Bodenmaterial, bzw. wie es die Festlegungskapazität des gewählten Bodens für das chromatographierte Nährstoffion oder Bodenkolloid, zulassen.

Die anschließend an die chromatographische Entwicklung durch Autoradiographie auf dem Röntgenfilm sichtbar gemachte Position des markierten Nährstoffions oder Bodenkolloids steht in einem exakten R_f -Verhältnis (Distanz vom Auftragungspunkt bis zur Substanzposition ; Entfernung Auftragungspunkt bis Lösungsmittelfront) zu Startpunkt oder Startlinie und Lösungsmittelfront. Dieser R_f -Wert ist umgekehrt proportional zur Festlegungskapazität des Bodens für das chromatographierte Ion oder Kolloid und liegt zwischen R_f (nahe) 1, der bei Fehlen jeglicher Festlegungskapazität und Waidern der markierten Substanz mit der Lösungsmittelfront erzielt wird, und (nahe) 0, der eine außerordentlich hohe und momentan einsetzende Festlegung anzeigt.

Der Überschuß des gewählten chromatographischen Transportmittels (Wasser, Zitratlösung, 2% Zitronensäurelösung) führt zu einer verteilungschromatographischen Konkurrenz zwischen dieser beweglichen Phase und den sorptionsfähigen Positionen des imprägnierenden Bodenkörpers um die mar-

kierten Ionen oder Kolloide, was die Lokalisierung der markierten Substanz in diskretem R_f -Abstand zwischen Startpunkt und Lösungsmittelfront bewirkt. Das methodische Grundkonzept, welches ursprünglich zur Darstellung der Festlegungskapazität von Böden für Phosphorsäure benutzt worden war (1, 2), sollte auf seine Anwendungsmöglichkeit auch für das Studium der Mobilität anderer Nährstoffionen und der Bodenkolloide geprüft werden.

2 Methodisches

Es ist jeweils mit Rundfilterpapierchromatographie und Dünnschichtchromatographie gearbeitet worden.

21 Rundfilterpapierchromatographie

Rundfilter von z.B. 38 cm Durchmesser werden hin und her durch eine Suspension von 50 g Boden ($\ll 0,2$ mm ϕ) in 160 ml Wasser gezogen, getrocknet, um ein im Mittelpunkt durchgestecktes Zahnarztwatteröllchen ringförmig mit 1 μ c der markierten Substanz belegt und zwischen Deckel und Körper eines großen Exsikkators chromatographisch entwickelt. Die bewegliche Phase gelangt aus einem Scheidetrichter, der im Zentralschliff des Deckels steckt, tropfenweise über das Watteröllchen in das bodenimprägnierte Filterpapier. Wenn die Lösungsmittelfront den Exsikkatorrand erreicht, wird ihre Position markiert und getrocknet. Nach Belegen mit einem Röntgenfilm und Exposition über Nacht erhält man das Autoradiogramm, welches aufgrund der Filmschwärzung gestattet, den R_f -Wert der Substanzposition zu ermitteln.

22 Dünnschichtchromatographie

Nach Erprobung verschiedener Mischungsverhältnisse von Boden, Stärke und Silikagel bzw. Al_2O_3 sowie nach Vergleich mehrerer anorganischer und organischer Lösungsmittelsysteme für die bewegliche Phase erwies sich eine Mischung von 13 g Boden ($\ll 0,2$ mm ϕ) + 15 g Silikagel + 2 g Stärke (Binder) als beste Streichmasse, während 2%ige Zitronensäurelösung als bewegliche Phase den aufgedehntesten R_f -Bereich zwischen Böden hoher und niedriger Festlegungskapazität

für die wandernden markierten Ionen ergab. Im Falle von ^{14}C -markierter Humin- und Fulvosäure sowie ^{55}Fe -Ton wurde vorwiegend mit Wasser entwickelt. Die Boden-SiO₂-Stärkepaste wurde mit Hilfe eines üblichen Streichschlittens auf die Glasplatten aufgetragen, getrocknet und im Exsikkator gelagert. Die Auftragung der markierten Substanz geschah in Form einer Punktzeile auf der chromatographischen Startlinie unter Benutzung einer Halbmikropipette mit kontrolliertem Vorschub. Zur autoradiographischen Auswertung wurden die Dünnschichtplatten in Röntgenkassetten gelegt und mit Film bedeckt. Die Schwärzungstreifen gestatten wieder den, der Festlegungskapazität des Bodens für die markierte Substanz umgekehrt proportionalen, R_f -Wert zu fixieren.

Die chromatographische Elution wurde sowohl in der üblichen diskontinuierlichen Form durchgeführt (Verteilungschromatogramm), wie auch durch Ankleben eines Papierfilterbogens an die Oberkante der Dünnschichtplatte, unter Ableiten der Transportlösung in eine Vorlagewanne, kontinuierlich gestaltet (Durchlaufchromatogramm).

3 Ergebnisse

Als markierte Substanzen, deren Mobilität bzw. Festlegung in verschiedenen Bodenmaterialien untersucht werden sollte, dienen:

$\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$, ^{32}P -Superphosphat, ^{42}KCl , ^{14}C -Huminsäure und -Fulvosäure sowie ^{55}Fe -Montmorillonit und -Kaolinit.

31 Phosphatstudien

311 In einer umfangreicheren Arbeit, über die inzwischen ein Originalbericht vorliegt (1, 2), wurde die Rundfiltermethode zum Studium der Phosphatfestlegungskapazität von Böden im nordafrikanischen semiariden Klimagebiet benutzt. Es sei daher nur auf Abb. 1 verwiesen, welche die beiden extremen Möglichkeiten der uneingeschränkten Phosphatmobilität und -festlegung darstellt. Auf der Basis der rundfilterchromatographischen Untersuchungen wurde ein Schema entworfen, das die Böden, gemäß den erzielten R_f -Werten, einzustufen erlaubt hinsichtlich des zu erwartenden Wirkungsgrades einer Phosphatdüngung (unter Vergleich verschiedener Düngephosphatformen).

312 Dünnschichtchromatographische Phosphatmobilitäts- und -festlegungsstudien (Boden : Silikagel : Stärke = 13 : 15 : 2) bewegen sich ebenfalls in einem R_f -Gesamtbereich zwischen 0,9 (nur Silikagel + Stärke) und 0,1 (stark fixierende, CaCO_3 -reiche Böden).

Aus dem vorhandenen Analysenmaterial (semiaride Böden) wurde die in Tab. 1 dargestellte Zuordnung zwischen erzielten R_f -Werten und daraus ersichtlichen Düngungschancen abgeleitet.

Abb. 2 zeigt die Autoradiographien von drei horizontweise dünn-schichtchromatographisch untersuchten Böden aus Tunesien. Wie fast stets sind die R_f -Werte der an organischer Substanz reicheren A-Horizonte höher, d.h. die Festlegungskapazitäten etwas niedriger als in den humusarmen B- und C-Horizonten.

32 Kaliummobilität

Untersuchungen über die Kaliumfestlegung an Montmorillonit-reichen

Vertisols aus dem Sudan, an Böden mit vornehmlich aufgeweiteten Illiten aus Drenthe-Geschiebemergel und an Graulehmen mit dominierend kaolinitischer Tonkomponente, wobei wiederum die dünn-schichtchromatographische Methode mit 2%iger Zitronensäure oder Wasser als beweglicher Phase angewandt wurde, lassen erkennen (Abb. 3), daß die Festlegung am stärksten ist bei den Montmorillonit-reichen Badobböden, am geringsten bei den Kaolinit-reichen Graulehmen (s. auch Tab. 2). Silikagel + Stärke allein ergeben einen R_f -Wert von über 0,9, so daß wiederum praktisch der gesamte R_f -Bereich von etwa 0,1 - 0,9 für die Differenzierung der individuellen

Kaliumfestlegungskapazitäten verschiedener Böden zur Verfügung steht.

33 Mobilität und Festlegung von ^{14}C -markierter Humin- und Fulvosäure

In schwacher Lauge gelöste und wieder auf pH 7 gebrachte ^{14}C -Huminsäure und ^{14}C -Fulvosäure (beide aus Rotteproduktion ^{14}C -markierter Pflanzen gewonnen) wurden auf die Startlinie von Dünnschichtplatten aufgetragen und ebenfalls in Silikagel-Stärke-Boden-Belägen unter Vergleich verschiedener Bodentypen mit Wasser als be-

weglicher Phase chromatographiert sowie durch Autoradiographie in ihrer Position sichtbar gemacht.

Abb. 4 zeigt eine frontartige starke Mobilität der Humin- und Fulvosäure in Podsol-A-Material. Vergleichsweise dargestellte Pseudogley- und Pararendzinachromatogramme enthielten demgegenüber nur uneinheitliche, strahlige Schwärzungsspuren von begrenzter Eindringtiefe, die eine nur geringe Mobilität der Humin- und Fulvosäuren in diesen Böden aus Löß bezeugen.

34 Dünnschichtchromatographische Wanderungsversuche mit feinst gemörsertem ^{55}Fe -markiertem Montmorillonit und Kaolinit

Die Tonwanderungsversuche wurden wiederum an Podsol-, Pararendzina- und Parabraunerde/Pseudogley- A-Material durchgeführt. Es kam dabei auf der Basis der Silikagel-Boden-Stärke-Dünnschichtchromatographie die normale diskontinuierliche Verteilungschromatographie wie auch die kontinuierliche Durchlaufchromatographie zum Einsatz (bis einwöchige Elutionsdauer). Nur beim Podsolmaterial zeigten die Autoradiogramme in zwei Fällen eine geringe Tonwanderung im unteren R_f -Bereich. Die aus Löß gebildeten Böden lassen im Autoradiogramm nur die scharf ausgeprägte Punktfolge auf der Startlinie, jedoch keinerlei Wanderung erkennen.

Zur weiteren Bearbeitung dieser Frage sind inzwischen Perfusionsversuche von ^{55}Fe -markierten Tonen in Glassäulen mit verschiedenen Ca-freien Texturfractionen von Grobsand bis Ton angesetzt, wo die Elution beliebig intensiv und langfristig gestaltet werden kann.

Wenn die bisherigen Untersuchungen eine radiochromatographische Bestätigung der Tonwanderung nicht erbringen konnten, so sind die hier geltenden experimentellen Bedingungen nicht wirklichkeitsgetreu genug, um in Konsequenz die Tonwanderung auszuschließen. Die Ergebnisse bestärken uns jedoch weiterhin in unserem Zweifel daran, daß es sich bei der Ausbildung von Tonanreicherungs-horizonten um einen einfachen Wanderungsmechanismus handelt (3).

4 Zusammenfassung

Durch Boden-imprägnierte Papierchromatogramme und Boden-Silikagel-Stärke (13 : 15 : 2) -belegte Dünnschichtchromatogramme wurde die Mobilität bzw. Festlegung von ^{32}P -Phosphaten, ^{42}K -Kaliumchlorid, ^{14}C -markierter Humin- und Fulvosäure sowie ^{55}Fe -markiertem Montmorillonit und Kaolinit in verschiedenen Böden untersucht. Die autoradiographisch dargestellten Wanderungsergebnisse sind durch zugehörige R_f -Werte ausgedrückt. Während bei Phosphorsäure, Kalium, Humin- und Fulvosäure verschiedene Mobilitäten und Festlegungskapazitäten der untersuchten Böden durch entsprechend starke Differenzierung der erzielten R_f -Werte zum Ausdruck kamen und z. T. zur Aufstellung von Düngungseignungstabellen Verwendung fanden, konnte eine Tonwanderung in den Dünnschichten der Böden aus Löß in keinem Fall beobachtet werden.

Die Versuche werden daher bereits in Säulen mit exakt definierten Texturfractionen fortgesetzt, um möglichst Texturgrenzwerte für die Immodellversuch noch beobachtbare Tonwanderung zu gewinnen.

5. Literatur

1. H. W. Scharpenseel, Untersuchungen zur Phosphatfestlegung im Boden I. Teil: Eine einfache radiochromatographische Methode zum Studium der Festlegungskapazität des Bodens für Düngephosphate. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 109, 3, 201, 1965
2. H. W. Scharpenseel, s. oben II. Teil: Versuche zur Erhaltung der Pflanzenaufnehmbarkeit der Phosphorsäure in Ca-reichem Boden mit hoher Phosphatfestlegungskapazität 109, 3, 214, 1965
3. W. Kerpen und H. W. Scharpenseel, Untersuchungen der Perkolate ungestörter Bodensäulen (der gleiche Band, DBG-Tagung, Aachen 1965, im Druck)

anwendbare Form von Phosphatdünger

R_f -Wert der Schwärzungsfront des ^{32}P
(bewegliche Phase = 2% Zitronensäurelösung)

Phosphorsäure, Monokalium- und Monoammoniumphosphat

Superphosphat

Phosphatdünger mit Zitronensäurelöslicher Phosphors. Schlacken-Sinter-, Polybasenphosphate

Rohphosphate Hyperphosphate

0,0 - 0,25

sehr starke Festlegung

sehr starke Festlegung

geringe Ausnutzung

unwirksam

0,25 - 0,60

Anwendung noch verbunden mit erheblichen Festlegungsverlusten

Anwendung noch verbunden mit Festlegungsverlusten

anwendbar, noch Festlegungsverluste

anwendbar bei saurer Bodenreaktion

0,60 - 1,0

anwendbar, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ begrenzt auf saure und neutrale Böden

anwendbar

anwendbar

anwendbar bei saurer Bodenreaktion

Tabelle 1: Anwendung von Phosphatdünger sowie seiner verschiedenen Arten in Abhängigkeit von den R_f -Werten aus der Bestimmung der Festlegungskapazität des Bodens für Phosphate (Tentatives Schema für Boden-Silikagel-Stärke-Dünnschichtchromatographie bei $\text{H}_3^{32}\text{PO}_4$ als Markierungsmittel sowie 2% Zitronensäurelösung als Entwickler)

	SiO ₂		Al ₂ O ₃		
	H ₂ O	R _f	H ₂ O	R _f	
nur + Stärke		0,915	0,89	0,74	0,345
+ Stärke + Kaolinitboden 1		0,69	0,52	0,45	0,27
+ Stärke + Kaolinitboden 2		0,63	0,68	0,41	0,35
+ Stärke + Illitboden	1	0,43	0,51	0,375	0,33
+ Stärke + Illitboden	2	0,37	0,48	0,63	0,3
+ Stärke + Montm. Bd.	1	0,23	0,24	0,195	0,19
+ Stärke + Montm. Boden 2		0,16	0,26	0,265	0,16

Tabelle 2: ⁴²KCl-Wanderung und Festlegung in Dünnschichtplatten mit einer Mischung von 15 g SiO₂ oder Al₂O₃, 13 g Boden und 2 g Stärke

Kaolinit 1 = Gelsdorfer Graulehm

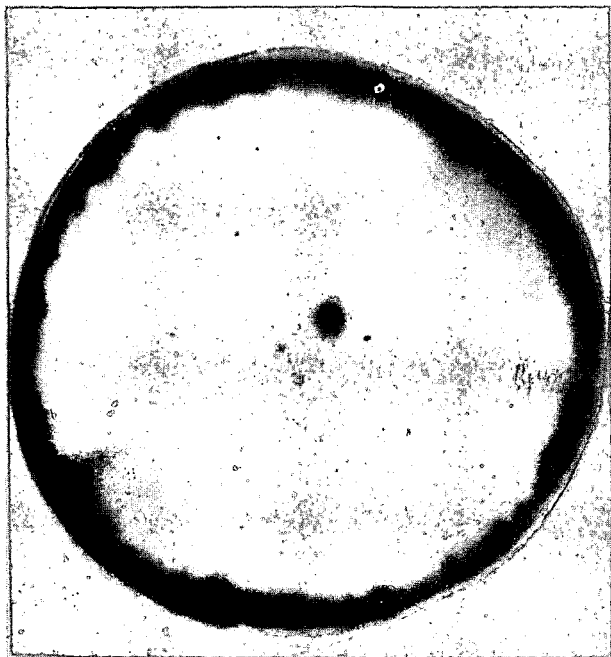
Kaolinit 2 = Graulehm

Illit 1 = Drenthe Geschiebelehm Rotenburg, 4389

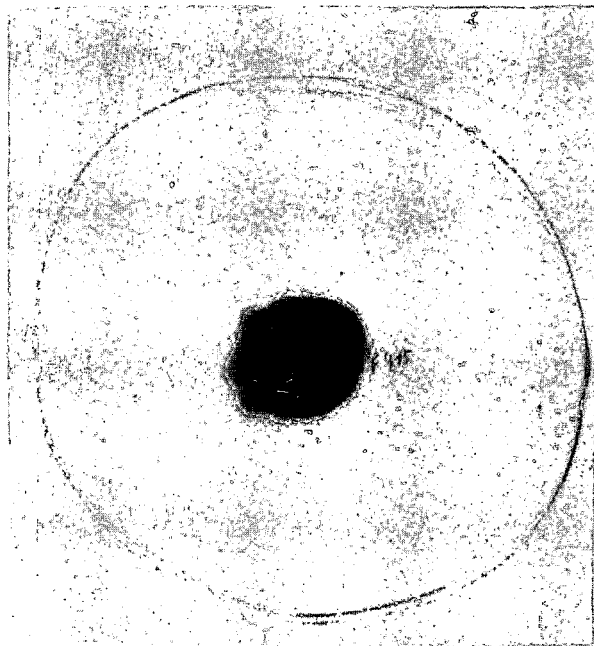
Illit 2 = Drenthe Geschiebelehm Rotenburg, 4840

Montmorillonit 1 = Badob (Guneidscheme, Sudan Al₂)2814

Montmorillonit 2 = Badob (Guneidscheme, Sudan B_{Ca})2815



a



b

Abb. 1: Wanderung des Phosphats in nicht festlegendem, Sand- imprägniertem Filterpapier (a) und Totalfestlegung des Phosphats in einem Chromatogramm, imprägniert mit kalkreichem Boden (b)

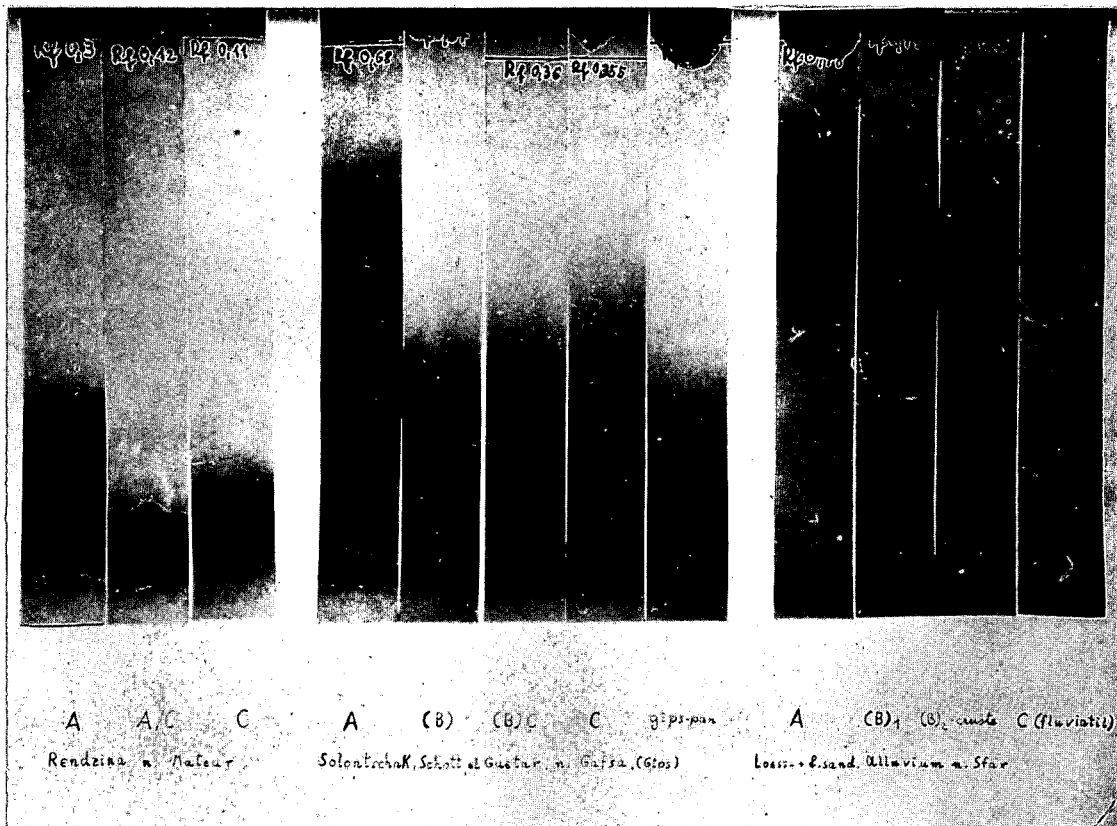


Abb.2: Horizontweise dünnschichtchromatographische Untersuchung der Festlegungskapazität einer Rendzina, eines Solontschaks und eines entkalkten lössartigen Alluvialbodens für Phosphorsäure-³²P

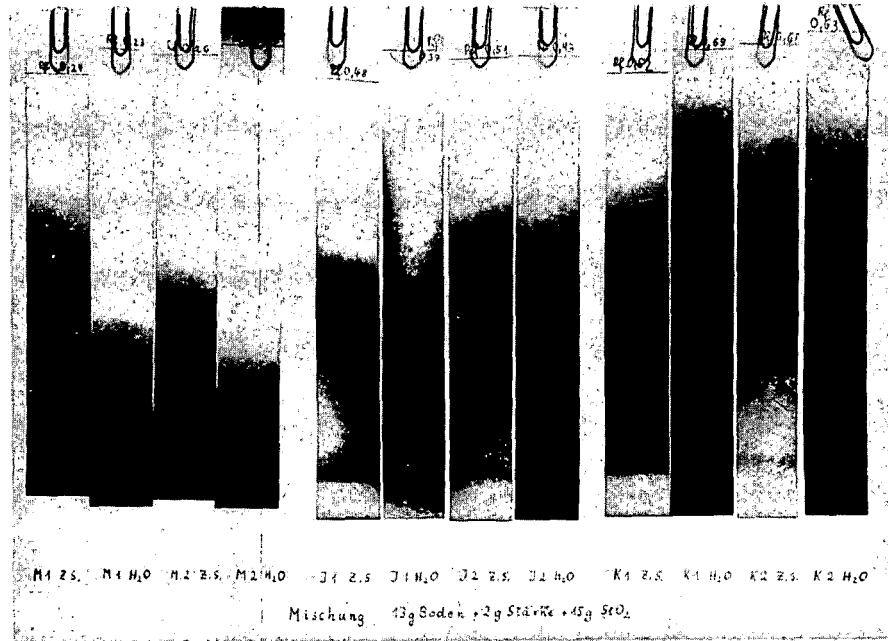


Abb. 3: Horizontweise dünn-schicht-chromatographi-
 sche Untersuchung der Festlegungska-
 pazität zweier Montmorrillonit-(links)
 Illit-(Mitte) und Kaolinit-(rechts)rei-
 cher Böden für Kaliumchlorid. (Mobile
 Phase 2%ige Zitronensäurelösung und
 Wasser)

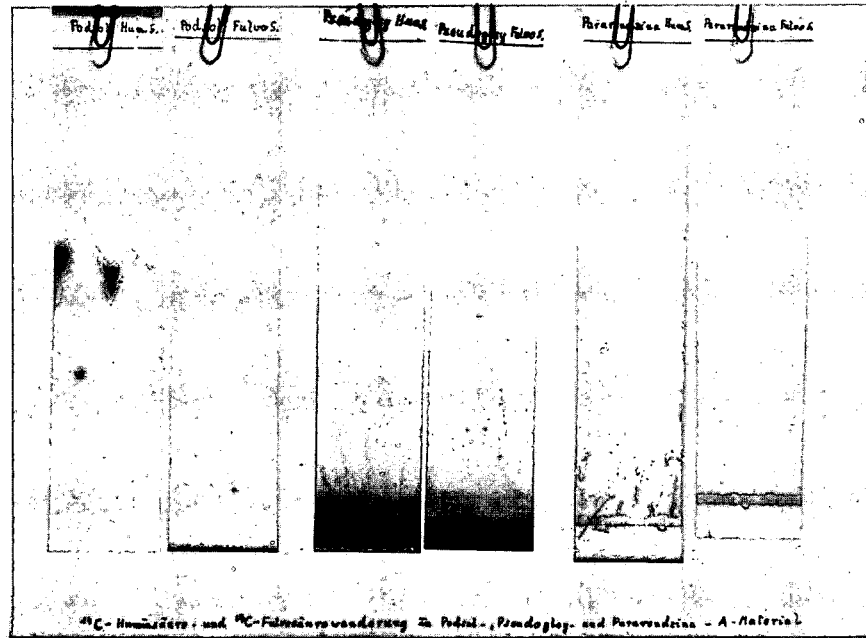


Abb4: ¹⁴C-Huminsäure- und -Fulvosäurewanderung in Podsol-, Pseudogley- und Pararendzina-A-Material

Untersuchungen der Perkolate ungestörter Bodensäulen

W. Kerpen ⁺⁾ , H.W. Scharpenseel ⁺⁺⁾ , I. Schoembs ⁺⁾

Auf der Suche nach Verfahren zum Studium der dynamischen Prozesse im Böden schienen uns Modellversuche in vitro mit ungestörten Bodensäulen, Ausgangsgesteinen, Konkretionen und anderen diagenetischen Bodenverhärtungen im Zeitrafferverfahren besonders geeignet. Analog der Fragestellung nach dem dynamischen Prozeß entwickelten wir drei dynamisch orientierte Untersuchungssysteme:

1 Modellversuche mit ungestörten Bodensäulen in einwandigen Glasrohren (Abb. 1)

Frage: nach den dynamischen Prozessen in einem bestimmten Bodentyp.

2 Modellversuche mit Locker-Ausgangsgesteinen in doppelwandigen, thermostatisierten Glasrohren

Frage: nach den dynamischen Prozessen zu Anfang der Bodengese in einem bestimmten Ausgangsgestein.

3 Modellversuche mit Konkretionen oder anderen diagenetischen Bodenverhärtungen im Soxlethextraktor

Frage: nach der Stabilität und Reversibilität von Konkretionen oder anderen diagenetischen Bodenverhärtungen.

+) Arbeitsgruppe Institut für Landwirtschaft der Kernforschungsanlage Jülich des Landes Nordrhein-Westfalen e.V. im Institut für Bodenkunde der Universität, 53 Bonn, Nußallee 13

++) Institut für Bodenkunde der Universität, 53 Bonn, Nußallee 13

Im folgenden berichten wir nur über die Perkölationsversuche an ungestörten Bodensäulen in einwandigen Glassäulen (Methodik und Aufbau: H.W. Scharpenseel und W. Kerpen, 1963)⁺⁾

11 Versuchsgang bei den Modellversuchen mit ungestörten Bodensäulen

110 Entnahme von natürlich gelagerten, ungestörten Bodensäulen bestimmter Bodentypen mit Hilfe des Utah-Bohrers.

Belegen der Glassäulen- Innenwände mit Silikonölfilmen zur Vermeidung von Randeffekten.

Einbringen in einwandige Glasrohre.

Befestigung an Stangengittern in klimatisierten Räumen.

111 Vielfachanalyse an Parallelsäulen (physikalische, chemische, mikromorphologische, röntgenographische, elektronenoptische u.a. Untersuchungen) zu Beginn des Versuches.

112 Tropfenweise Niederschlagsgaben auf die Bodensäulen in regelmäßigen Zeitabständen mit Hilfe von Dosierpumpen.

113 Chemische Analyse der Bodenperkolate nach jeder Niederschlagsgabe.

114 Szintillationsspektrometrische Analyse der Bodenperkolate nach Markierung der Bodensäulen an der Oberfläche mit radioaktiven Bodenkonstituenten (^{14}C -Huminsäure, $^{55}\text{Fe}(\text{OH})_3$ und ^{55}Fe -Montmorillonit) (H.W. Scharpenseel und H. Gewehr, 1961; H. Beckmann, H. Gewehr und H.W.Scharpenseel, 1963).

115 Vielfachanalyse der behandelten Bodensäulen zu Ende des Versuches (siehe 111).

116 Autoradiographische Untersuchungen an Bodensäulen- Dünnschliffen nach Einstellen des Gleichgewichtes der radioaktiven Bodenkonstituenten mit den entsprechenden Stoffen des Bodens.

+) Ein ausführliches Bericht hierüber erscheint in der Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde.

12 Ergebnisse der Perkolationsuntersuchungen an Parabraunerden aus Löß, Sauren Braunerden aus Tonschiefer, Pararendzinen aus Löß und Eisenhumuspodsolen aus Sand

Die Gegenüberstellung der durchschnittlich gelösten Substanz in mg aus den einzelnen Bodentypen (Abb. 2)⁺⁾ zeigt, daß Kalzium, Magnesium und Kieselsäure bei Pararendzina (224, 16, 21), Parabraunerde unter Acker (98, 14, 11), Parabraunerde unter Wald (103, 13, 26) und Saurer Braunerde (67, 13, 21) den weitaus größten Anteil der Lösungsgenossen stellen. Beim Podsol tritt das Kalzium hinter den anderen Komponenten zurück. Unter allen Lösungsgenossen zeigt das Kalzium die stärkste Abnahme, und zwar von der bis in den Oberboden karbonathaltigen Pararendzina über die im Untergrund karbonathaltige Parabraunerde und die karbonatfreie Saure Braunerde zum Podsol (224, 100, 67, 12). In der gleichen Reihenfolge steigt die Azidität der Bodenlösung an.

Die absoluten Gehalte an Magnesium verringern sich in wesentlich geringerem Umfang mit Ausnahme der Sauren Braunerde ebenfalls in der gleichen Reihenfolge (16, 13, 45, 2); relativ zum Kalzium steigt der Magnesiumanteil jedoch an (1/14, 1/7, 1/2, 1/6). Die hohen Magnesiumgehalte bei der Sauren Braunerde scheinen für das Ausgangssubstrat charakteristisch zu sein.

Auch die Kieselsäure gewinnt gegenüber dem Kalzium mit steigender Azidität der Bodenlösung zunehmend an Bedeutung. Bei der Pararendzina stellt sie nur 1/11, bei der Parabraunerde unter Acker 1/9, bei der Parabraunerde unter Wald 1/4, bei der Sauren Braunerde 1/3 und beim Podsol das 2fache des Kalziums an der Bodenlösung. Die absolut höchsten Gehalte an Kieselsäure finden wir in den Perkolaten der Parabraunerde unter Wald mit Moderauflage (26) und dem Podsol mit Rohhumusauflage (26). Vermutlich begünstigen die sauren Humussole die Löslichkeit und durch ihre Schutzkolloidwirkung auch den Abtransport der Kieselsäure. Die Kieselsäurewerte der Ackerböden liegen um wenigstens 25 % niedriger.

+) Da alle Analysenwerte seit Versuchsbeginn als Oxide angegeben wurden, werden auch hier die mg der Oxide mitgeteilt. Die Umrechnungsfaktoren sind: CaO : Ca = 0,7147; MgO : Mg = 0,6032; K₂O : K = 0,8302; P₂O₅ : P = 0,4365; SiO₂ : Si = 0,4672; Fe₂O₃ : Fe = 0,6994; Al₂O₃ : Al = 0,5293.

An Kalium und Eisen enthalten die Perkolate mit Ausnahme derer des Podsols nur noch Spuren im Vergleich zum Kalzium ($K_2O : 1/145, 1/120, 1/69, 1/5; Fe_2O_3 : 0, 1/390, 1/270, 1/8$).⁺⁾
Die hohe Eisenlöslichkeit im Podsol ist kennzeichnend für die Dynamik dieses Typs. ++

Während Phosphorsäure (1, 1; 0, 05; 3, 8; 18, 5) in den Perkolaten von Pararendzina und Parabraunerden nur in Spuren vorhanden ist, erreicht sie bei der Sauren Braunerde 1/18 und beim Podsol das 1, 6fache des Kalziumanteils. Es ist anzunehmen, daß mit zunehmender Bodenazidität bei der Sauren Braunerde und vor allem beim Podsol Apatit zersetzt wird und als Phosphorlieferant sowie beim Podsol auch als Hauptquelle für Kalzium infrage kommt.

Aluminium (nicht bestimmt bei den 1. Bodensäulen mit Parabraunerden) (0, 16 ; - - ; 1, 9; 5, 5) kommt im Perkolat der Pararendzina ebenfalls nur in Spuren vor. In der Sauren Braunerde und besonders im Podsol steigt die Aluminium-Löslichkeit stark an. Sowohl die Anteile des Aluminiums am Kalzium (1/1400, - , 1/35, 1/2) als auch an der Kieselsäure (1/130, - , 1/11, 1/5) wachsen von der Pararendzina über die Saure Braunerde zum Podsol. Für die Dynamik des Podsols ist neben der relativ hohen Eisenlöslichkeit nicht minder die des Aluminiums von besonderer Wichtigkeit.

Organische Substanz fehlt in den Perkolaten von Pararendzina, Parabraunerde und Saurer Braunerde, in denen des Podsols bestreitet sie den weitaus größten Anteil unter allen Lösungsgenossen.

13 Ergebnisse der szintillationsspektrometrischen Analyse der Bodenperkolate

Weder in den Parabraunerden noch in der Sauren Braunerde konnte nach 2 1/2jähriger Versuchsdauer (= dynamische Wirksamkeit von etwa 30 Jahren) eine Wanderung von ^{14}C -Huminsäure oder ^{55}Fe -Montmorillonit nachgewiesen werden (Abb.3). Spuren von $^{55}Fe(OH)_3$ fanden sich nur kurz nach der Markierung in den Perkolaten.

+) Zahlen in Klammern stets in gleicher Reihenfolge zugeordnet: Pararendzina, Parabraunerde, Podsol

++) nach anderer Methode bestimmt, offensichtlich zu niedrig.

14 Zusammenfassung der Ergebnisse der Perkolat-
untersuchungen an ungestörten Bodensäulen

140 Die Perkolatuntersuchungen an ungestörten Bodensäulen geben Auf-
schluß über die Reaktionsvorgänge in den Bodentypen und damit über ihre
dynamischen Prozesse.

141 Die Mengenanteile und das Verhältnis der Lösungsgenossen in einem
Bodentyp scheinen nach den bisher gewonnenen Erfahrungen für jeden Bo-
dentyp charakteristisch zu sein.

Trifft das allgemein zu, dann wären die Modellversuche an ungestörten
Bodensäulen geeignet, die Bodenklassifikation zu untermauern. Mit ihrer
Hilfe könnten auch unsichere Verwandtschaften zwischen ähnlichen Boden-
typen aufgeklärt werden, z.B. zwischen Regur und Badob, zwischen Grey-
Brown-Podsolic und Parabraunerde.

142, Nach Mengenanteilen und Relationen der Lösungsgenossen sind Pa-
rendzina, Parabraunerde und Saure Braunerde als

CaO - MgO - SiO₂ - K₂O - P₂O₅ - Typus (bei der Sauren Braunerde
- P₂O₅ - K₂O -) und der Podsol als

Organische Substanz - SiO₂ - P₂O₅ - CaO - Al₂O₃ - K₂O - MgO -
Fe₂O₃ - Typus einzustufen.

143 Die Perkolatuntersuchungen an ungestörten Bodensäulen vermitteln
Anhaltspunkte für die jährlichen Sickerverluste an Nährstoffen und Boden-
komponenten der verschiedenen Böden (Abb. 4); denn die bei einem Nie-
derschlag von 200 mm erzielten Perkolatmengen (= Sickerwasser) von
rund 150 mm entsprechen etwa einer jährlichen Sickerwassermenge in
der Natur bei etwa 600 bis 800 mm Niederschlag.

144 Die Mengenanteile und Verhältnisse der Lösungsgenossen sind wich-
tig für die Tonmineralbildung in den verschiedenen Bodentypen. Nach
Beckmann, 1965, entstehen weitgehend unabhängig vom pH (pH 3, 2
bis 7, 8) in Gegenwart von 1- und 2wertigen Lösungsgenossen Mont-
morillonit, in Gegenwart von 3-, 4-, 5- und 6wertigen Kaolinit. Dem-
nach bieten die Pararendzina, die Parabraunerde und die Saure Braun-
erde günstigere Voraussetzungen für die Montmorillonit- und der Podsol
für die Kaolinitbildung.

15 Theoretische Erwägungen hinsichtlich Feinsubstanzverlagerung, Tonzerstörung und der Grundprinzipien der Bodendynamik

150 Es ist denkbar, daß die Feinsubstanzverlagerung in den Parabraun-erden nicht, oder zumindest nicht ausschließlich, durch die Tondurchschlammung, sondern durch Verlagerung der Stoffe in der Lösungsphase zustande kommt, daß also in den einzelnen Horizonten aus den freiwerdenden und wandernden Stoffen aus der Lösungsphase oder aus der kolloidalen Phase (vorgeformt) Tonmineralneubildung erfolgt und zwar im B_t stärker als in den übrigen Horizonten, weil hier aufgrund der Verteilungsverhältnisse der Lösungsgenossen die günstigsten Bedingungen für die Tonmineralbildung herrschen.

151 Es ist ferner möglich, daß im Podsol keine Tonzerstörung stattfindet, sondern ebenfalls Tonneubildungen in den einzelnen Horizonten aus den Lösungsgenossen, und zwar in geringerem Maße entsprechend dem geringeren Angebot an Lösungstoffen.

152 Den einzelnen Bodentypen wird verschiedene Dynamik zugesprochen. Wir fragen uns, wirkt nicht in ihnen allen ein und dasselbe bodendynamische Grundprinzip, nur unterschieden durch den Intensitätsgrad der Reaktionsabläufe, das Ausmaß und die Richtung der Perkolation, die Dauer des Reaktionsprozesses sowie durch den Verbleib der organischen Substanz?

Am Beginn steht die Lösung der 1- und 2wertigen Lösungsgenossen. Es verbleiben schließlich SiO_2 , Fe_2O_3 und Al_2O_3 . Demnach strebte alle Bodenbildung dem Salzkrusten- Laterit- oder Podsol-Typus zu.

Dank der konservierenden Klimaeinwirkung, der Erosion, Epirogenese und Orogenese bleiben wir jedoch vor der Salzkrusten-, Sesquioxyd- oder SiO_2 - Wüste bewahrt und behalten unsere Böden, die bei dieser Betrachtung als Zwischenglieder in der langen Kette der Bodenentwicklung aufzufassen wären, weiterhin ihre Fruchtbarkeit.

Literatur

- Beckmann, H.: Strukturbetrachtungen am Montmorillonit aufgrund von Syntheseversuchen. Vortrag: Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Aachen, 8.9. 1965
- Beckmann, H.,
Gewehr, H. und
Scharpenseel, H.W.: Über eine Synthese radioaktiver Tonminerale. Landwirtschaftliche Forschung, 17. Sonderheft, 161 - 171, 1963
- Scharpenseel, H.W.
und Gewehr, H.: Möglichkeiten und Erfahrungen zum Arbeiten mit radioaktiven Tonmineralien und Huminsäuren in der bodenchemischen Forschung. Pedologie. Symp. intern. 2, Applic. sc. nucl. ped., 10 - 27, Gent, 1961
- Scharpenseel, H.W.
und Kerpen, W.: Modellversuche an ungestörten Bodensäulen zum Studium bodengenetischer Bildungsmechanismen unter Benutzung radioaktiv markierter Bodenkonstituenten.
I. Mitteilung: Methodik und Aufbau.
Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 101, H. 1, 1-10, 1963.

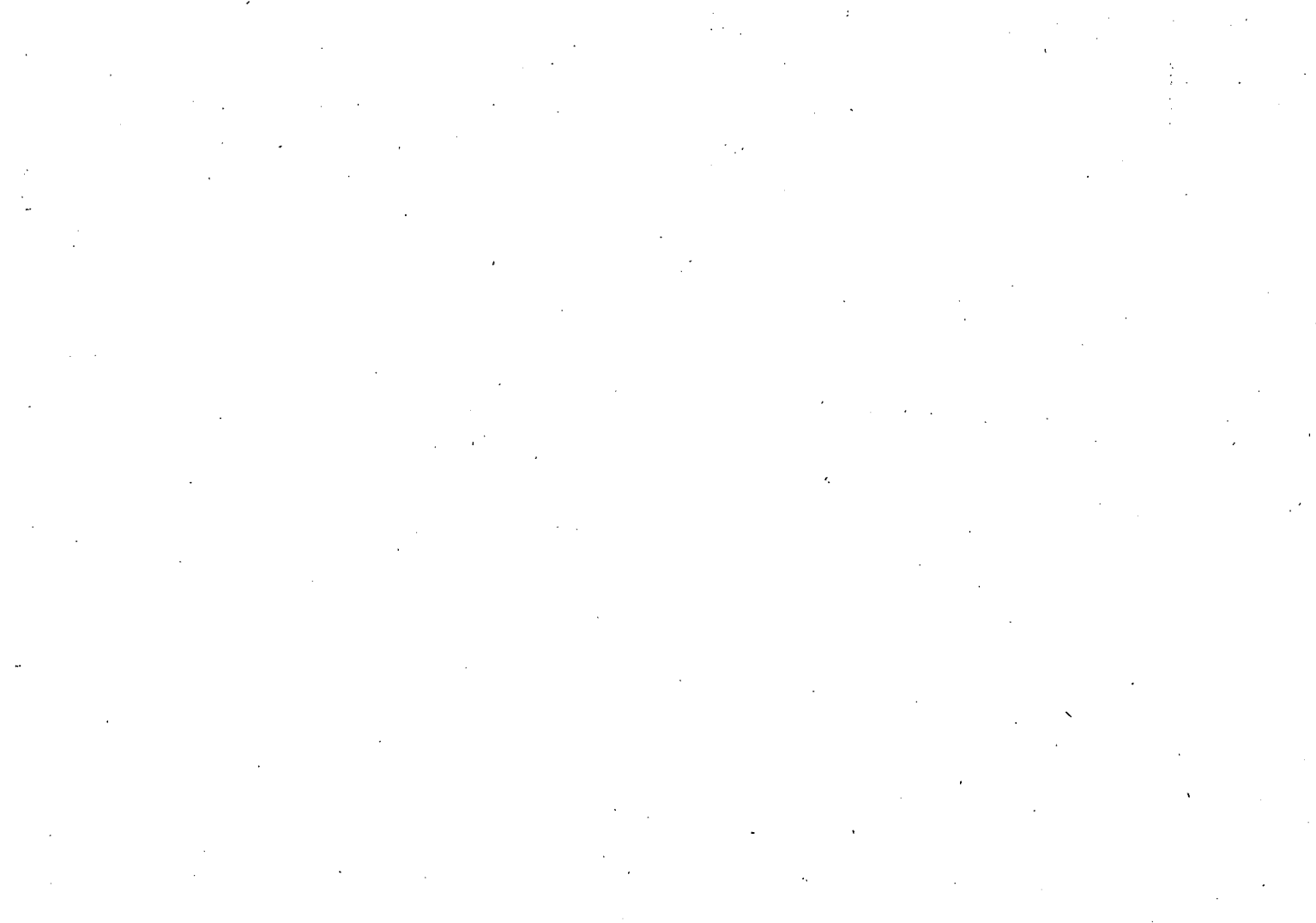




Abb. 1 : Modellversuche mit ungestörten Bodensäulen
in einwandigen Glasrohren (Pararendzina;
8 Parallelsäuren)

Durchschnittliche Lösungsmengen mg im Perkolat nach 200mm Niederschlag
aus 1m-Bodensäulen

Bodentyp		CaO mg	MgO mg	K ₂ O mg	P ₂ O ₅ mg	SiO ₂ mg	Fe ₂ O ₃ mg	Al ₂ O ₃ mg	C mg	N mg	C/N	Org.S mg	Ø Perkolat mm	pH Perkol.	pH Boden H ₂ O(KCl)	Wieder- holungen	Par- allelen
Pararendzina aus Loß Frankenforst Acker	mg absol.	224	161	154	1,14	209	0	0,16					151 (166)	7,8-8,2	7,6-8,1 (6,9-7,3)	3 2	8
	CaO:100	100	7,2	0,69	0,51	93	0	0,07									
	Pbr.R:100	218	121	184		81,0	0										
Parabraunerde aus Loß Gelsdorf Acker (reduziert auf 1m) in Klammern Wert für 1,5m	mg absol.	98,4	13,7	0,83	0,04 (0,059)	10,9 (16,3)	0,19 (0,29)						(136)	7,7-8,4	7,1-8,1 (5,9-7,4)	2,9 21	4
	CaO:100	100	13,9	0,84	0,04 (0,06)	11,0 (16,5)	0,193 (0,295)										
	Pbr.R:100	95,8	10,3	9,6	6,84 (10,4)	42,2 (63,2)	5,86 (8,9,2)										
Parabraunerde aus Loß Rösberg Wald	mg absol.	102,7	13,3	0,84	0,057	25,8	0,325						(150)	7,8-8,7	5,0-7,4 (4,0-7,0)	2,9 21	4
	CaO:100	100	13,0	0,82	0,056	251	0,316										
	Pbr.R:100	100	100	100	100	100	100										
Saure Braunerde aus Tonschiefer Dedenbach, Acker	mg absol.	66,5	29,9	0,97	3,8	20,7	0,247	1,9					154 (160)	6,4-6,9	5,2-5,8 (4,2-5,1)	1,8 17	4
	CaO:100	100	45,0	1,46	5,7	31,1	0,371	2,9									
	Pbr.R:100	64,7	22,5	1,16		80,2	7,61										
Podsol aus Sand Scherpenseel Wald	mg absol.	12,0	1,9	2,27	18,5	25,6	1,50	5,5	24,4	1,27	1,92	42	151 (171)	4,6-5,6	3,8-4,7 (3,3-4,6)	3 2	4
	CaO:100	100	15,8	18,9	15,4	21,3	12,5	45,8	20,3	10,4		350					
	Pbr.R:100	11,7	1,43	2,71		9,92	4,62										

Abb. 2 : Durchschnittlich gelöste Substanz, mg im Perkolat, nach 200 mm Niederschlag
aus 1 m - Bodensäulen

Untersuchungen über die Wanderung radioaktiver
Bodenkonstituenten in natürlich gelagerten Boden-
säulen nach je 200mm Niederschlagsgaben

Nieder- schlags- gabe je 200mm	Parabraunerde Gelsdorf			Parabraunerde Rösberg			Saure Braunerde Dedenbach		
	¹⁴ C-HS dpm/ml	⁵⁵ Fe- Ton dpm/ml	⁵⁵ Fe- dpm/ml	¹⁴ C-HS dpm/ml	⁵⁵ Fe- Ton dpm/ml	⁵⁵ Fe- dpm/ml	¹⁴ C- H.S. dpm/ml	⁵⁵ Fe- Ton dpm/ml	⁵⁵ Fe- dpm/ml
1	(<R ₀)	2800 (<2R ₀)	12000	(<R ₀)	1500 (<2R ₀)	19400	-	-	-
2	(<R ₀)	-	1800	(<R ₀)	(<R ₀)	18100	-	-	-
3	(<R ₀)	2400 (<2R ₀)	10400	(<R ₀)	(<R ₀)	23200	-	-	-
4	(<R ₀)	(<R ₀)	7300	(=R ₀)	(<R ₀)	3700 (<2R ₀)	-	-	-
5	(<R ₀)	(<R ₀)	2800 (=R ₀)	(<R ₀)	(<R ₀)	1700 (<R ₀)	-	-	-
6	(<R ₀)	-	700 (<R ₀)	(<R ₀)	(<R ₀)	500 (<R ₀)	-	-	-
7	-	-	2100 (<R ₀)	-	-	2300 (<R ₀)	-	-	-
8	-	-	700 (<R ₀)	-	-	1000 (<R ₀)	-	-	-
9	-	-	1300 (<R ₀)	-	-	1900 (<R ₀)	-	-	-
10	-	-	-	-	-	1000 (<R ₀)	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	<R ₀	-	-	-	-	-
14	-	-	<R ₀	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	<R ₀	-	-	-	-	-

Abb. 3 : Szintillationsspektrometrische Analyse der
Perkolate von Parabraunerden und Saurer Braunerde

Durchschnittliche Lösungsmengen kg/ha/1m tief
errechnet aus mg im Perkolat nach 200mm Niederschlag auf 1m-Bodensäulen

Bodentyp	Gelöstes	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	C	N	Org. S	Perko- lat mm
<u>Pararendzina</u> Frankenforst	kg/ha/200 ^{mm} _N	299	21,5	2,05	1,52	27,9	0	0,21				151
<u>Parabraunerde</u> Gelsdorf reduziert auf 1m	" " "	131	18,2	1,10	0,053 (0,078)	14,5 (21,8)	0,254 (0,38)					136 (1,5m)
<u>Parabraunerde</u> Rösberg	" " "	137	17,8	1,12	0,076	34,4	0,433					150
<u>Saure Braunerde</u> Dedenbach	" " "	88,4	39,9	1,29	5,05	27,6	0,33	2,5				154
<u>Poasol</u> Scherpenseel	" " "	160	2,53	3,02	24,6	34,0	2,0	7,3	32,6	169	55,9	151

Abb. 4 : Anhaltspunkte für die jährlichen Sickerverluste an Nährstoffen und Boden-
komponenten verschiedener Böden

Über die Wasserbewegung in Parabraunerden aus Löß von P. Benecke ⁺⁾

1. Einleitung

In letzter Zeit ist den besonderen Bedingungen des Wasserhaushaltes von Parabraunerden aus Löß verstärkte Beachtung geschenkt worden. Namentlich wies Professor SCHEFFER in seinem einleitendem Referat zur Eröffnung der diesjährigen Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Aachen nachdrücklich auf die Schwierigkeiten des Wasserhaushaltes solcher Böden hin und betonte, daß u. a. für die Durchführung von Meliorationsmaßnahmen den Besonderheiten des Wasserhaushaltes Rechnung zu tragen sei. Im folgenden sollen die physikalischen Ursachen dieser Besonderheiten untersucht werden, sowie die Ergebnisse der Auswirkung einer Melioration diskutiert werden.

Die Untersuchungen wurden an Parabraunerden der südniedersächsischen Lößgebiete durchgeführt. Für die Auswahl der Profile war die ausschließliche Abhängigkeit des Wasserhaushaltes von den Niederschlägen maßgebend. Sie waren ferner so ausgesucht, daß sie einer Reihe zunehmender Vernässungserscheinungen entsprachen.

2. Das Untersuchungsergebnis soll in zwei Thesen vorweggenommen werden:

- I. Die Bt-Horizonte von Parabraunerden aus Löß sind keine Staukörper im üblichen Sinne.
- II. Eine Dränung solcher Böden ist als sinnlos anzusehen.

Zur Begründung sollen zunächst zwei typische Vertreter dieser Parabraunerden vorgestellt werden, wobei besonderes Gewicht auf die physikalischen Eigenschaften gelegt wird. Das Profil 219 liegt auf dem Versuchsfeld der Landwirtschaftskammer Hannover, etwa 30 km südlich der Stadt bei Pop-

⁺⁾ Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

penburg. Es repräsentiert den "Normalfall" der südniedersächsischen Parabraunerde aus Löß. Hervorzuheben ist, daß diese Böden im Frühjahr regelmäßig wegen zuviel Nässe nicht zeitig genug bestellt werden können. Vernässungsmerkmale zeigt der Boden jedoch nicht. Wichtige Analysendaten und Profilm Merkmale sind in Abb. 1 und Tabelle 1 aufgeführt. Darüberhinaus sind Angaben zum Gefüge (BENECKE, 1966) zu machen:

Im A_p - und A_1 -Horizont (bis in 55 cm Tiefe u. Gel.) ist der tonige Schluff fast ungliedert und als überwiegend brüchigkohärent zu bezeichnen. Zwischen 25-30 cm u. Gel. ist eine schwache Pflugsohle mit plattigem Gefüge zu beobachten. Im A_p sind zahlreiche verschiedengestaltige Hohlräume; während der A_1 nur wenige, in feine und grobe unterteilte Röhren aufweist. Der B_t -Horizont beginnt mit stark schluffigem Ton, der oben ein grobprismatisch-blockiges Gefüge mit einer mittleren Anzahl, ebenfalls in feine und grobe unterteilte, Poren und Röhren aufweist. Tongehalt und Aggregation nehmen nach unten ab. Auffällig ist jedoch, daß der gesamte B_t von einem unvollständigen, weitmaschigen Netz eng schließender Vertikalklüfte durchzogen ist. Auf den Klüftflächen finden sich schwache Tonhäutchen und zahlreiche, feine Pflanzenwurzeln.

Alle beschriebenen Merkmale verlieren sich nach unten und gehen in den gleichmäßigen, ungliederten B_v -Horizont über, der jedoch auch noch in geringer Anzahl Poren und Röhren aufweist.

Abb. 1 (S.) zeigt die Ergebnisse der pF- und der kf-Messung. Bekanntlich wird die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes kf (HARTGE 1961) an einer voll wassergesättigten Probe vorgenommen. Das Meßergebnis gibt Aufschluß über die Fähigkeit des spannungsfreien Hohlraumvolumens, Wasser zu leiten. Der kf-Wert kann damit gleichzeitig zur Kennzeichnung des spannungsfreien Hohlraumvolumens verwendet werden (BENECKE 1964).

Bei der pF-Messung (HARTGE 1965) dagegen wird die Probe stufenweise entwässert und man gelangt zu einer Unterteilung des Bodenhohlraumvolumens in 4 Anteile (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1960): schnell und langsam drängende Poren (die als "grobe" oder auch "selbstdränende Poren" zusammengefaßt werden), ferner mittlere und feine Poren.

Die Fähigkeit, Wasser kapillar zu leiten, ist praktisch auf die "groben" Poren beschränkt. Diese sollen hier im Vordergrund der Betrachtung stehen.

Die Probe, die zeitweilige Vernässung auf eine geringe Durchlässigkeit des B_t -Horizontes zurückzuführen, endet angesichts der erhaltenen k_f -Werte negativ. Erst im tieferen Bereich treten hinreichend niedrige Werte auf, die hier aber außer Betracht bleiben können (Abb.1)

Bei der Darstellung der Porengrößenverteilung fällt die sprunghafte Änderung beim Übergang vom A_1 - zum B_t -Horizont auf. Sie kommt hauptsächlich in einer starken Verringerung der selbstdränenden groben Poren zum Ausdruck.

Von diesem Tatbestand ausgehend soll im folgenden eine Hypothese über die Ursache der Vernässungserscheinungen in solchen Böden entwickelt werden.

Aufgrund ihrer Hohlraumverteilung (Abb.1) sind die A-Horizonte der Lößparabraunerden in der Lage, sehr viel Niederschlagswasser zu speichern; ihr hoher Schluffgehalt führt ferner dazu, daß sie ihre Ver-
schlammungsgrenze erreichen, bevor eine volle Wassersättigung erfolgt ist. Entscheidend hieran ist, daß es - von oben beginnend - zu einer für Pflanzenwachstum und Bearbeitung nachteiligen Wasseranreicherung kommen kann, ohne daß Gravitationswasser auftritt. Für die Ableitung des überschüssigen Wassers scheidet damit der spannungsfreie Hohlraum aus. Sie kann nur auf dem Wege des kapillaren Fließens (unsaturated flow) durch das selbstdränende Hohlraumsystem erfolgen. Gerade diese Möglichkeit wird jedoch, wie die Abb.1 zeigt, beim Übergang zum B_t -Horizont stark eingeschränkt. Für die Vertikalableitung überschüssigen Wassers liegen hier ausgesprochen disharmonische Bedingungen vor: Gravitationswasser könnte zügig durch den B_t -Horizont abgeführt werden; die Eigenschaften des A-Horizontes verhindern jedoch seine Entstehung. Für die Ableitung des sich im A-Horizont im Überschuß bildenden Kapillarwassers hingegen mangelt es im B_t an der erforderlichen Hohlraumform. Die These, der B_t -Horizont sei kein Staukörper, gilt also nur für Gravitationswasser. Die kapillare Wasserbewegung dagegen wird durch den B_t -Horizont entscheidend behindert. Kapillar gespanntes Wasser kann nicht direkt in spannungsfreie Hohlräume übertreten. Das gefügebewingte, spannungsfreie Hohlraumsystem des B_t -Horizontes bleibt deswegen ebenso ohne Wirkung wie eine etwaige Dränung.

Um die Beziehungen zwischen Hohlraumverteilung und Vernässung näher zu untersuchen, wurden weitere Profile herangezogen. Die stärksten Vernässungserscheinungen wies der in Abb. 2 dargestellte Boden auf, für den weitere Analysendaten in Tabelle 1 aufgeführt sind. Wegen seiner relativ starken Eisenfleckung wurde er als Pseudogley-Parabraunerde eingestuft. Sein Gefüge ist grundsätzlich dem des vorbesprochenen Bodens vergleichbar, die Aggregation der B_t -Horizonte ist jedoch vollständiger und ausgeprägter. Die k_f -Werte lassen wiederum nicht den Schluß zu, die Vernässung sei auf zu geringe Durchlässigkeit der B_t -Horizonte zurückzuführen. Die "selbstdränenden" Poren weisen ein geringeres Volumen auf als beim vorbesprochenen Boden. Hier ebenfalls - wenn auch weniger stark - die charakteristische Verminderung beim Übergang A_1/B_t , und zwar hier auf weniger als 5 Vol. %. Anscheinend ist damit ein Grenzwert unterschritten, unterhalb dessen die Eisenfleckbildung einsetzt. Auch hier ist nicht zu übersehen, daß die Vernässungserscheinungen mit der Art der Hohlraumverteilung zusammenhängen.

Die beschriebenen Wechselbeziehungen zwischen den Poren geringer Kapillarspannung, ihrer Verteilung im Profil und den Vernässungserscheinungen ließen sich an weiteren Profilen zeigen. In Abb. 3 ist der volumenprozentische Anteil schnelldränender Poren linear gegen die beobachteten Vernässungserscheinungen aufgetragen. Das zuletzt besprochene Profil 223 befindet sich links, das zuerst erörterte Profil 219 ist im Mittelfeld, während die rechte Außenposition (221) von einer Parabraunerde mit Schwarzerderresten eingenommen wird, die keinerlei Vernässungserscheinungen aufweist.

Dieser Reihenfolge entspricht die Feuchteverteilung zur Zeit der Probenahme (Abb.4). Das jeweilige Feuchtemaximum befindet sich stets im Basisbereich der A_1 -Horizonte, also oberhalb der Einengung des Volumens der selbstdränenden Poren. Es zeigt sich auch hier die gleichsam "rückstauende" Wirkung der B_t -Horizonte für kapillares Wasser.

Keinerlei Beziehung zu den Vernässungserscheinungen zeigen dagegen die k_f -Werte der B_t -Horizonte. Trägt man sie in gleicher Reihenfolge wie in Abb. 3 auf, so ergibt sich Abb.5. Bemerkenswert ist nicht nur, daß die Werte regellos schwanken, sondern auch, daß sie ausnahmslos in den Bereich mittlerer Durchlässigkeit fallen. Dies zeigt eindeutig, daß hier kein Staukörper für Gravitationswasser vorliegt.

Zusammenfassend ist bisher festzustellen: Der Niederschlagsabzug in Parabraunerden aus Löß erfolgt kaum anders als durch kapillares Fließen bei niedrigen Saugspannungen. Der hierfür geeignete Porenanteil erfährt beim Übergang vom A_1 - zum B_t -Horizont eine charakteristische Verminderung, oberhalb der die abziehenden Niederschläge sich stauen. Hierbei wird der Saugspannungswert weiter erniedrigt, Vernässungen und sogar Verschlämmungen des schluffreichen Materials können auftreten, ohne daß Gravitationswasser gebildet wird. Die Folge ist, daß trotz Übernässung natürliche oder künstliche Entwässerungssysteme unwirksam bleiben, wenn sie nur spannungsfreies Gravitationswasser aufnehmen können, wie dies z.B. bei der Dränung der Fall ist.

Die Melioration solcher Böden muß nach dem Gesagten von dem Ziel bestimmt sein, eine möglichst hohe und gleichmäßige kapillare Leitfähigkeit bis in etwa 1 m Tiefe zu erreichen. Damit würde die Übernässung im Hauptwurzelraum verringert und der Anschluß an Schichten höherer kapillarer Leitfähigkeit hergestellt. Eine Möglichkeit hierfür besteht im Tiefumbruch. Hierbei würde zudem durch Heraufpflügen von Teilen des tonreicheren B_t -Horizontes eine Erhöhung des Tongehaltes der Krume bewirkt, die vor allem die Verschlammungsneigung vermindern würde.

Auf Initiative von Herrn Dr. GROSSE vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung wurde in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Hannover eine gelegentliche Vernässung zeigende 2 ha große Fläche des Rittergutes Banteln, Kreis Alfeld, 90 cm tief umgebrochen. Es handelt sich um eine typische Parabraunerde aus Löß. Der Löß ist durchschnittlich 1,60 m mächtig und wird von Leine-Schottern unterlagert. Profilaufbau, Eigenschaften und Analysendaten stimmen weitgehend mit dem in Abb. 1 und Tab. 1 dargestellten Profil 219 überein.

Die Tiefpflugparzelle war so gewählt, daß sie zwischen einer gedrännten und einer unveränderten Fläche gleichen Profilaufbaues lag. Auf allen drei Flächen wurden langfristig Bodenfeuchtemessungen mittels Tensiometern durchgeführt, deren Ergebnisse auszugsweise in den folgenden Abb. 6 - 10 dargestellt sind.

Abb. 6 zeigt den Gang der Bodenfeuchte der drei Parzellen in 20 cm Tiefe. Deutlich ist zu erkennen, daß der Oberboden der Tiefpflugparzelle durchweg weniger feucht ist, als die beiden Vergleichsparzellen. Eine eindeutige Wirkung der Dränung ist nicht zu erkennen.

In 40 cm Tiefe wiederholt sich das Bild. Sehr deutlich kommt die Überlegenheit der Tiefpflugparzelle nach stärkeren Niederschlägen zum Ausdruck. Die Ganglinien lassen erkennen, daß hier Niederschläge rascher vertikal abziehen. Die Dränparzelle scheint hier der Nullparzelle sogar noch unterlegen zu sein.

Anders das Bild in 60 cm Tiefe. Die Tiefpflugparzelle weist hier nach Niederschlägen die niedrigsten Saugspannungen auf. Hier muß weiter berücksichtigt werden, daß wegen der veränderten Porenverteilung größere Wassermengen auf die hier interessierenden pF-Wert-Bereiche entfallen, als es in den unveränderten B_t -Horizonten der Fall ist. Dies schneller abgeführten Wassermengen finden hier also vorübergehend Aufnahme; aber selbst diese größeren Wassermengen werden nach Aufhören der Niederschläge schneller nach unten abgegeben als die geringeren Wassermengen der unveränderten B_t -Horizonte. Hier liegt wohl ein eindeutiger Beweis für die Erhöhung der kapillaren Leitfähigkeit durch den Tiefumbruch.

Dieser Beweis ist aber auch anhand der beiden letzten Bilder zu führen: In der Tiefpflugparzelle treten die höchsten Feuchtwerte in der Regel in 60-80 cm Tiefe auf, während diese in der Dränparzelle bereits in 40 cm Tiefe zu finden sind.

In der Tiefpflugparzelle erfolgt nach hinreichend großen Niederschlägen eine rasche und gleichmäßige Umkehr des Saugspannungsgradienten im Profil, der nach Aufhören der Niederschläge ebenso rasch und gleichmäßig in seinen "Normalverlauf" zurückstrebt. In der Dränparzelle fällt vor allem auf, daß der B_t -Horizont diese den Abzug des Niederschlages charakterisierende Gradienten-Umkehr nicht mitmacht; seine pF-Werte liegen stets höher als diejenigen des A_1 . Dies zeigt besonders deutlich die Behinderung des kapillaren Wasserabzuges durch den B_t -Horizont. Die Folge ist ein sehr schleppender Abbau der nach Niederschlägen im A_1 auftretenden Feuchtemaxima. Die Melioration dieses ökologisch ungünstigen Wasserhaushaltes durch den Tiefumbruch kann aufgrund dieser Ergebnisse als gelungen angesehen werden.

Die Bestandesentwicklung des Sommerweizens auf der Tiefflugparzelle war trotz der nassen Witterung 1965 sehr gut und offensichtlich besser als auf vergleichbaren, nicht tiefgepflügten Standorten, so daß auch pflanzenbaulich keine Bedenken gegen diese Maßnahme auf den hier diskutierten Böden erhoben werden können.

Literatur

- Baver, L.D.: Soil Physics, 3rd Ed.J.Wiley S^s, Inc.New York, Chapman and Hall, London
- Benecke, P.: Die Geländeansprache des Bodengefüges in Verbindung mit der Entnahme von Stechzylinderproben für Durchlässigkeitsmessungen
Z.f.Kulturtechnik, 7, H.2, 91-104, 1966
- Benecke, P.: Zur Interpretation und Auswertung von Durchlässigkeitsmessungen an Stechringen.
Scheffer-Festschrift 1964, S.77-88
Institut f.Bodenkunde, Göttingen, v.Siebold-Straße
- Cannel, G.H. and Stobzy, L.H.: Hydraulic gradients associated with infiltration in field studies.
Proc.Soil Sci.Soc. America 26, 112-114 (1962)
- Czeratzki, W.: Möglichkeiten zur Messung der Wasserbewegung im Boden mit Unterdrucklysimeter.
Vortrag;ersch.in Ber.aus d.L. - Anstalt f.Boden-nutzungsschutz d.L. Nordrh-Westf. S.23-33, Heft 3, 1962
- Hartge, K.H.: Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben
Z.f.Kulturtechnik, 2, 1961
- Hartge, K.H.: Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung
Z.f.Kulturtechnik 6, S.193-206, 1965
- Morton, J.H. and Hawkins, R.H.: Der Fließweg des Regenwassers von der Bodenoberfläche zum Wasserspiegel
Soil Sc. 100, 377 - 388, 1965
- Scheffer, F.und Schachtschabel, P.: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, 1.Teil: Bodenkunde, Verlag Enke Stuttgart
- Zimmermann, U., Münnich, K.O., Roether, W., Kreuz+, W., Schubach, K., Siegel, O.: Downward movement of soil moisture traced by means of hydrogen isotopes. - Evaluation of evapotranspiration. Vortrag, gehalten auf dem Kongreß der Intern. Ass. der Hydrogeologen, Hannover, Sept. 65

Profil-	Horiz.	Entn.- Tiefe cm u.Gel.	pH	Karbo-	Org. Subst.	T- Wert	Ton			Schluff			Sand			Trok- ken- raum- gewicht
							2 / μ	2-20 / μ	20-60 / μ	2-20 / μ	20-60 / μ	60-200 / μ	200-600 / μ	600-2000 / μ		
219	A _p	5 - 10	7,0	0,6	1,9	13,2									1,40	
	SA ₁	35 - 43	6,7	0,1	0,6	10,5	16,9	22,4	51,2	6,4	2,8	0,3		1,37		
	B _t 1	60 - 68	6,3		0,4	16,4	28,2	23,8	43,6	4,4	0,0	0,0		1,54		
	B _t 2	90 - 100	6,4		0,2	14,3	26,2	22,1	47,0	4,9	0,0	0,0		1,63		
	B _v	120 - 130	6,4		0,2	10,5	18,1	18,9	58,1	4,9	0,0	0,0		1,63		
	II	160 - 165	6,3		0,1	13,6	29,1	12,0	11,0	19,7	19,7	8,5		1,80		
223	A _p	5 - 15	6,5		1,6	14,3								1,34		
	SA _p A ₁	20 - 30	6,4		0,5	13,9	18,2	27,7	50,7	3,3	0,0	0,0		1,51		
	SA ₁	35 - 45	6,1		0,7	12,6	20,6	27,0	51,1	1,3	0,0	0,0		1,48		
	SA ₁ B _t	50 - 60	6,1		0,3	16,5	30,5	27,7	38,9	2,9	0,0	0,0		1,55		
	SB _t	70 - 80	6,2		0,2	17,0	28,5	31,6	37,4	2,1	0,0	0,0		1,62		
	SB _{vt}	115 - 125	6,1		0,3	21,9	-	-	-	-	-	-		1,61		
	SB _{tv}	155 - 165	6,2		0,2	19,8	34,4	24,6	38,9	2,1	0,0	0,0		1,56		
SC	190 - 200	7,4	4,3	0,2	17,7								1,65			

Tabelle 1

Abb. 1: Profil 219 – Parabraunerde aus Löß

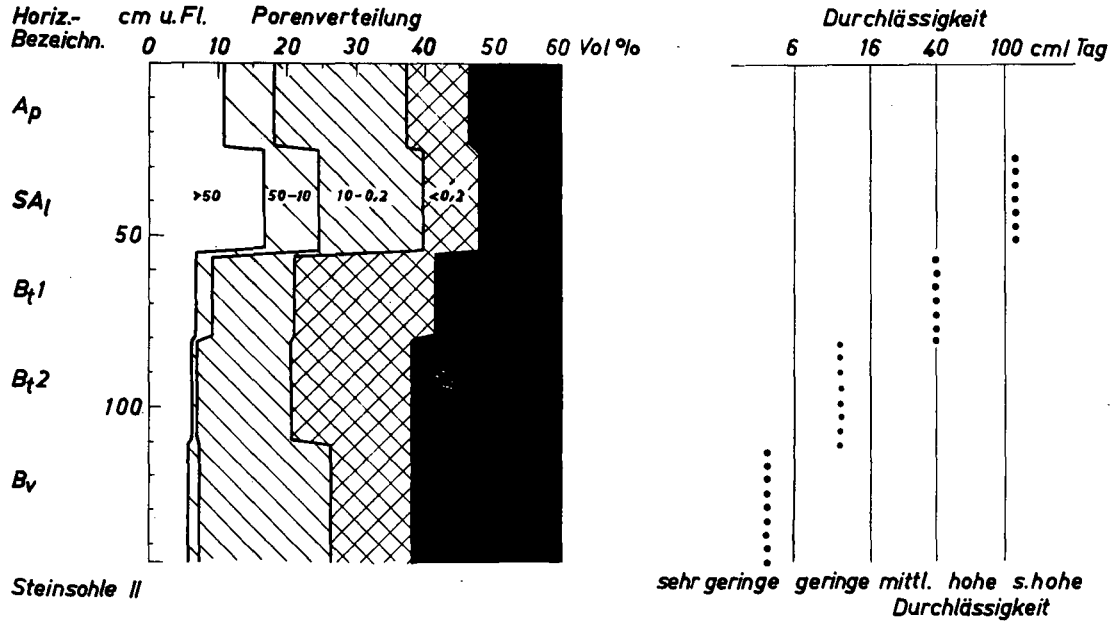
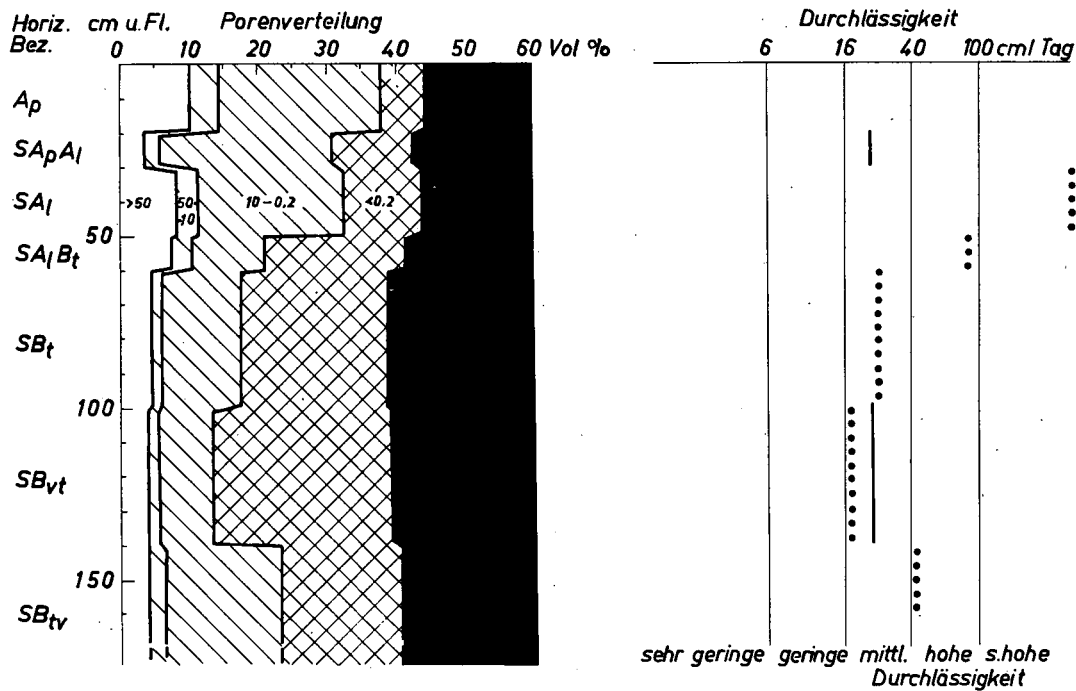


Abb. 2: Profil 223 - Pseudogley-Parabraunerde aus umgelagertem Löß



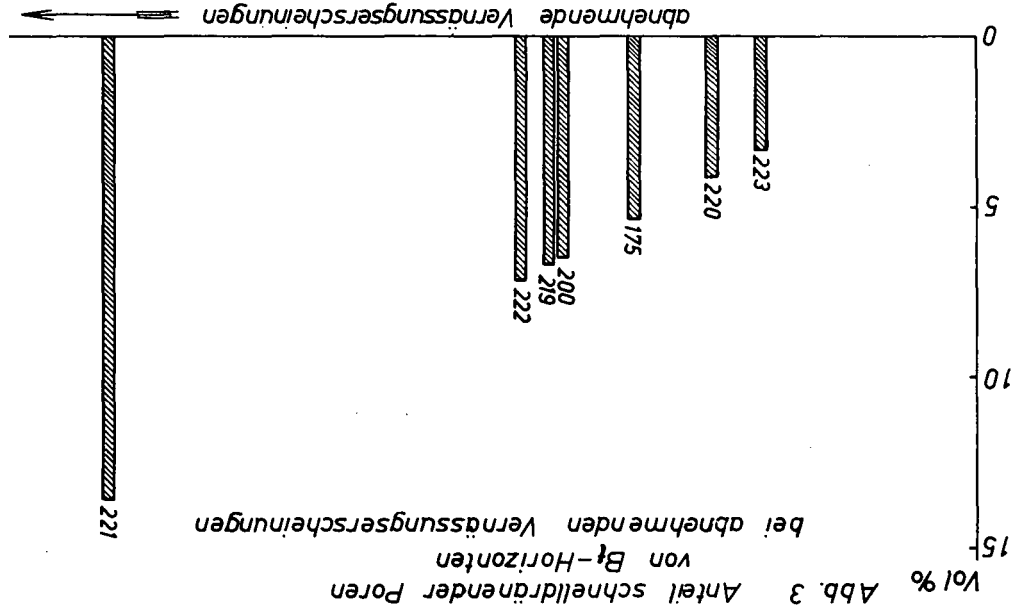


Abb. 4 Verteilung der pF-Werte z. Zt. d. Probenahme

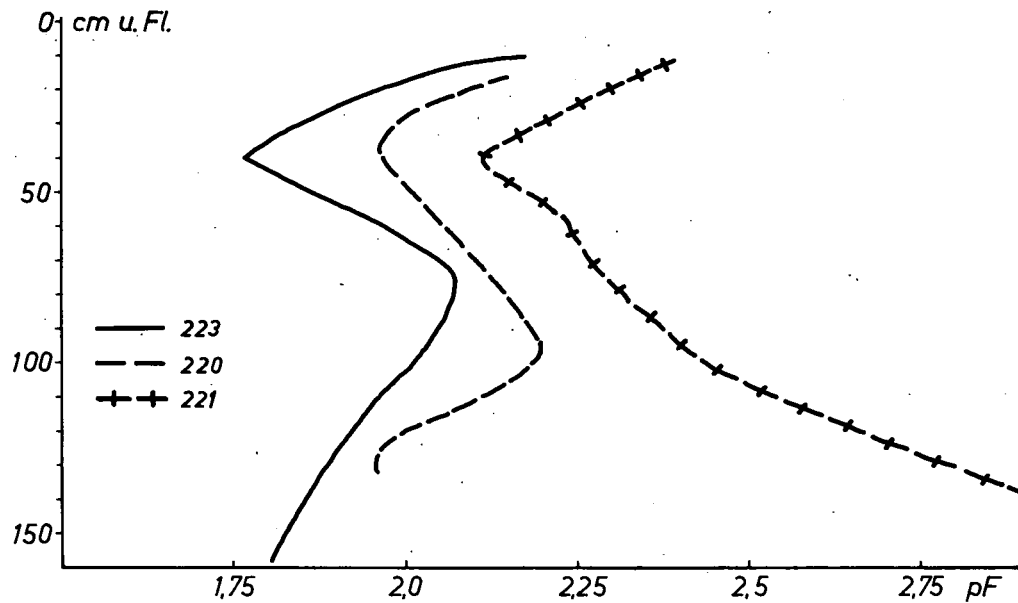
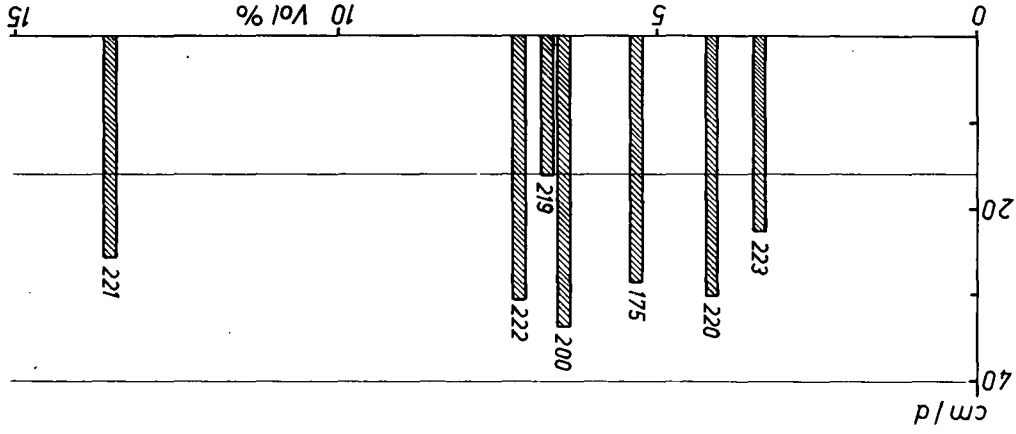
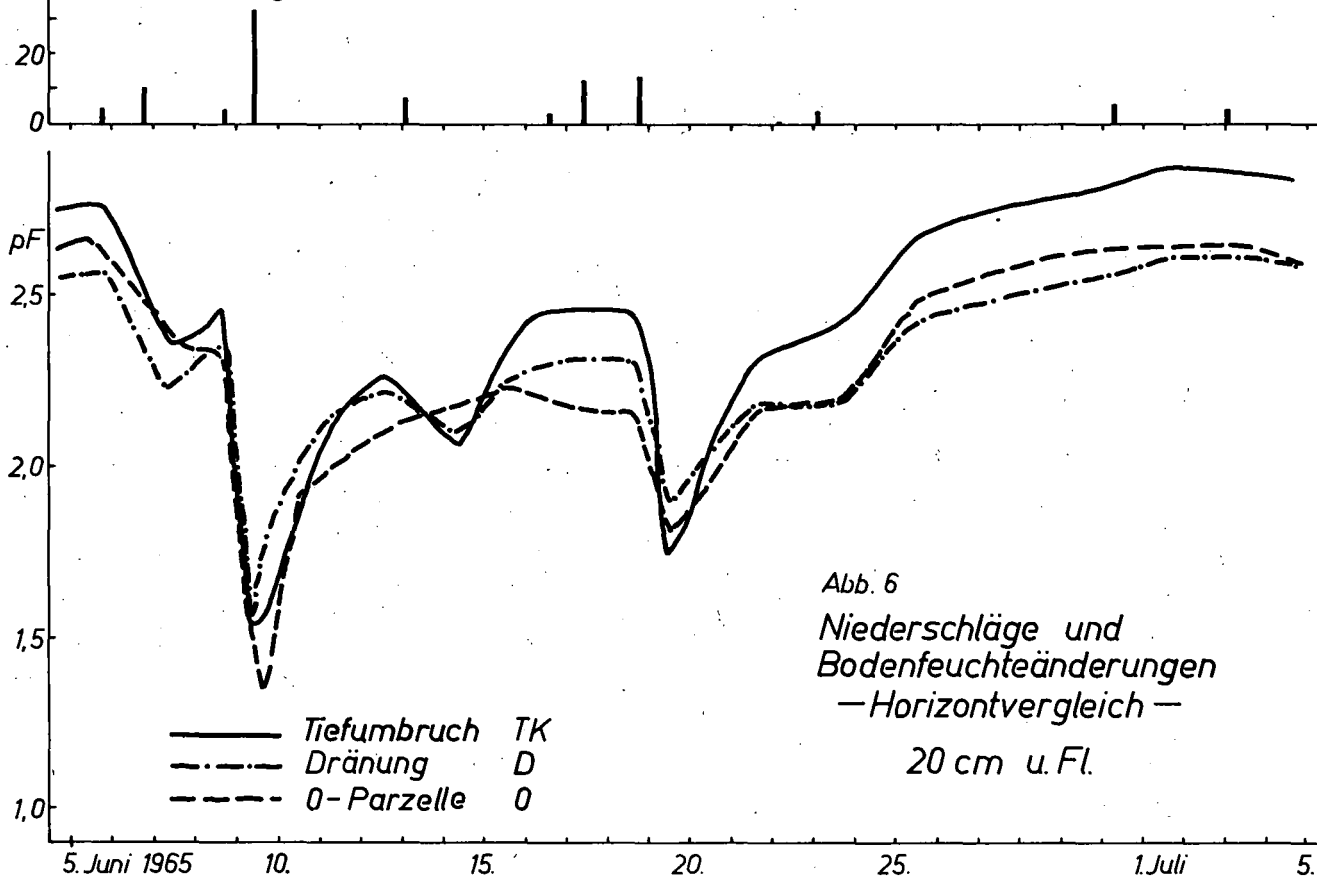


Abb. 5
 kt-Werte in B_t-Horizonten
 in der Reihenfolge abnehmender Vernässungsercheinungen



40 mm Niederschläge



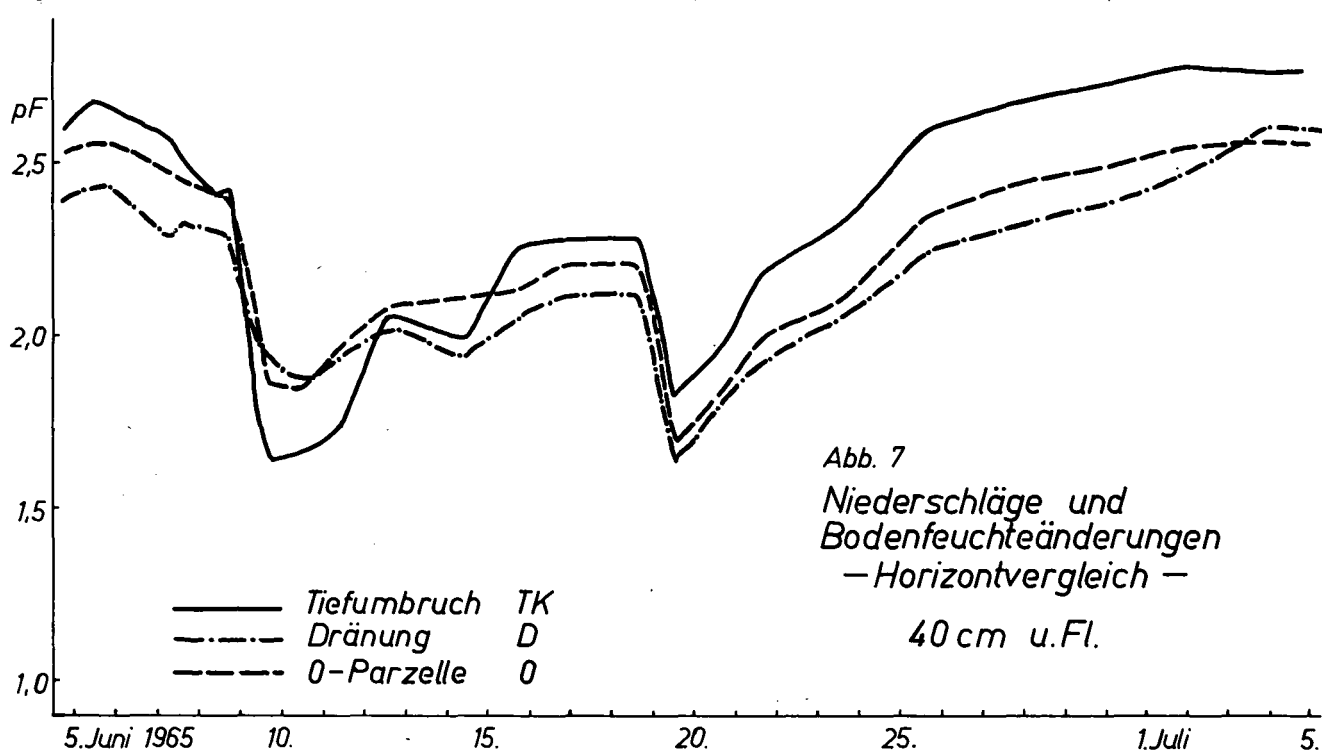
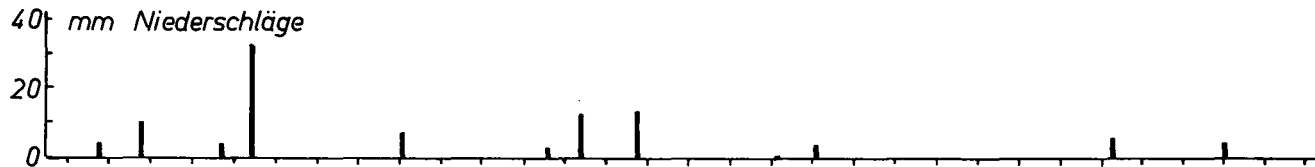
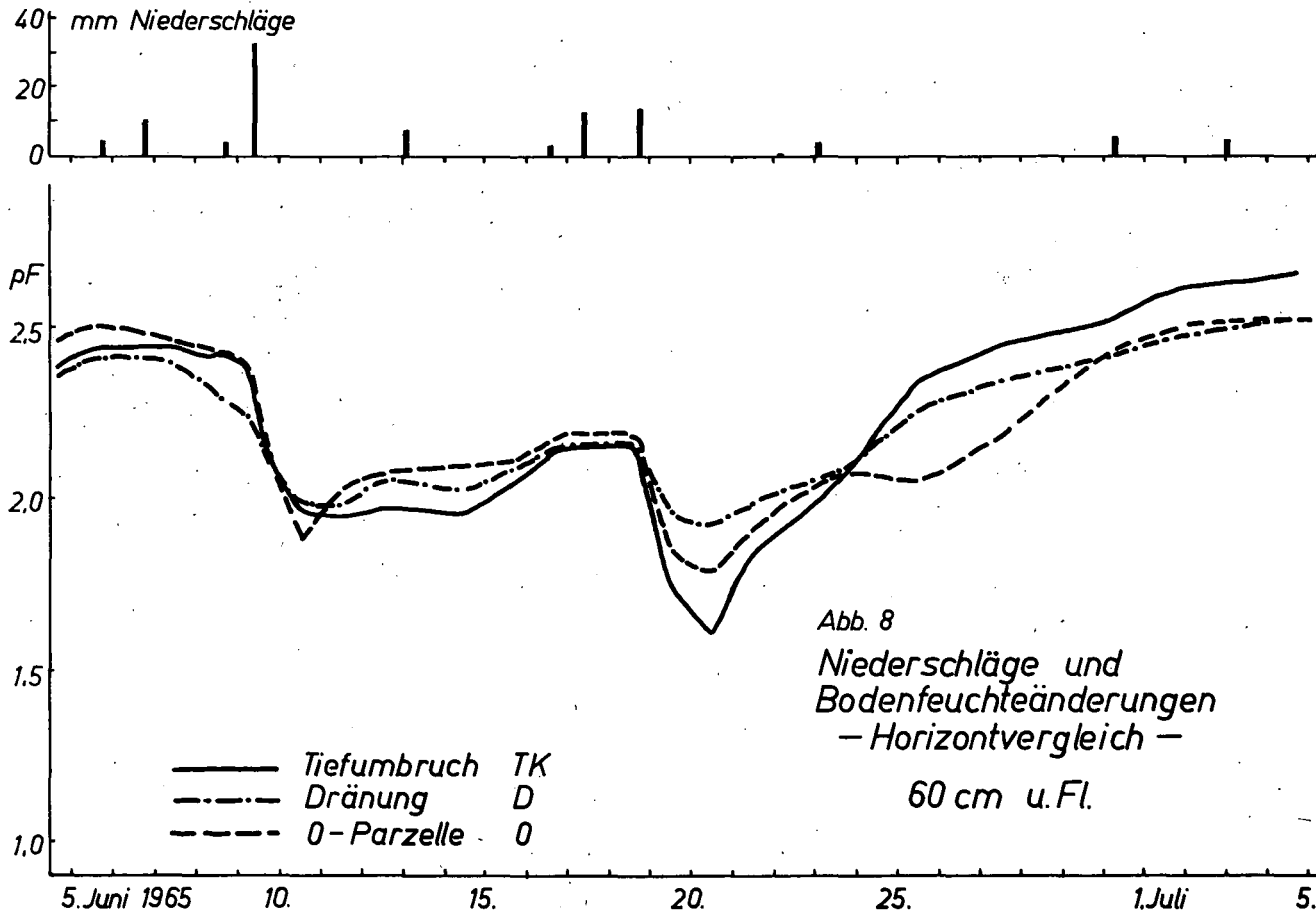
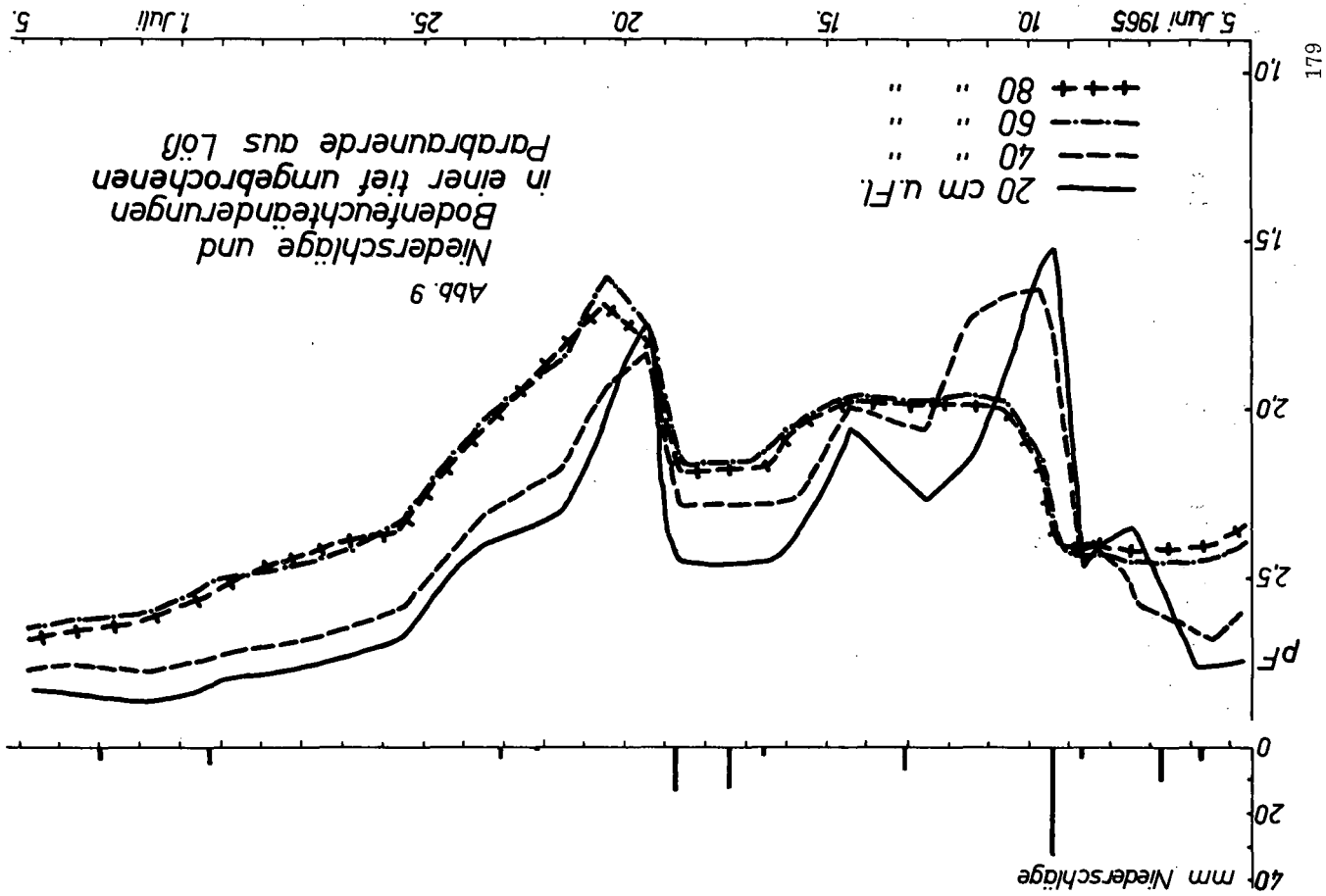
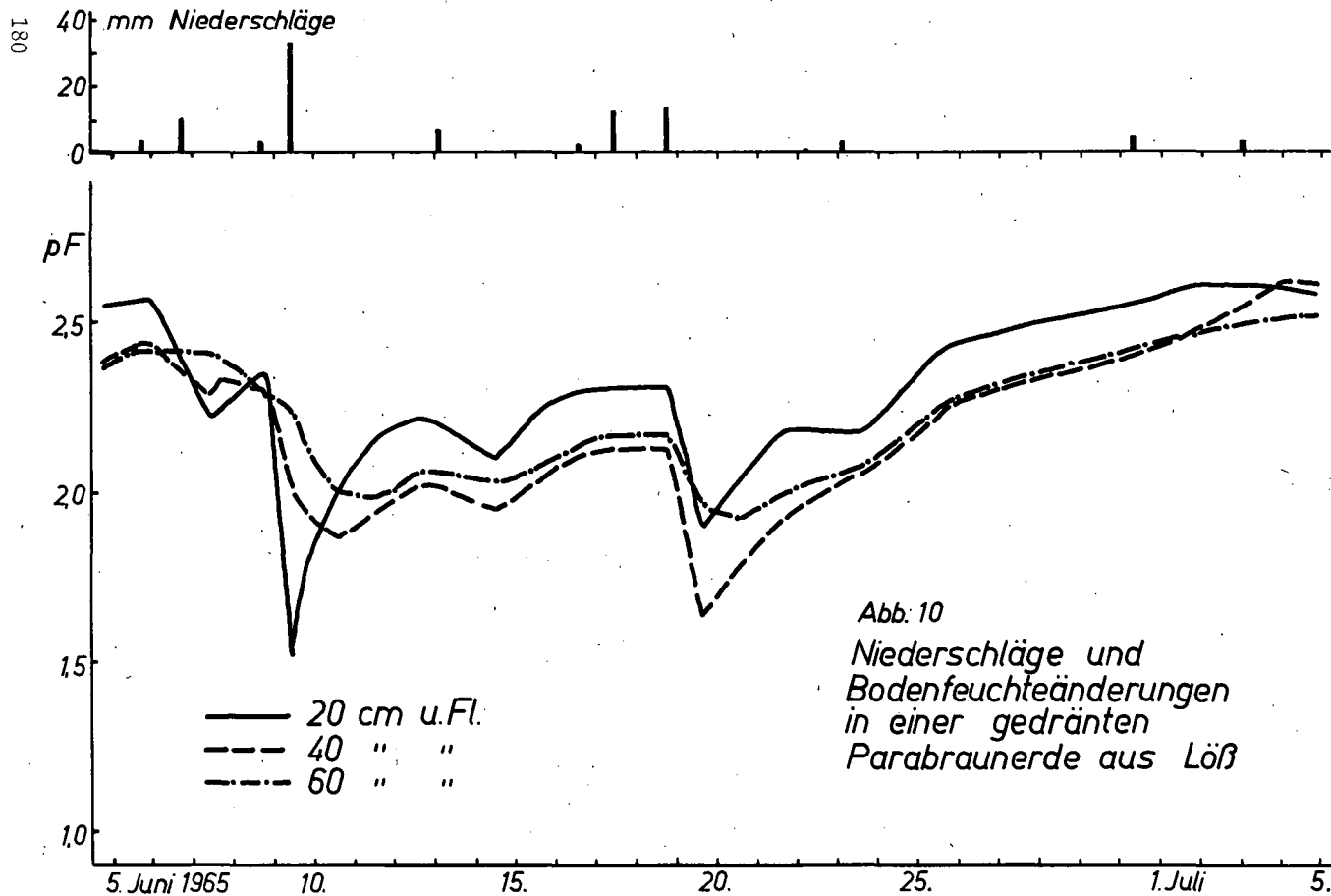


Abb. 7
 Niederschläge und
 Bodenfeuchteänderungen
 — Horizontvergleich —
 40 cm u. Fl.







Zusammenhänge zwischen den Anteilen verschiedener Porenbereiche und anderen Bodeneigenschaften

von K. H. Hartge ⁺⁾

I. Einleitung

Der Anteil der verschiedenen Porengrößenbereiche am Gesamtporenvolumen ist einerseits von der Korngrößenverteilung, andererseits von der Struktur abhängig. Beide Zusammenhänge können von der organischen Substanz im Boden beeinflusst werden. Im folgenden werden einige Versuche beschrieben, die Anteile dieser Einflüsse gegeneinander abzugrenzen.

II. Material und Methoden

Das bei den vorliegenden Untersuchungen herangezogene Material stammt aus ca. 90 Bodenprofilen aus Niedersachsen. Es enthält vor allem folgende Ausgangssubstrate: Löß, Moränen, Flugsande, Marschen- und Aueablagerungen. Die Proben entstammen verschiedenen Profiltiefen von 0 - 100 cm.

An allen Proben wurden folgende Bestimmungen durchgeführt:

Korngrößenverteilung: Pipettmethode für $< 60 \mu$ Siebung für $> 60 \mu$. Vorbehandlung mit H_2O_2 und $Na_4P_2O_7$ in Anlehnung an LÜTTMER und JUNG (1955).

Organische Substanz: Nasse Verbrennung.

Porengrößenverteilung: Poröse Platten und Druckmembranen nach RICHARDS (1949).

Die Porengrößen wurden unterteilt in grobe Poren ($> 10 \mu$), mittlere Poren ($10 - 0,2 \mu$) und feine Poren ($< 0,2 \mu$). Die groben Poren wurden weiter unterteilt in $> 50 \mu$ (sehr grobe Poren) und $50 - 10 \mu$.

⁺⁾ K. Hartge, 3. Hannover-Herrenhausen, Herrenhäuser Straße 2

III. Ergebnisse

Die Verteilung der verschiedenen Porengrößen bezogen auf den Tongehalt des Bodens, ist in Abb. 1 dargestellt. Die auf den Abbildungen eingetragenen Meßpunkte sind Mittel von je 20 - 50 Einzelwerten, die durch Einteilung des Gesamtmaterials nach dem Tongehalt in Gruppen von 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30 % Ton erhalten wurden. Die Abbildung zeigt eine mit steigendem Tongehalt, zunächst, starke, dann schwächer werdende Abnahme des Anteiles grober und sehr grober Poren. Beide Kurven laufen annähernd parallel, und die Korrelation zwischen beiden Wertegruppen beträgt $r = 0,94$, weil die sehr groben Poren eine Teilmenge der groben Poren darstellen.

Der Anteil der mittleren Poren ist demgegenüber vom Tongehalt weitgehend unabhängig. Bei ≤ 10 % Ton findet man besonders wenig, bei 10 - 20 % Ton besonders viel mittlere Poren. Das ist eine Folge des geringen Schluffanteiles bei Sandböden bzw. des hohen Schluffanteiles bei Lößböden. Der Anteil der feinen Poren steigt mit zunehmendem Tongehalt an. Um die Art der Zusammenhänge näher zu beschreiben, wurden die Korrelationskoeffizienten für die Gesamtmenge der Einzelwerte errechnet und in Tabelle 1 dargestellt. Die Tabelle läßt erkennen, daß nur für den Fall "feine Poren : Ton" die Erklärbarkeit der Veränderung 75 % überschreitet. Für den Einfluß der organischen Substanz bleibt die Erklärbarkeit sogar unter 10 %. An diesen Verhältnissen ändert sich auch nichts Wesentliches, wenn partielle Korrelationen berechnet werden, so daß der Einfluß von Ton bzw. organischer Substanz ausgeschaltet wird.

Diese Koeffizienten zeigen also, daß aus dem Tongehalt nur auf den Anteil der feinen Poren mit einiger Sicherheit geschlossen werden kann, nicht dagegen auf die Anteile der anderen Porenbereiche.

IV. Diskussion

Eine Untersuchung der Korrelationskoeffizienten zeigt, daß vor allem die Koeffizienten für den Einfluß der organischen Substanz erstaunlich klein sind. Aber auch die Koeffizienten für sehr grobe Poren bzw. mittlere Poren : Ton sind niedrig. Das kann daran liegen, daß nichtlineare Zusammenhänge bestehen (vgl. Abb. 1). Es kann aber auch in der Art der Verteilungen begründet sein.

Um dieses näher zu untersuchen, wurden die Häufigkeitsverteilungen aller beteiligten Größen gezeichnet. Für die sehr groben und die feinen Poren sind die Ergebnisse in Abb. 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Veränderungen der sehr groben Poren und der feinen Poren bei zunehmendem Tongehalt sehr verschiedener Art sind. Während bei den feinen Poren der Anteil bei steigendem Tongehalt regelmäßig zunimmt, nimmt bei den sehr groben Poren der Anteil der Proben zu, bei denen $< 5\%$ sehr grobe Poren vorkommen. Das bedeutet, daß die Menge an sehr groben Poren, die im Boden gebildet wird, vom Tonanteil weitgehend unabhängig ist. Es kommen aber mit zunehmendem Tonanteil immer häufiger Proben vor, bei denen praktisch gar keine sehr groben Poren ausgebildet sind.

Der Anstieg des Anteiles an Proben mit $< 5\%$ sehr groben Poren bei steigendem Tongehalt ist sehr regelmäßig (Abb. 3), so daß aus dem Tongehalt auf die Wahrscheinlichkeit geschlossen werden kann, mit der $> 5\%$ sehr grobe Poren ausgebildet sind.

In ähnlicher Art wie die Häufigkeitsverteilung der sehr groben Poren sind auch die der organischen Substanz schief. Das bedeutet, daß die arithmetischen Mittel durch die Lage einiger besonders hoher Zahlen stark beeinflusst werden (Abb. 4). Die Lage dieser Mittelwerte läßt außerdem mit steigendem Tongehalt zunächst einen Anstieg, oberhalb 40% Ton wieder ein Absinken des Anteiles an organischer Substanz erkennen. Auch die Sandanteile 200 - 600 μ sind, wenn auch in geringem Maße unsymmetrisch verteilt. Die Häufigkeitsverteilungen des Anteiles an Ton, Schluff (20 - 60 μ) und mittleren Poren verhalten sich ähnlich wie die der feinen Poren.

Die Verschiedenheit der Verteilungsformen ist wahrscheinlich eine wichtige Ursache für die verhältnismäßig niedrigen Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Porenbereich und organischer Substanz. Eine weitere Ursache für die niedrigen Koeffizienten kann die im Vergleich zur Ton-Abszisse kurze Abszisse für die organische Substanz sein. Die Tongehalte reichen im verwendeten Material von 0 - 60 %, die der organischen Substanz nur von 0 - 26 %. Um die Unsicherheiten, die durch verschiedene Klassenlängen und Verteilungsformen in die Korrelationsrechnung kommen, zu umgehen, wurden für die in Tab. 1 angegebenen Wertekombinationen die Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN für die in

Gruppen von je 10 % Tongehalt eingeteilten Werte errechnet. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 dargestellt.

Es ist zu erkennen, daß die Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Wertegruppen bei verschiedenen, durch den Tongehalt gekennzeichneten Bodenarten unterschiedlich sind.

Bei den sehr groben Poren (Abb. 5 oben) ist der Einfluß des Tongehalts bei geringem Tonanteil negativ. Dies ist wahrscheinlich eine Folge davon, daß die groben Poren eines Sandes durch wachsenden Tonanteil zunächst verstopft werden. Bei weiter wachsendem Tonanteil wird $r_s > 0$. Der hohe positive Koeffizient bei 50 - 60 % Ton ist nicht signifikant, so daß man nur von einer Abnahme, nicht dagegen von einer Umkehrung des Einflusses sprechen kann. Der Einfluß der Sandfraktion (m.S. = 200 - 600 μ) ist naturgemäß nur in tonarmen Böden signifikant. Der Einfluß der organischen Substanz ist sehr wechselnd und zeigt keine Tendenz.

Bei den mittleren Poren (Abb. 5 Mitte) ist der Einfluß des Grobschluffs (g.U. = 20 - 60 μ) am stärksten. Er nimmt jedoch mit steigendem Tongehalt ab, und ist bei > 40 % Ton nicht mehr signifikant. Die Einflüsse anderer Fraktionen bzw. Fraktionsgruppen sind weniger eng mit diesem Porenbereich korreliert (Tab. 2). Der Einfluß der organischen Substanz ist hier bei tonarmen Böden relativ hoch, sinkt aber bald auf annähernd Null. Der Einfluß des Tongehaltes ist sehr wechselnd und zeigt keine Tendenz.

Bei den feinen Poren (Abb. 5 unten) haben sowohl der Tonanteil als auch der der organischen Substanz zunächst einen deutlichen positiven Einfluß. Dieser Einfluß sinkt aber in beiden Fällen mit steigendem Tongehalt. Die beiden Werte für r bei 50 - 60 % Ton sind nicht gesichert, so daß man auch hier nur von einer Abnahme, nicht aber von einer Umkehrung des Einflusses sprechen kann.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse bei den sehr groben Poren besonders wenige signifikante Korrelationen. Das kann daran liegen, daß diese Poren außer bei den Sandböden überwiegend strukturbedingt sind. Die hier verwendeten Größen wie organische Substanz und Tongehalt sagen daher über den Anteil dieser Poren wenig aus. Größen, die die Struktur insgesamt charakterisieren, gibt es jedoch nicht. Mit abnehmender Porengröße

steigt der Einfluß der Körnung und der der organischen Substanz. Aber auch hier nehmen diese Einflüsse wie bei den sehr groben Poren mit steigendem Tongehalt ab.

V. Zusammenfassung

An 200 Bodenproben aus 90 Profilen aus Niedersachsen wurden Poren- und Korngrößenverteilungen und organische Substanz bestimmt und die Zusammenhänge zwischen diesen Wertegruppen berechnet. Dabei wurden folgende Ergebnisse erhalten:

1. Sehr grobe Poren ($> 50 \mu$): Je mehr Ton der Boden enthält, desto seltener beträgt ihr Anteil $> 5\%$ des Gesamtvolumens. Bei Sandböden ist ihr Anteil mit dem Mittelsand positiv, mit dem Tongehalt negativ korreliert. Bei allen anderen Böden sind die Korrelationen nicht signifikant, die Poren $> 50 \mu$ sind dann strukturbedingt.
2. Mittlere Poren ($0,2 - 10 \mu$): Ihr Anteil ist vom Tongehalt unabhängig. Sie sind am engsten mit dem Anteil an Grobschluff ($20 - 60 \mu$) korreliert. Mit steigendem Tongehalt wird diese Korrelation loser. Diese Poren sind bei Tongehalten zwischen $10 - 40\%$ überwiegend körnungsbedingt. Bei geringen Tongehalten hat die organische Substanz, bei höheren die Struktur einen Einfluß.
3. Feine Poren ($< 0,2 \mu$): Ihr Anteil ist vom Tongehalt und vom Anteil an organischer Substanz abhängig. Mit steigendem Tongehalt nimmt die Straffheit dieser Zusammenhänge ab. Die feinen Poren sind bei Tongehalten bis 30% überwiegend körnungsbedingt, bei höheren Tongehalten kommen andere, wahrscheinlich z.T. strukturbedingte Einflüsse dazu.

VI. Schrifttum

- Lüttmer, J. und Jung, L. (1955) Notizblatt Hess.Landesamt Bodenfor-
schung 83, 282 - 291
- Richards, L.A. (1949) Soil Sci. 68, 95 - 112

Tabelle 1 Korrelationskoeffizienten für die Zusammenhänge zwischen bestimmten Porengrößenanteilen und dem Tongehalt

Wertekombination	Korrelationskoeffizient	
	r	r part.
sehr grobe Poren - Ton	- 0,54 ⁺⁺⁺	- 0,54 ⁺⁺⁺)
mittlere Poren - Ton	+ 0,30 ⁺⁺⁺	+ 0,26 ⁺⁺⁺) org.
feine Poren - Ton	+ 0,91 ⁺⁺⁺	+ 0,91 ⁺⁺⁺) Subst.
) konst.
sehr grobe Poren - org.Subst.	+ 0,08	+ 0,16 ⁺)
mittlere Poren - org.Subst.	+ 0,28 ⁺⁺⁺	+ 0,29 ⁺⁺⁺) Ton
feine Poren - org.Subst.	+ 0,21 ⁺⁺	+ 0,29 ⁺⁺⁺) konst.

n = 199; ⁺⁺⁺p < 0,001
 ⁺⁺p < 0,01
 ⁺p < 0,05

Tabelle 2 Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen mittleren Poren und verschiedenen Korngrößenfraktionen

Wertekombination	Korrelationskoeffizient
mittlere Poren: 20 - 60 μ	0,78
2 - 60 μ	0,56
6 - 60 μ	0,44
20 - 200 μ	0,36
60 - 200 μ	- 0,22

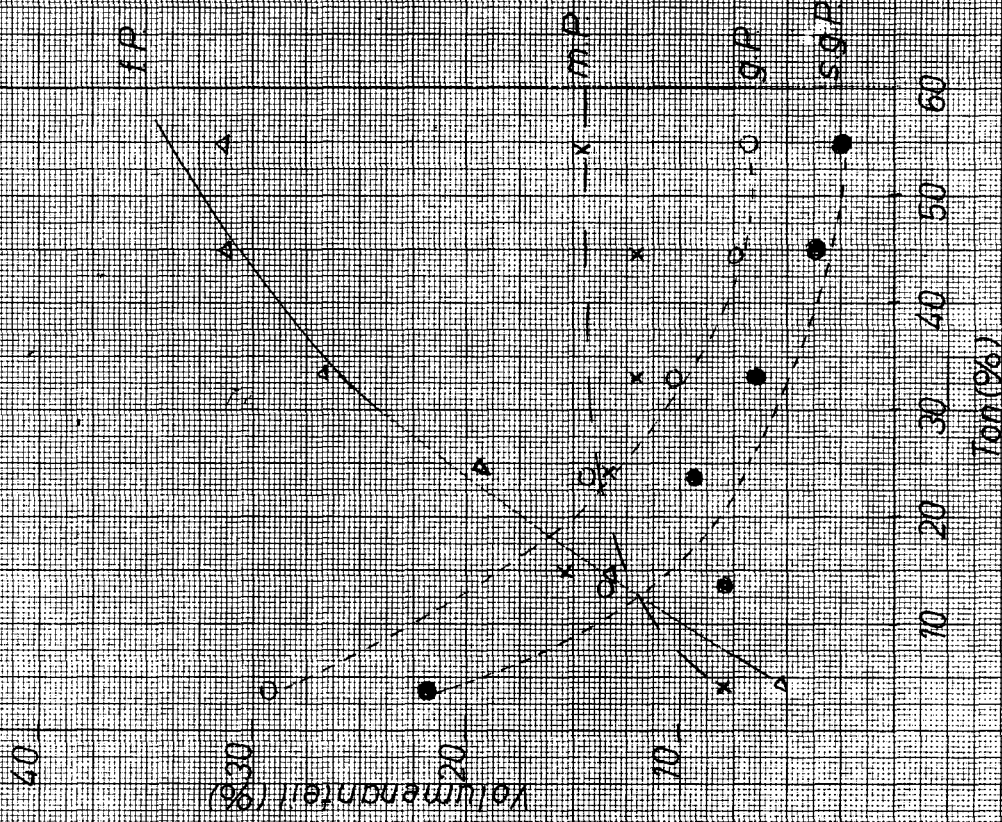


Abb. 1 Anteil der feinen Poren (f.P.) mittlere (m.P.) und sehr groben Poren (s.g.P.) am Gesamtvolumen in Abhängigkeit vom Tongehalt

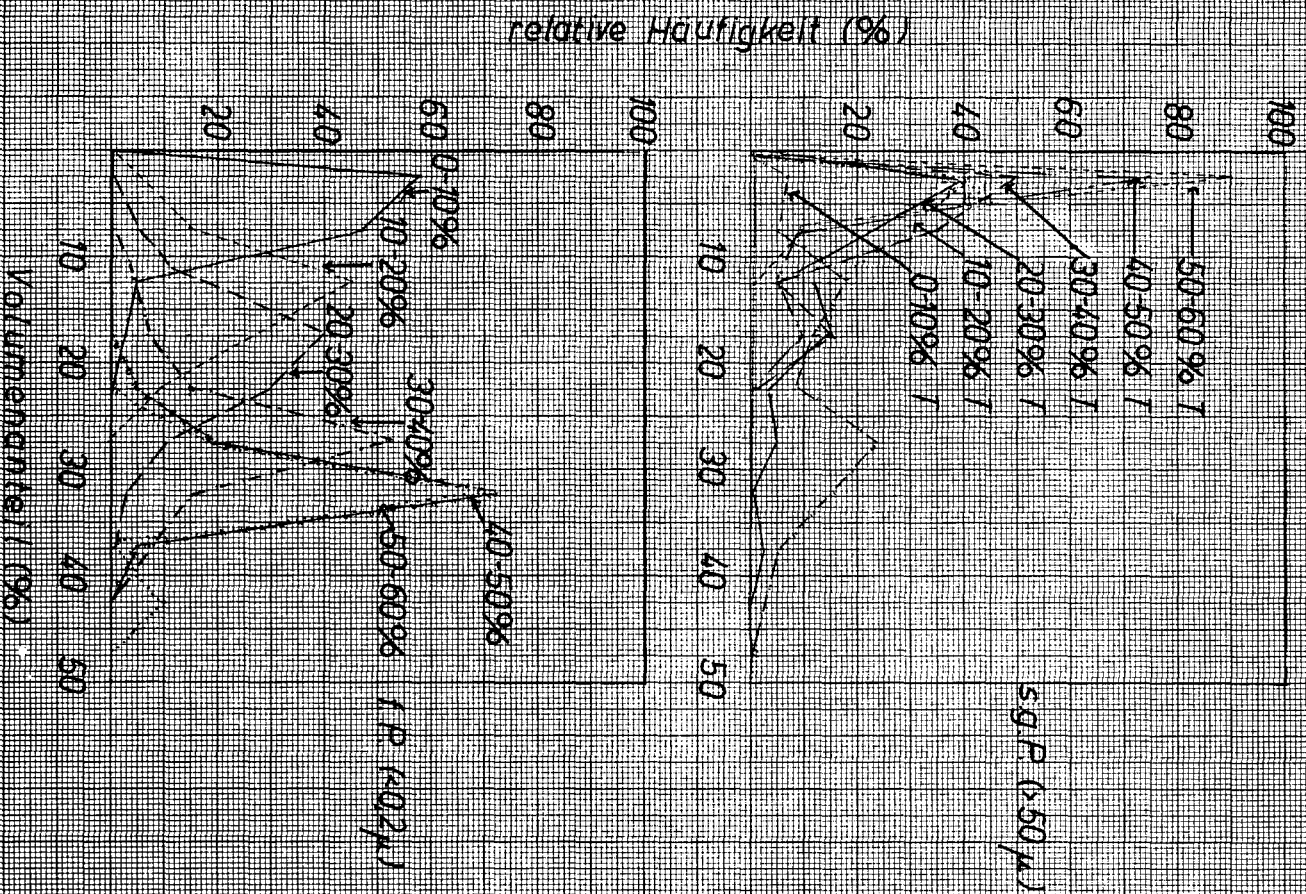


Abb. 2. Relative Häufigkeit der Volumensorte (a) im sehr groben (0,50 μm) und im feinen Porend (0,2 μm) in Abhängigkeit vom Porenanteil.

Anteil der Problem-5% sgp (%)

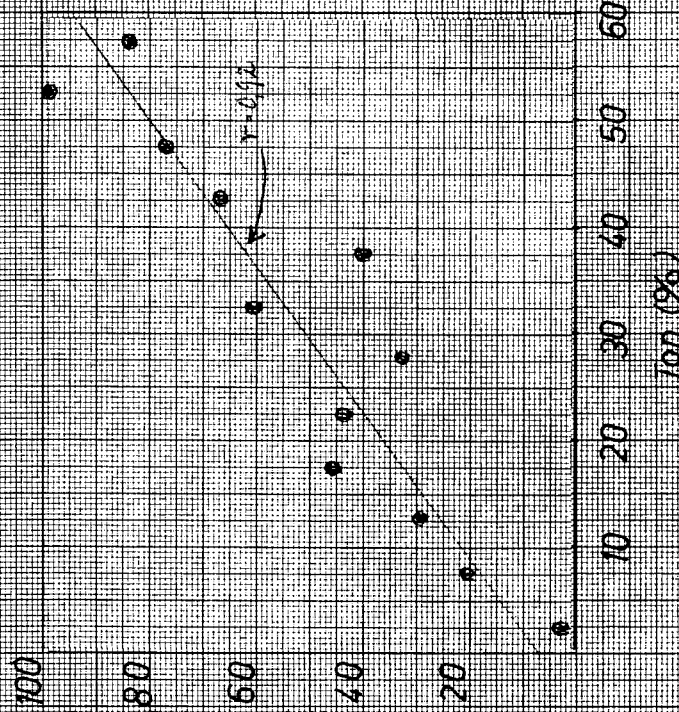


Abb. 3: Relativer Anteil der Problem-5% sgp bei den Tonproben, bei denen C_3 sehr grobe Poren vorkommen. Die Abhängigkeit vom Tongehalt beschränkt sich auf Intervalle von $\pm 5\%$ Ton.

org. Subst. (%)

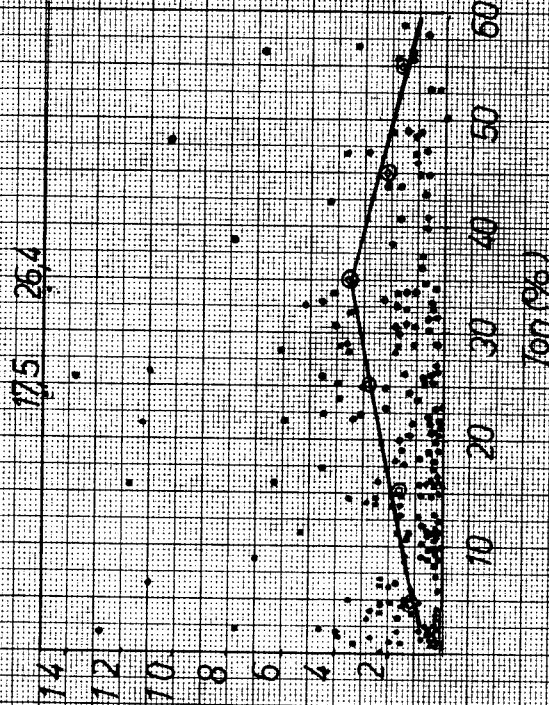


Abb. 4: Anteil an organischer Substanz in Abhängigkeit vom Tongehalt. Die durch die Linie verlaufenden Kreise bezeichnen die experimentischen Werte für die Intervalle 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 % Ton.

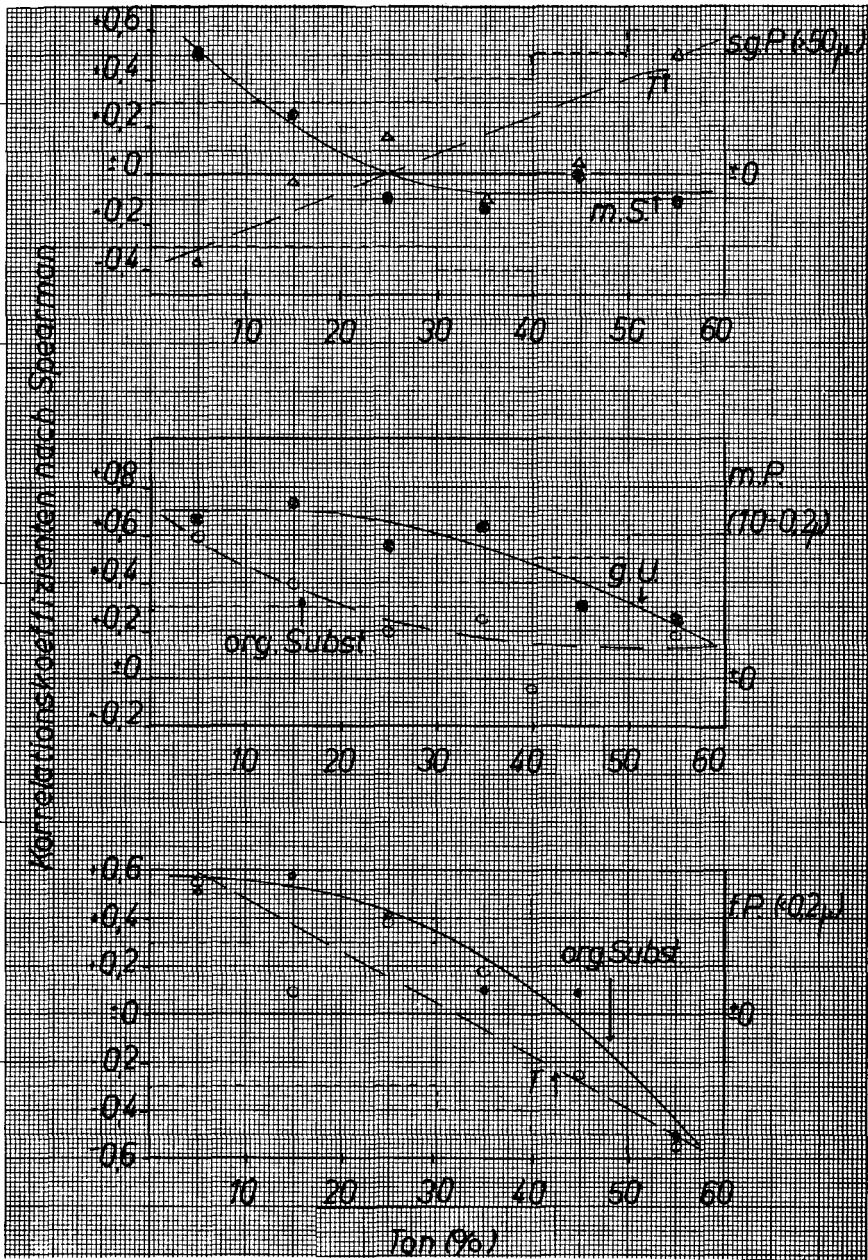


Abb. 5 Tendenz der Veränderung der Rangkorrelation zwischen sehr groben (s.g.P.), mittleren (m.P.) und feinen Poren (f.P.) und Ton, organischer Substanz, Mittelsand bzw. Grobschluff bei steigendem Tongehalt. Die Korrelationskoeffizienten zwischen \pm O und der Linie (.....) sind nicht signifikant, ober- bzw. unterhalb signifikant mit $p < 0,05$.

Vergleich bodenphysikalischer Eigenschaften von Pelosolen und Pseudogleyen

von H. Rid ^{*)}

Aus einer größeren Zahl von untersuchten Bodenprofilen wurden charakteristische Bodentypen herausgegriffen und als zwei Serien einander gegenübergestellt: Die Serie der Pseudogleye enthält eine Pseudogley-Parabraunerde, einen Pseudogley und einen Pseudogley-Gley. Ihr stehen gegenüber eine Pelosol-Rendzina, ein Pelosol und ein kalkhaltiger Pelosol. Eine größere Zahl von Profilen wiederzugeben, läßt die Übersichtlichkeit der Darstellung nicht zu. Die Pseudogley-Para-Braunerde wurde deswegen mit hereingenommen, weil sie es gestattet, den Bereich der Pseudogleye abzugrenzen. Mit der Pelosol-Rendzina und dem kalkhaltigen Pelosol sollte die Rolle des Kalkes und sein Einfluß auf bodenphysikalische Eigenschaften untersucht werden.

Neben der Beurteilung der physikalischen Eigenschaften von Pseudogleyen und Pelosolen bestand ein Ziel darin, festzustellen, wieweit es möglich ist, vom Phänotyp ausgehend die physikalischen Bodeneigenschaften zu beurteilen, Empfehlungen für die Art der Bewirtschaftung zu geben und Maßnahmen für die Verbesserung abzuleiten.

Grundlage des Vergleiches bilden die Textur, die Grobstruktur, die Feinstruktur, die Permeabilität für Wasser, bzw. die Einsickerungszeiten, die Permeabilität für Luft, die im Labor bestimmte Scherfestigkeit und Abreißfestigkeit.

Im Folgenden werden die Profile kurz charakterisiert:

*) Bayer. Landesanstalt f. Bodenkultur, Pflanzenbau
und Pflanzenschutz, München, Menzingerstr. 54

Serie der Pseudogleye

Standort Horizonte (cm)

Profil III C

Pseudogley-Parabraunerde	Ap	0 - 20
Lößlehm über Oberer Meeresmolasse	SA	20 - 40
des Tertiär	II.SB _t	40 - 130
Ackerland	C _v	130 - 150

Profil III D

Pseudogley	Ap	0 - 18
Lößlehm über Ton der	A ₁ S _w	18 - 45
Oberen Süßwassermolasse des		
Tertiär	B _t S _d	45 - 100

Profil Weilheim III

Pseudogley - Gley	A _h	0 - 16
Grundmoräne (Würm)	S _w	16 - 38
Grünland	S _d G _o	38 - 55
Serie der Pelosole	Gr	ab 60.

Profil IV F

Pelosol-Rendzina	A _h	0 - 15
Lehrbergsschichten des Oberen	C _{v1}	15 - 50
Gipskeupers (Trias)		
Obstplantage	C _{v2}	50 - 100

Profil IV E

Pelosol	A _h	0 - 20
Lettenkeuper (Trias)	P ₁	20 - 40
Ackerland	P ₂	40 - 90
	C _v	90 - 120

Profil IV H

Kalkhaltiger Pelosol	A _p	0 - 22
Blasensandstein (Trias)	PC ₁	22 - 60
Ackerland	PC ₂	60 - 80
	C _v	80 - 120

Aus den Schichten dieser Profile wurden die Proben entnommen und auf die genannten Eigenschaften hin untersucht. In den Diagrammen sind die Schichten von Krume über Unterboden zum Untergrund mit 1, 2, 3 bzw. 4 bezeichnet.

Textur

Nachstehend folgen die Ergebnisse der Texturanalysen:

Serie der	Grob- u. Mit- tel-Sand	Feinsand	Grob- schluff	Mittel- schluff	Fein- Schluff	Ton
<u>Pseudogleye:</u>	2 - 0,2	0,2-0,06	0,06-0,02	0,02- 0,006	0,006- 0,002	0,002
III C 0 - 20 cm	14,0	11,6	24,5	16,5	9,8	23,3
20 - 40 cm	12,6	9,4	24,3	15,7	8,1	29,9
ab 40 cm	11,8	10,3	21,7	15,5	3,9	36,8
III D 0 - 16 cm	15,4	6,0	34,5	19,0	6,4	18,7
16 - 45 cm	7,8	14,5	13,0	18,2	7,1	39,4
ab 45 cm	8,4	9,1	13,0	24,1	5,2	40,2
Weil- 0 - 16 cm	13,4	23,3	31,4	10,3	2,6	19,0
heim 22 - 42 cm	6,2	12,8	24,8	20,9	13,5	21,8
III 48 - 68 cm	4,1	3,7	7,8	25,7	8,7	50,0
<u>Serie der Pelosole:</u>						
IV F 0 - 15 cm	11,8	21,1	13,4	15,1	14,2	24,4
35 - 50 cm	19,2	14,3	7,5	15,6	11,8	31,6
55 - 75 cm	1,0	9,1	15,9	26,9	17,0	30,1
ab 90 cm	25,3	17,3	11,3	12,0	7,2	26,9
IV E 0 - 20 cm	1,6	14,1	17,7	23,7	10,9	32,0
20 - 40 cm	4,2	7,0	10,4	21,0	13,7	43,7
40 - 90 cm	3,4	13,1	6,5	10,0	21,7	45,3
ab 100 cm	5,0	11,7	6,7	3,2	18,3	55,1
IV H 0 - 20 cm	1,4	15,4	18,1	19,6	17,2	28,4
20-40 cm	7,7	11,7	17,6	16,2	8,4	38,4
50-70 cm	6,1	12,7	16,6	17,3	11,0	36,3
ab 75 cm	7,8	16,8	15,5	17,3	12,7	29,9

Es wird oft die Ansicht vertreten, daß der Tongehalt für die Ausbildung physikalischer Eigenschaften maßgebend ist; bei den vorliegenden Untersuchungen konnten nach dieser Richtung keine feststehenden Beziehungen ermittelt werden. Die bestehenden Parallelen sind je nach gegebener Konstellation der beteiligten Faktoren mehr oder weniger zufälliger Art. Es kann eine Beziehung zwischen Tongehalt und ungenügender Durchlüftung bestehen, sie ist jedoch nicht die Regel, gleiches gilt für die Wasierdurchlässigkeit, die Grobstruktur und die Scherfestigkeit. Dagegen besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Tongehalt und Porengrößen, bzw. Abreißfestigkeit.

Es besteht aller Grund, bei der Beurteilung einer Tondurchschlammung durch die Texturanalyse Vorsicht walten zu lassen. Bei den dargestellten Profilen handelt es sich um Böden, die während ihrer Genese einige Umwandlungen erlebt haben. Wenn man Tondurchschlammungen feststellen will, sollte man neben der Texturanalyse vor allem auch die Mikromorphologie zu Rate ziehen.

Grobstruktur und Feinstruktur

Das Porenvolumen, das aus dem Diagramm der Abb. 1 zu entnehmen ist, liegt bei Pelosolen im allgemeinen niedriger als bei Pseudogleyen. Auch bei der Pelosol-Rendzina, dem Boden mit einem Kalkgehalt von bis 15 % erreicht es im Unterboden und Untergrund nur 40 %. Der typische Pseudogley III.D weist ebenso von der Krume bis zum Untergrund Werte auf, die bei 40 und darunter liegen.

In der Pseudogleyserie überwiegen die groben und mittleren Poren; die Pelosole besitzen vor allem einen höheren Anteil an Poren unter $0,2\mu$, der in manchen Schichten mehr als 50 % beträgt.

Permeabilität für Wasser

Die Werte der Permeabilität für Wasser sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt. Den Laborwerten sind die Ergebnisse von Feldmessungen gegenübergestellt, die aus Einsickerungsversuchen resultieren.

	Permeabilität für Wasser	
	Kf-Wert - Labor $1 \cdot 10^{-4}$ cm/sec.	Einsickerungs- werte Feld Min.
<u>Serie der</u>		
<u>Pseudogleye:</u>		
III C 8 - 13 cm	n.b.	4
22 - 27 cm	n.b.	190
60 - 65 cm	n.b.	268
III D 0 - 5 cm	0,2	412
20 - 28 cm	0,4	136
60 - 65 cm	0	950
<u>Weil-</u>		
heim 6 - 11 cm	21,2	1199
III 22 - 27 cm	4,7	200
48 - 53 cm	14,1	2400
<u>Serie der</u>		
<u>Pelosole:</u>		
IV F 5 - 10 cm	48,1	1
35 - 40 cm	43,7	960
55 - 60 cm	0	2400
90 - 95 cm	0,2	2400
IV E 10 - 15 cm	14,5	98
20 - 25 cm	0,2	245
60 - 54 cm	0,5	554
ab 100 cm	0	780
IV H 8 - 12 cm	1,5	4800
20 - 25 cm	0,1	4620
50 - 55 cm	0,1	6000

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß sich die Werte bei Pseudogleyen und Pelosolen sehr stark gleichen, oder anders ausgedrückt, Pseudogleye und Pelosole besitzen eine ungenügende Wasserdurchlässigkeit. Bei der Pelosol-Rendzina ist die Durchlässigkeit nur im Krumbereich günstiger ausgebildet, hier hat der hohe Kalkgehalt wahrscheinlich die Möglichkeit, seine Wirkung zu entfalten; im Unterboden und Untergrund verbessert ein höherer natürlicher Kalkgehalt nicht ohne weiteres die physikalischen Eigenschaften. Man kann nicht sagen, daß bei einem kalkhaltigen Pelosol die Wasserführung und die Durchlüftung besser wären als beim typischen Pelosol, der Vergleich der Profile IV E (Pelosol) und IV H (kalkhaltiger Pelosol) zeigt dies deutlich.

Beim Vergleich Labormethode - Feldmethode besteht zwar keine absolute Übereinstimmung, man sieht jedoch aus den Zahlen, daß die gegebenen Verhältnisse richtig getroffen werden. Für die Feldmethode, bei der Stechzylinder von 200 cm Inhalt verwendet, zur Hälfte in den Boden eingetrieben und mit 100 ccm Wasser gefüllt wurden, ist folgende Skala zugrunde zu legen:

Einsickerungszeit	0 - 30 Minuten	= gute Durchlässigkeit
	30 - 180 Minuten	= mäßige "
	180 - 600 Minuten	= schlechte "
	mehr als 600 "	= sehr schlechte "

Durchlüftung

Im Diagramm der Abb. 2 sind bei den einzelnen Schichten die Wassergehalte in Volumenprozent eingetragen. Bei der verwendeten Methode (1) ist der Wassergehalt von untergeordneter Bedeutung, wenn er sich nicht in extremen Grenzen bewegt, wie etwa beim Pseudogley - Gley im Untergrund.

Es bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Pseudogleyen und Pelosolen; in den Pseudogleyen ist immer noch eine gewisse Luftbeweglichkeit vorhanden, die dann allerdings in den dichten Schichten des Untergrundes in ungenügende Durchlässigkeit übergeht. Bei den Pelosolen ergibt sich von der Krume bis zum tiefen Untergrund durch-

wegs eine ungenügende Durchlüftung, ausgedrückt im Höchstwert 0,6 kg/cm². Der Kalkgehalt der Pelosole-Rendzina scheint sich günstig auszuwirken, nicht jedoch der geringe Ca-Gehalt des kalkhaltigen Pelosols.

Scherfestigkeit und Abreißfestigkeit

Die beiden Größen wurden nach einer Labormethode, also an gestörten Bodenproben, bestimmt (2). Die Anfangswerte der Scherfestigkeit liegen bei den Pseudogleyen im allgemeinen niedriger, sie fallen von 20 zu 25 Volumenprozent Wassergehalt sehr schnell ab. Der Kalkgehalt der Pelosol-Rendzina dürfte wahrscheinlich für die von den Pelosolen abweichende Bündelung der Kurven verantwortlich sein. In dem aus seinem Verband herausgelösten Boden kann sich die Wirkung der Basen besser bemerkbar machen, der Vergleich mit den Werten der Permeabilität für Luft und Wasser legt diesen Schluß nahe (Abb. 3).

Bemerkenswert ist die Rolle des Wassergehaltes, bei 20 Vol. % liegen die Werte für die Scherfestigkeit hoch; wird der Wassergehalt nur um 5 % erhöht, dann sinkt die Scherfestigkeit sehr schnell ab. Man kann daraus die Bedeutung des Wassergehaltes für die Bearbeitung ermessen und sich ein Bild vom Zugkraftbedarf bei verschiedenen Wassergehalten machen. Auf der Pseudogley-Parabraunerde bedeutet ein Wassergehalt von 20 % nur einen geringen Aufwand, auf dem Pelosol dagegen liegt dieser bei gleichem Wassergehalt um das doppelte höher. Zwischen Textur und Scherfestigkeit bestehen keine Beziehungen. Man darf annehmen, daß weitere Messungen eine bessere Charakterisierung der Eigenschaften von Pelosolen, die man mit dem großen Begriff der Plastizität umreißen kann, bringen werden.

Bei der Abreißfestigkeit bestehen engere Bindungen an den Tongehalt des Bodens. Der Kalkgehalt der Pelosolrendzina macht sich auch hier in niedrigeren Werten bemerkbar. Die dargestellten Zahlen geben Aufschluß über die Kohäszenz der Böden und im weiteren Sinne indirekt auch über ihre Plastizität (Abb. 4).

Diskussion

Die beiden Gruppen von Bodentypen rücken, wenn man die Meßergebnisse insgesamt ins Auge faßt, in ihrer Dynamik eng zusammen. Die Pseudogley-Parabraunerde kann mit ihren physikalischen Eigenschaften noch eine gute Grundlage für den Ackerbau darstellen, Pseudogleye auf lehmigem Substrat weisen jedoch bereits ähnliche ungünstige Eigenschaften auf wie die Pelosole. Gelegentlich liegen die Werte auf den Pseudogleyen günstiger, es ist aber oft so, daß die kritische Grenze schon überschritten ist, und daß dann z.B. Wasserstau in einem Maße auftreten kann, der sich im Wachstum der Kulturen bereits bemerkbar macht.

Ein hoher Kalkgehalt hebt nicht in jedem Fall ungünstige physikalische Eigenschaften auf, kalkhaltige Pelosole oder Pelosol-Rendzinen können sehr unangenehme Eigenschaften besitzen. Möglicherweise kann eine mechanische Lockerung des Bodens, die in den Unterboden und Untergrund eingreift, eine Besserung der Verhältnisse bringen; Lockerung bis in den Untergrund scheint überhaupt auf Böden aus tonigem Substrat eine grundlegende Voraussetzung für die Bodenmelioration zu sein, Versuchsergebnisse weisen darauf hin.

Sämtliche bisher untersuchten Böden mit den Merkmalen des Pseudogleys besitzen ungünstige physikalische Eigenschaften. Schwierigkeiten bei der Bodennutzung treten allerdings in stärkerem Ausmaße nur in nassen Jahren zutage. In normalen Jahren erscheinen die Pseudogleye als gute Ackerböden, so daß oft der Eindruck entsteht, die morphologischen Merkmale würden nicht das richtige Bild des Bodens wiedergeben.

Nach den vorliegenden Meßergebnissen dürfte es gelingen, aus der Morphologie Empfehlungen für die Bewirtschaftung der Böden abzuleiten. Wenn Klima und Relief mit berücksichtigt werden, dann erscheint es sogar möglich, Faktoren wie die Drainagebedürftigkeit eines Bodens zu beurteilen und Empfehlungen für den Dränabstand zu geben. Die Meßergebnisse zeigen eindeutig, daß z.B. auf einem Pelosol in Abständen von 11 Metern ausgelegte Dränröhren nicht wirken können, es ist sogar fraglich, ob ein Abstand von 6 m als Drainage zu betrachten ist. Ähnliches gilt für den typischen Pseudogley III D.

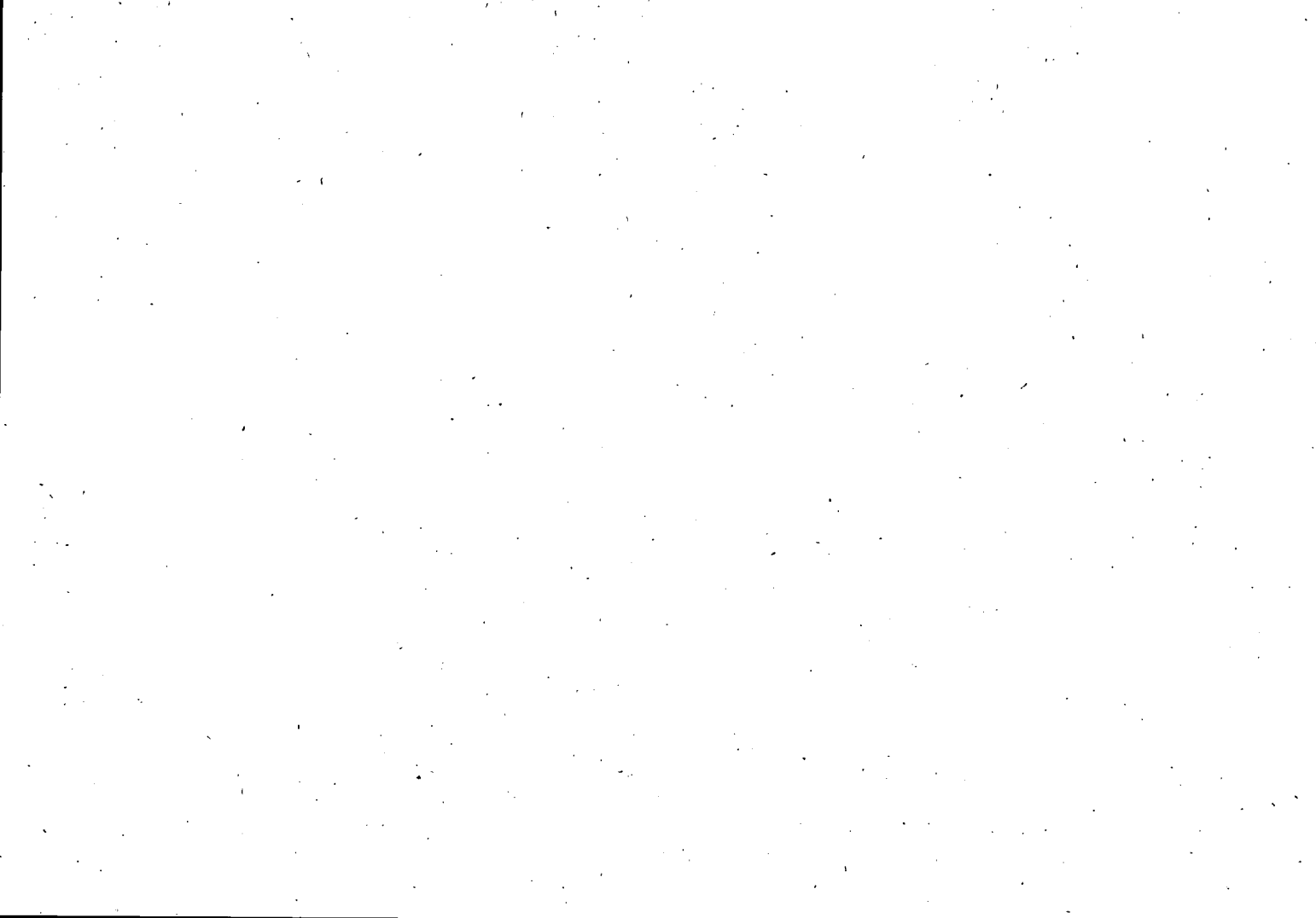
Es ist das Ziel einer Arbeitsgemeinschaft "Schwere Böden", die Eigenschaften von Tonböden anhand von Vergleichen mit Pseudogleyen, Pseudogley-Parabraunerden und anderen Bodentypen herauszustellen. Unklarheiten über das Auftreten mancher Erscheinungen lassen sich dadurch beheben, daß Mikromorphologie, Mikrobiologie, Mineralogie, Bodenphysik und Boden-Chemie mit der Standortcharakterisierung in einen großen Rahmen eingebaut wurden. Es soll noch mehr Untersuchungsmaterial zusammen getragen werden, so daß in einer abschließenden Gesamtschau die Kenntnis von Pseudogleyen und Pelosolen erweitert werden kann.

Zusammenfassung

Sieben für die Bodenbewirtschaftung wichtige physikalische Eigenschaften von Pelosolen und Pseudogleyen sowie verwandten Bodentypen werden einander gegenübergestellt. Beide Bodentypen ähneln sich stark in ihrer physikalischen Dynamik. Natürlicher Kalkgehalt von Tonböden ist nicht in jedem Fall einer Verbesserung der Eigenschaften gleichzusetzen. Aus dem Phänotyp können Maßnahmen der Bodenverbesserung abgeleitet werden.

Literatur

1. Rid, H.: Über eine Feldmethode zur Messung der Bodendurchlüftung. Zeitschrift für Pflanzenern., Düngung, Bdkde, 88 (133), 3 1960
2. Rid, H.: Arbeitsergebnisse mit einem Apparat zur Messung der Scherfestigkeit und Zerreißfestigkeit des Bodens. Zeitschrift f. Pflanzenern., Düng., Bdkde, 102 ,3, 1963



Porengrößenverteilung

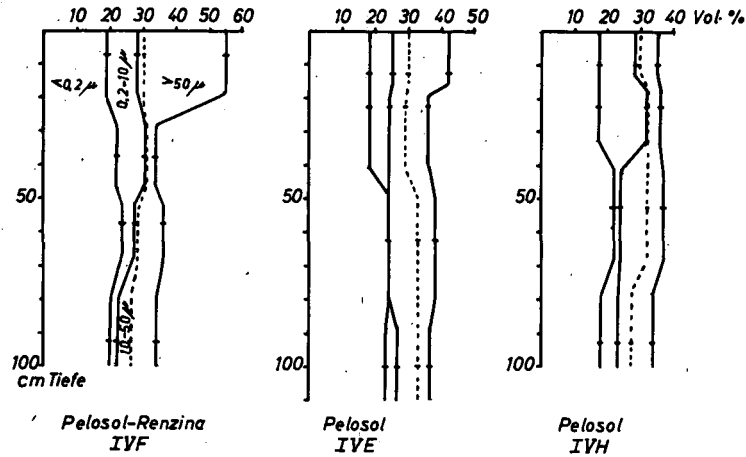
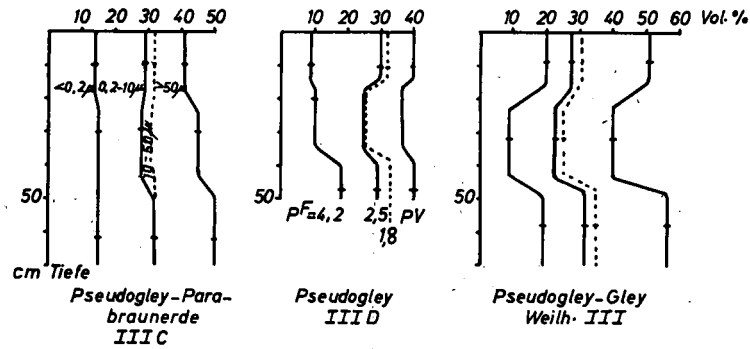


Abb. 1: Porenvolumen und Porengrößenverteilung

Permeabilität für Luft

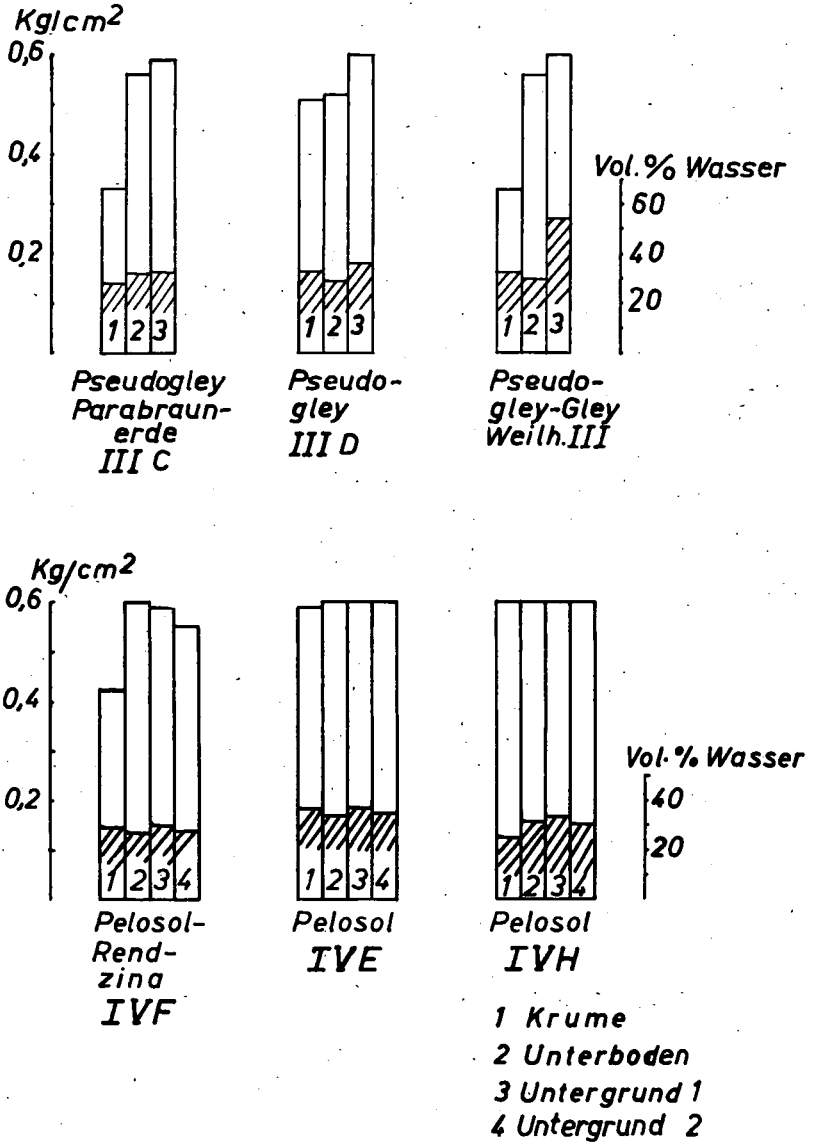


Abb. 2: Werte für die Durchlüftung der Böden. Der Höchstwert von 0,6 kg/cm² ist gleichbedeutend mit ungenügender Permeabilität

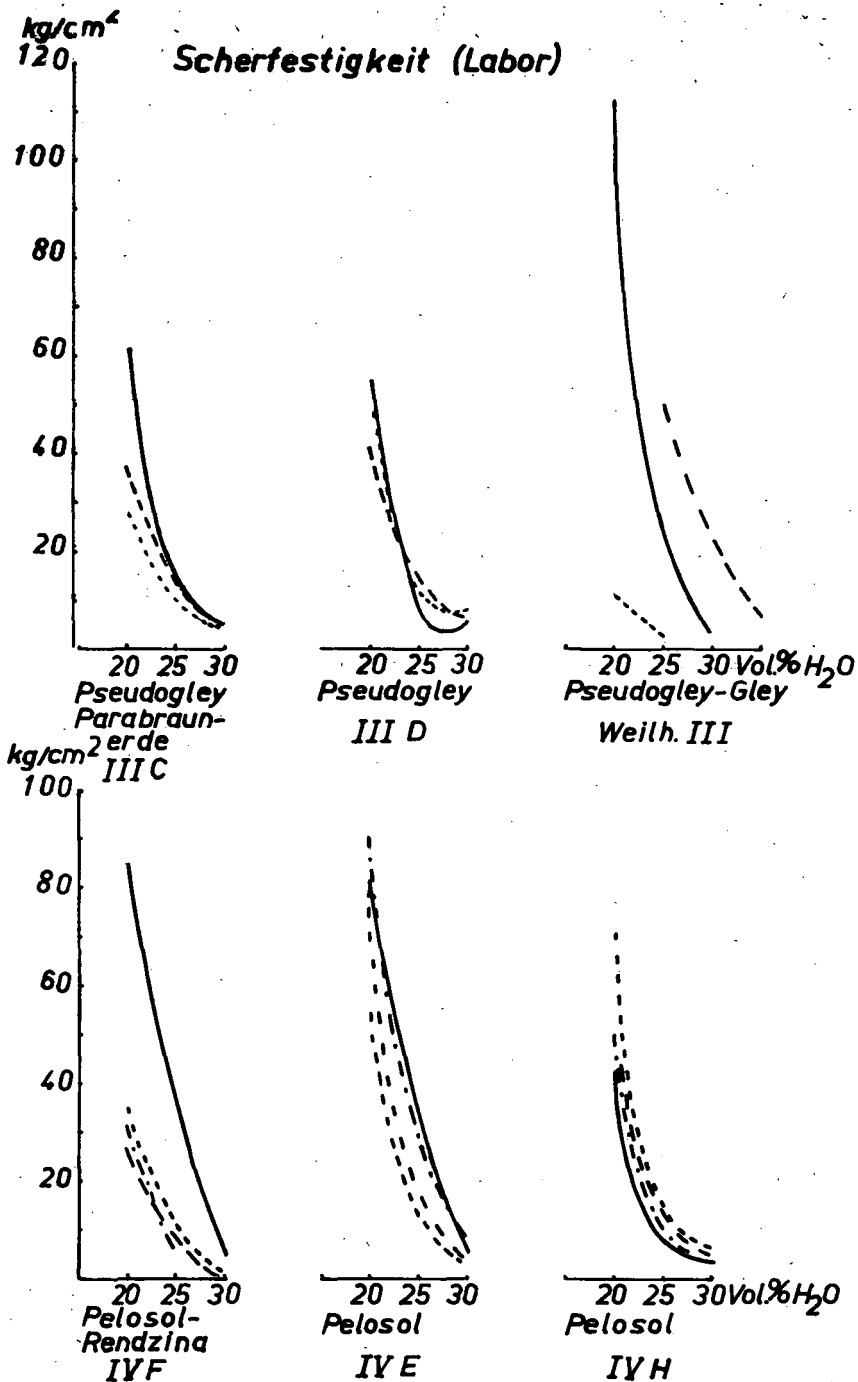


Abb. 3: Ergebnisse der Untersuchungen der Scherfestigkeit

Zerreißfestigkeit

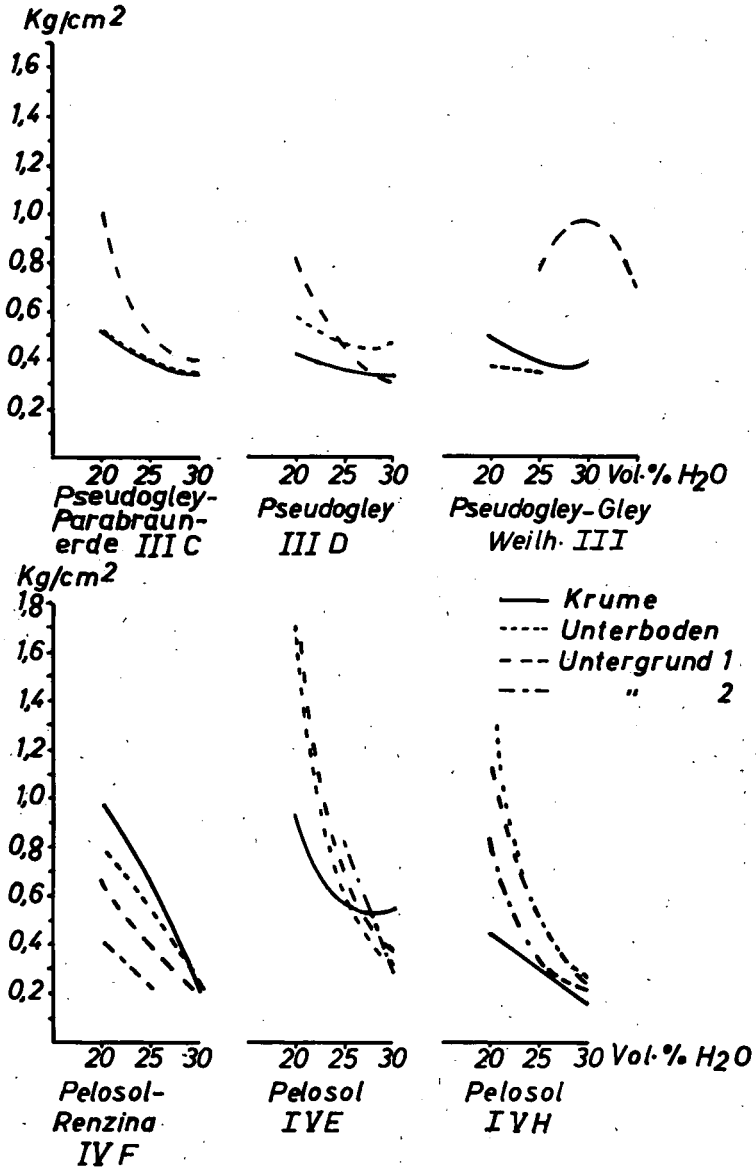


Abb.4: Werte der nach inner Labormethode bestimmten Abreißfestigkeit

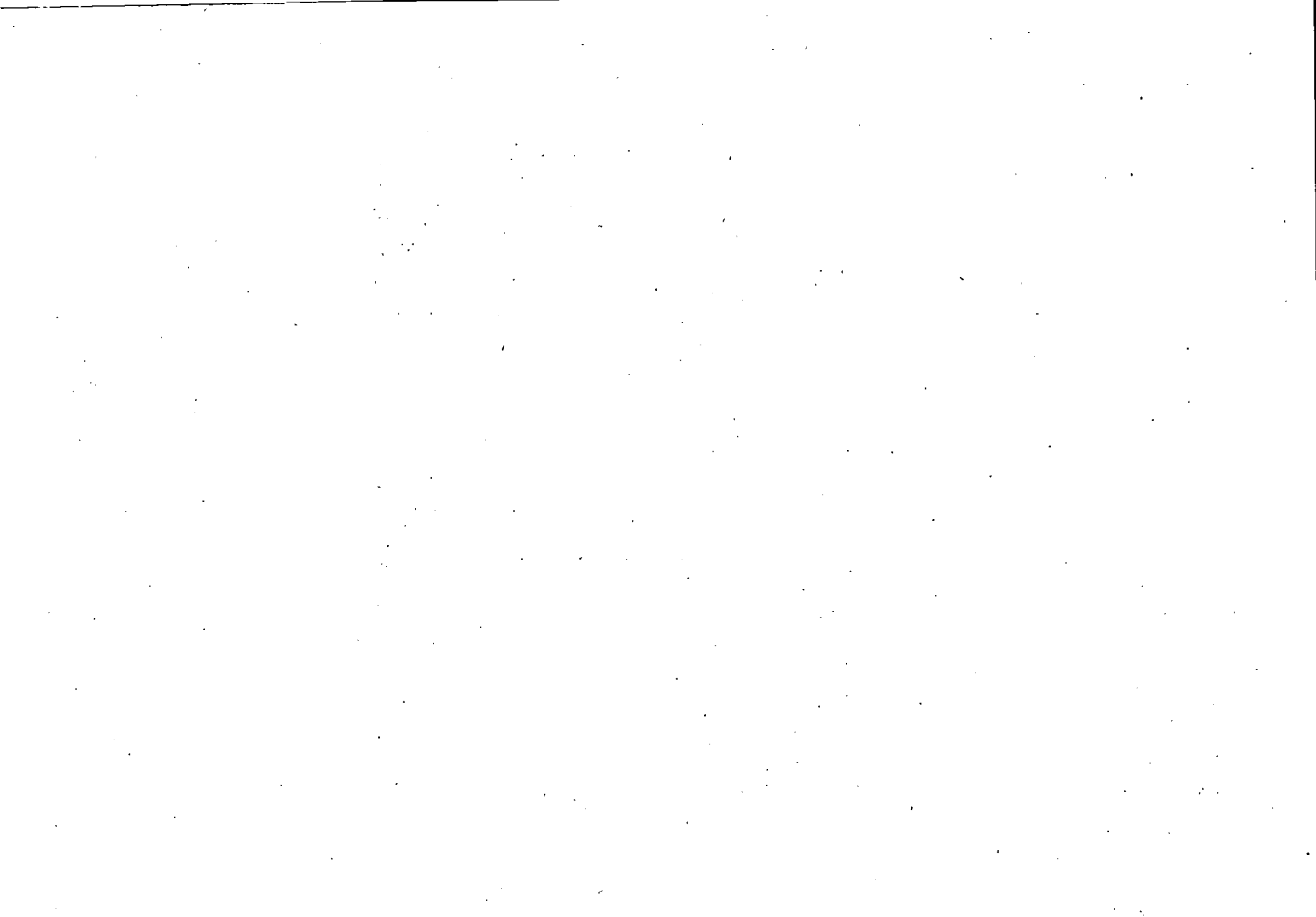
Wurzeltiefendiagramme als bodenkundlich-typognostisches Hilfsmittel ?

von M. Trentepohl

Während bodenanzeigende Eigenschaften verschiedener Pflanzengesellschaften - nicht nur hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung des Bodens, sondern auch in bezug auf den Wasserhaushalt (Trockenheit, wechselnde Staunässe oder Grundwassereinfluß verschiedenen Ausmaßes) - allgemein bekannt sind, wurde hier über Unterschiede in den Wurzeltiefenverteilungen zweier Ausbildungsformen der gleichen Pflanzengesellschaft, nämlich der trockenen Glatthaferwiese (*Arrhenatheretum elatioris ranunculetosum bulbosi*) berichtet, die so grundlegend sind, daß trotz ihrer pflanzensoziologisch engen verwandtschaftlichen Beziehungen auf einen tiefgreifenden Unterschied im Bodenprofil geschlossen werden kann.

Der Anteil der tiefer als 50 cm wurzelnden Arten betrug z.B. in einem Bestand der ersten Ausbildungsform der Gesellschaft nur 28 %, während er in einem zum Vergleich untersuchten Bestand der anderen Ausbildungsform der gleichen Gesellschaft 78 % ausmachte. Bodenuntersuchungen ergaben, daß im ersten Fall ein stark verfestigter Pseudogley-Horizont in etwa 60cm Tiefe vorlag, der im anderen Fall völlig fehlte.

Zur Diskussion gestellt wurde die Frage, ob man bei praktischer Gelände- arbeit - etwa der Kartierung bereits definierter Bodentypen - diese Frage weiter verfolgen und Vegetationsmerkmale als bodenkundlich-typognostische Hilfsmittel heranziehen sollte.



Über Bildung und Bindung von Mikroaggregaten in Böden

von B. Walter, Trier

Aggregatbildung ist an das Vorhandensein von kleinen Bodenteilchen gebunden, da grobkörnige Elemente kaum eine dauerhafte Bindung eingehen. Material der Mikroaggregation sind die Bodenkolloide. Zementation geflockter Teilchen auf gröbere Körner führt zur Aggregation. Diese Verkittung bewirken Humus- und Tonkolloide sowie Eisenoxydhydrate. Nach FILIPPOVIC wird Aggregation durch Sorption der Kittsubstanz hervorgerufen. Der hydrophile Charakter der Bodenkolloide ist unterschiedlich. Austrocknung vermindert zunächst die Wasserhüllen der Kolloide und fördert Koagulation und Aggregation. Die Flockung von organischen Substanzen und Sesquioxiden ist infolge Alterung oft irreversibel und erhöht die Aggregatstabilität. Das Ausmaß dieser Vorgänge ist vom Ablauf der Flockungs- und Aggregationsprozesse abhängig. Feuchtigkeitsverhältnisse und Temperaturbedingungen der Kolloidsysteme haben hierbei einen Einfluß.

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Kenntnisse der Mikrostrukturbildung an mit Fe-Oxydhydrat und Huminsäure angelagerten Schluff-Ton-Gemischen bei verschiedenen Klimabedingungen zu erweitern.

Aus Lößlehm wurde Schluff und Ton gewonnen, von denen jeweils ein Teil der C- und Fe-Gehalte mittels Peroxyd und Dithionitvorbehandlung vermindert wurde. Es wurden Schluff-Ton-Gemische im Verhältnis 9 : 1 hergestellt und mit Fe-Oxydhydrat, Huminsäure einzeln und im Wechsel mit beiden Substanzen bis zu 1 - 2 % Fe bzw. C angelagert (siehe Abb.). Anschließend an die Anlagerung erfolgte eine 14stündige

Klimaeinwirkung zur Einleitung der Aggregation bei Klimabereichen von $0^{\circ} / 10\%$ bis 50° Cels. / 80% rel. Luftfeuchte. Übersichtsaufnahmen von Mikrostrukturen zeigen sichtbare Unterschiede der verschiedenen angelagerten Schluff-Ton-Gemische. Der Aggregationsgrad der Gemische wurde mit dem Sedimentometer der Firma Leitz ermittelt.

Die Äthylenglykolanlagerung zeigte, daß die hohen Anlagerungswerte der Gemische mit Fe + C- und C-Anlagerung vorwiegend auf die Huminsäure zurückzuführen sind. Mikrofotographische Aufnahmen ergaben sichtbare Unterschiede der verschieden aufgebaute Mikroaggregate in Form und Farbe. Vergleichsmessungen zwischen Sedimentationswaage, Pipettanalyse und Sedimentometer führten zu dem Ergebnis, daß das Aggregationsbild der Schluff-Ton-Gemische mit dem Sedimentometer im Korngrößenbereich von $0-60\ \mu$ gut zu kennzeichnen ist. Unterhalb $20^{\circ} / 60\%$ rel. Luftfeuchte wurden keine Mikroaggregate aufgebaut. Oberhalb dieses Klimabereiches machte sich eine meßbare Aggregatbildung bemerkbar, die bei Klimastufe $50^{\circ} / 80\%$ rel. Luftfeuchte den optimalsten Stand erreichte. Die einzelnen Korngemische reagieren unterschiedlich. Das Schluff-Ca-Ton-Gemisch bildet die größten Mikroaggregate von $40-60\ \mu$, der Aufbau mittlerer Aggregate unterbleibt. Das natürliche Schluff-Ca-Ton-Gemisch verhält sich ähnlich, bildet aber keine großen Struktureinheiten. Das im C- und Fe-Gehalt durch Peroxyd- und Dithionitvorbehandlung verminderte Schluff-Ca-Ton-Gemisch verfügt über weniger Aggregate von $40-60\ \mu$, doch ist der mittlere Bereich stärker aggregiert. Wechselsorption von Fe-Oxydhydrat und Huminsäure hat in jedem Klimabereich den stärksten Einfluß auf die Aggregation der Gemische. In ihrer Wirkung auf die Mikrostrukturbildung folgen die nur mit Fe-Oxydhydrat angelagerten, dann die nur mit Huminsäure behandelten Schluff-Ton-Gemische.

Die Stabilität der Mikroaggregate ist am größten bei Wechsellagerung von Fe-Oxydhydrat und Huminsäure (Wechselsorption 1% Fe + C). 120 Minuten Schütteln ließ alle instabilen Strukturen restlos zerfallen. Mit Huminsäure verkittete Aggregate zerfielen schon nach 40 Minuten, während die durch Fe-Oxydhydrat gebundenen Struktureinheiten sich bereits nach 15 Minuten Schütteldauer auflösten und am instabilsten waren. Die Anlagerungshöhe der einzelnen Kittsubstanzen in nicht gealtertem Zustand (1% oder 2% Fe bzw. C) hat auf die Sta-

bilität der Mikroaggregate keinen wesentlichen Einfluß, 6 - 12 Monate Alterung von Fe-Oxydhydrat und Huminsäure erhöht die Stabilität von Mikroaggregaten ganz erheblich. Im Wechsel mit Fe-Oxydhydrat und Huminsäure gebildete Aggregate (Wechselsorption 1 % Fe + C) sind nach 6 bzw. 12 Monaten Alterung am stabilsten ; es folgen im Stabilitätsrang die nur durch Fe-Oxydhydrat (1 bzw. 2 % Fe) und nur durch Huminsäure (1 bzw. 2 % C) gebildeten Strukturen. Die Menge der gealterten Bindesubstanzen ist für die Stabilität ausschlaggebend; 2 % Fe- bzw. C-haltige Aggregate sind stabiler als 1 % ige. Die durch Alterung der Bindesubstanzen bedingte Stabilitätserhöhung der Aggregate ist weitgehend abhängig vom natürlichen Fe- und C-Gehalt der Schluff-Ton-Gemische vor der Anlagerung. Strukturen des Gemisches mit natürlichem Fe- und C-Gehalt sind nach 6 - 12 Monaten Alterung instabiler als Aggregate von Gemischen mit vermindertem Fe- und C-Gehalt (H_2O_2 - und Na-Dithionitvorbehandlung). Die Alterung von Fe-Oxydhydrat und Huminsäure in Mikroaggregaten bewirkt nicht nur eine wesentliche Erhöhung deren Stabilität, sondern während des Alterungsprozesses bei Zimmertemperatur erfolgt parallel ein langsam verlaufender Aggregataufbau.

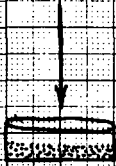
Mit Ca, Mg und H belegte Schluff-Ton-Gemische zeigen nach Wechselsorption von Fe-Oxydhydrat und Huminsäure und Klimaschrankbehandlung eine positive Wirkung zur Mikroaggregatbildung. Ca und Mg bilden vorwiegend Strukturen mittlerer Größen (16 - 20 μ), während H-Belegung die größten Aggregate aufweist (40 - 60 μ). Na- und K-Belegung der Schluff-Ton-Gemische verhindern einen Aggregataufbau und führen zu einer Dispergierung. Die Aufteilung der Tonfraktion $< 2 \mu$ in $< 1 \mu$ und $< 0,5 \mu$ hat einen weitgehend positiven Einfluß auf die Aggregationstendenz von Schluff-Ton-Gemischen. Mit abnehmender Teilchengröße des Tonanteils der Gemische nimmt deren Aggregationsgrad zu. Schluff-Ton-Gemische mit Tonanteil $< 0,5 \mu$ erreichen den höchsten Strukturgrad. Es besteht eine enge Beziehung zwischen der Anlagerungsart (Fe-Oxydhydrat, Huminsäure oder Wechselsorption) und der Korngröße des Tonanteils der Schluff-Ton-Gemische: Wechselsorption

von Fe-Oxydhydrat + Huminsäure führt zur vollständigen Aggregation des Tonmaterials 1 und $0,5 \mu$; dann folgt die Anlagerung von Fe-Oxydhydrat und von Huminsäure. Physikochemische (Äthylenglykolanlagerung und Austauschkapazität) sowie mikrotechnische Untersuchungen hatten zum Ergebnis, daß die Gesamtoberfläche und die T-Werte von Schluff-Ton-Gemischen mit abnehmender Korngröße des Tonanteils stark ansteigen und zu einer intensiven Mikrostrukturbildung der Gemische wesentlich beitragen.

Herstellungstechnik der Mikrostrukturen

Production of Micro Structures

Fe-Oxyhydrat



Huminsäure



Schluf + Fon (3-1)

Fe-Oxyhydrat
+
Huminsäure



Anlagerung
Sorbtion Procedure

1+2% Fe

1+2% C

1% Fe+C

(Wechselsorbtion)
change sorbtion

Klimaschrank
Behandlung
Air-conditioning
system
Aggregierung
Aggregation

Messung der Aggregation im Sedimentometer

Measuring of the aggregation by Sedimentometer

Messung der Strukturstabilität im Sedimentometer

Measuring of the stability by Sedimentometer



Einige Aspekte der kulturtechnischen Verbesserung von
Bodentypen mit Tonverlagerung im rheinischen Mittel-
gebirge
von A. Beckel ⁺⁾

1. Erkennen und Abgrenzen meliorationsbedürftiger Standorte
 - 1.1. Bodenkartierung und pflanzensoziologische Aufnahme
 - 1.2. Auswertung des Luftbildes für kulturtechnische Zwecke
 - 1.22. Allgemeine Grundlagen
 - 1.23. Einige Grundsätze zur Ausdeutung des Luftbildes in der bodenkundlichen Kartierung von Meliorationsstandorten
 - 1.24. Möglichkeiten der Fehlinterpretation von Luftbildern
2. Meliorationstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserführung und Wasserhaltung auf verdichteten, staunassen Böden
 - 2.1. Probleme der Meliorationsplanung auf Pseudogleyen
 - 2.2. Tieflockerung und Bedarfsdränung als kombiniertes Meliorationsverfahren
 - 2.3. Fragen der Erhaltung des Lockerungseffekts durch Düngungs- und Pflanzenbaumaßnahmen.

Vorbemerkung

In diesem Beitrag wird der Begriff der kulturtechnischen Verbesserung von Böden im umfassenden Sinne gebraucht. Unter "Melioration" wird

+) Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Mainz

demnach jede durchgreifende und nachhaltige Bodenverbesserung verstanden. - Die Dränung ist die bisher bedeutendste nachhaltige Melioration, sie ist aber - was die unter stauender Nässe leidenden Böden betrifft - nicht die einzige oder unter allen Verhältnissen absolut richtige Meliorationsmethode. Wenn es das erklärte Ziel einer Melioration ist, den Pflanzenstandort in seiner Gesamtheit zu verbessern, um höhere oder zumindest normale Ernten regelmäßig zu erzielen, dann bilden kulturbautechnische und pflanzenbautechnische Maßnahmen dazu die Voraussetzungen.

1. Erkennen und Abgrenzen meliorationsbedürftiger Standorte

1.1 Bodenkartierung und pflanzensoziologische Aufnahme

Auf die Bedeutung der Bodenkartierung zum Zwecke der Planung von Meliorationen ist an anderer Stelle nachdrücklich hingewiesen worden (1). Ohne eine kartographische Erfassung der verschiedenen Böden ist letztlich die sachgerechte Planung einer Melioration unmöglich.

Die Technik der bodenkundlichen Aufnahme für Meliorationszwecke regelt DIN 4220, Bl. 1 - 4. Im Interesse der Einheitlichkeit derartiger Aufnahmen und Darstellungen sollte allgemein und überall nach den Vorstellungen dieser Norm verfahren werden. Die genannte Norm bezieht auch die pflanzensoziologische Aufnahme von meliorationsbedürftigen Gebieten mit ein. Auf das Beurteilungshilfsmittel der Pflanzensoziologie sollte insbesondere in Grünlandgebieten nicht verzichtet werden.

1.2 Auswertung des Luftbildes für kulturtechnische Zwecke

1.22 Allgemeine Grundlagen

Hier soll über mehrjährige Erfahrungen mit der Verwendung des Luftbildes in Vorplanungsarbeiten für Meliorationen im Lande Rheinland-Pfalz berichtet werden. In der bodenkundlichen Aufnahme von Meliorationsgebieten wurden Luftbilder verschiedener Abbildungsmaßstäbe eingesetzt. (M 1 : 10 000 bis 1 : 2 000).

Aus der Arbeit mit Luftbildplänen können folgende Beobachtungen hinsichtlich der Brauchbarkeit des Luftbildes für bodenkundliche Kartierungen mitgeteilt werden:

- a) Zum Zeitpunkt der Luftaufnahmen muß klares, wolkenloses Wetter herrschen. Aufnahmen an diesen Tagen bringen in der Regel zu wenig Kontraste in die Grautöne des Papierbildes.
- b) Die Böden müssen einen günstigen Abtrocknungszustand erreicht haben, so daß normal abtrocknende Böden von feuchten Böden im Luftbild unterschieden werden können. Aufnahmen, die unmittelbar nach starken Regenfällen gemacht werden, sind für die bodenkundliche Ausdeutung wenig wertvoll, da sie ebenfalls nur eine schwache oder undeutliche Differenzierung der Oberflächenfarben der Böden wiedergeben.
- c) Der jahreszeitlich günstigste Aufnahmezeitpunkt liegt vor dem Vegetationsbeginn im Frühjahr. Aufnahmen aus dieser Zeit haben normalerweise die größte Aussagekraft in bodenkundlicher Sicht, da sich dann in Ackerbaugebieten die feuchten Standorte am besten von den trockenen Lagen abheben. - Andererseits können aber auch zur Zeit der Gelbreife des Getreides ausgeführte Luftaufnahmen eine sehr deutliche Unterscheidung der feuchten und trockenen Böden ergeben.

An die Entwicklung der Bilder sind einige wichtige Forderungen zu stellen:

- a) Es sollten keine zu harten, scharf kontrastierenden Papiere verwendet werden, da sie keine weiche Modulierung der Grau-Werte zulassen.
- b) Eine matte oder nur schwach glänzende Oberfläche der Schichtseiten der Papiere ist in der Regel günstiger als Hochglanzbeschichtung. - Oft zeigen erst verschiedene Versuchskopien, welche Papierart die günstigsten Ergebnisse bringt.

- c) Von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der Luftbildaufnahmen ist schließlich der Abbildungsmaßstab. Für detaillierte kulturtechnische Planungen sind Maßstäbe erforderlich, die zwischen M 1 : 5 000 und 1 : 2 000 liegen.

1.23 Einige Grundsätze zur Ausdeutung des Luftbildes in der bodenkundlichen Kartierung von Meliorationsstandorten

Das Luftbild kann die Feldarbeit der Bodenkartierung selbstverständlich nicht ersetzen; es kann sie aber ganz erheblich unterstützen und rationalisieren. - Die absolut sichere und schnelle Orientierung an Hand des Luftbildes ist von großem Vorteil. Durch diese Orientierungsmöglichkeit kann ein bedeutender Zeitgewinn für die eigentlichen bodenkundlichen Aufnahmen erzielt werden.

In intensiver bewirtschafteten Gebieten gibt die Nutzungsform (Acker, Grünland, Wald) schon erste Hinweise auf mögliche größere Bodenunterschiede. Soweit noch natürliche Waldgesellschaften vorhanden sind, bietet das Luftbild meist weitere Differenzierungsmöglichkeiten der Standorts- und Bodentypen. Ähnliches gilt auch für die Grünländereien. Größere Unterschiede in der soziologischen Zusammensetzung der Grasnarbe sind bei entsprechender Vergrößerung und insbesondere stereoskopischer Betrachtung der Luftbilder gut erkennbar. Soweit in einem Untersuchungsgebiet ausgedehnte, zusammenhängende Grünlandflächen in Tal- und Flußauen vorhanden sind, lassen sich die unterschiedlichen Wuchsbezirke auf dem Luftbild vorläufig abgrenzen, um sie hernach an Ort und Stelle näher zu untersuchen. - In Ackerbaugebieten isoliert liegende, meist kleinere Grünlandflächen, lassen an diesen Stellen meist zuverlässig das Auftreten von stärkerer Staunässe oder quellender Nässe am Hang vermuten. Falls andere Gründe für diese Nutzungsform gegeben sind (z.B. Auftreten von stark steinigem oder flachgründigen Böden), läßt sich das im Feldvergleich leicht feststellen. - Die Nutzungsweise des Grünlandes - Wiese oder Weide - läßt ebenfalls Schlüsse über den Feuchtezustand der Böden zu. Hier darf man allerdings in Gebieten mit starker Flurzersplitterung und extensiver Nutzung, wie es Teile unseres Mittelgebirgslandes noch sind, nicht zu voreiligen Schlußfolgerungen kommen.

Unter der Voraussetzung, daß die oben erwähnten phototechnischen Bedingungen erfüllt sind, läßt das Luftbild von Ackerbauzonen zahlreiche bodenkundliche Ausdeutungen zu. Fleckenförmige oder schlierenartige dunklere Partien in den Bildern weisen auf Staunässe in den Böden hin. Die Vernässungsbereiche lassen sich oft außerordentlich genau abgrenzen, wodurch das Auffinden der Bodengrenzen im Gelände sehr erleichtert wird.

Das Luftbild bietet weiterhin die Möglichkeit, den Weg oberirdisch abfließender Wasser exakt festzuhalten. Das ist von sehr großer Bedeutung für die Planung von Erosionsschutzvorkehrungen im Zuge des Baues von Wegen u.a. Die noch so oft wiederholte Feldbegehung wird kein so eindeutiges Erkennen und Lokalisieren der Erosionswege und -einzugsgebiete möglich machen, wie die Ausdeutung des Luftbildes in dieser Beziehung. Das Luftbild läßt erkennen, wo natürliche Geländeabsätze, Terrassen usw. als Erosionsschutz unbedingt erhalten bleiben müssen, oder wo zweckdienliche erdbauliche Einrichtungen, wie z.B. bergseitige Wegeseitengräben vorzusehen sind.

Im Luftbild sehr deutlich erkennbare Wegesackungen und tiefe Fahrspuren geben Hinweise auf seitlichen Wasserzuzug oder gehemmte Versickerung. Dieser Aspekt verdient besonders dann Beachtung, wenn auf Grund fortgeschrittener Abtrocknung der angrenzenden Bodenflächen die Neigung zur Vernässung in dem Gebiet nicht mehr sicher erkennbar ist. Für den Bau von Wirtschaftswegen und Straßen ergeben sich aus diesen Beobachtungen Forderungen für die Wasserableitung und Sicherung des Wegeunterbaues. Werden die notwendigen baulichen Maßnahmen unsachgemäß ausgeführt oder vernachlässigt, so sind Frostschäden bekanntlich unvermeidbar. Das Luftbild kann somit auch hier im Ingenieurbau bei der Wege- und Straßenplanung dienlich sein.

1.24 Möglichkeiten der Fehlinterpretation von Luftbildern

Die Ausdeutung von Luftbildern für Meliorationszwecke verlangt von dem Interpreten einige Erfahrung auf diesem Gebiet, damit Fehleinschätzungen nicht zu falschen Schlußfolgerungen führen. Die endgültige Erklärung von gewissen Erscheinungen, die sich im Luftbildplan abzeichnen, bringt häufig erst der Feldvergleich. Die aus dem Luftbild abzulesende - wenn auch noch nicht zuverlässig ausdeutbare Erscheinung - ist damit auf jeden Fall festgehalten und lokalisiert.

So repräsentieren dunkel gefärbte Zonen auf Luftbildern nicht immer vernässte Böden. Wenn die Möglichkeit der Wiedergabe von Wolken-
schatten auszuschließen ist, sind es, u.U. andere Bodeneigenschaften,
die eine Nuancierung der grauen Farbtöne in das Bild bringen. Die Ur-
sache kann in verschiedenen Ausgangsgesteinen der Bodenbildung ge-
geben sein. Andererseits kann die Bodenerosion dunklere Materialien
in Bereiche mit helleren Ausgangsgesteinen oder Böden getragen haben.
So lassen sich z.B. in unseren Lößgebieten die erodierten Flächen, auf
denen der weniger oder gar nicht verwitterte Löß an die Oberfläche
tritt, sehr gut von den Akkumulationszonen mit dunklerem, humosen
Bodenmaterial unterscheiden und abgrenzen. Ähnliches gilt für zahl-
reiche Substrate der Bodenbildung. In vegetationsfreien Flußauen sind
die unterschiedlichen Sedimente gut erkennbar.

Zu den geologisch bedingten Differenzierungen der Farben auf Luft-
bildern gehören auch die Vorkommen von vulkanischen Aschen. Dunkel
gefärbte basaltische Tuffe können auf Luftbildplänen bestimmter
Eifel- und Westerwaldgebiete Bodennässe vortäuschen, die de facto
nicht vorhanden ist. Eine Verwechslung ist besonders dann leicht mög-
lich, wenn die Vulkanaschen durch Umlagerung völlig unregelmäßig
im Gelände auftreten.

Durch die mögliche Fehleinschätzung der geologischen Faktoren kommt
gewiß die größte Unsicherheit in die Ausdeutung des Luftbildes für Me-
liorationszwecke. Bei einiger Übung im Umgang mit dem Luftbild und
bei guter Kenntnis der geologischen Verhältnisse des zu untersuchenden
Gebietes, lassen sich Fehlinterpretationen aber weitgehend vermeiden.

Zur Gruppe der acker- und pflanzenbaulichen Faktoren, die die Aus-
deutung des Luftbildes erschweren können, gehört in erster Linie der
unterschiedliche Humusgehalt in seiner Auswirkung auf die Farbtonung
der Ackerböden. Die von der organischen Substanz des Bodens herrüh-
renden Farbunterschiede zeigen sich zumeist scharf und regelmäßig
abgegrenzt zwischen den einzelnen Parzellen, so daß Mißdeutungen
kaum möglich sind; es sei denn die Flächenerosion habe das Bild ver-
fälscht. - Weitere Differenzierungen gelangen durch unterschiedliche
oder zu verschiedenen Zeitpunkten ausgeführte Bodenbearbeitungen in
das Luftbild. Die regelmäßige Begrenzung der Flächen läßt aber kaum
Fehlschlüsse zu.

Die aufgezeigten Beispiele können verdeutlichen, in welcher hervorragender Weise das Luftbild geeignet ist, die bodenkundliche Aufnahme eines Gebietes zu unterstützen. Es soll nochmals betont werden, daß die Feldarbeit damit niemals ersetzt werden kann. Es ist jedoch sicher, daß das Luftbild die notwendige Feldaufnahme zweckdienlich unterstützt, beschleunigt und vereinfacht.

2. Meliorationstechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserführung und Wasserhaltung auf verdichteten, staunassen Böden.

2.1 Probleme der Meliorationsplanung auf Pseudogleyen

Von zahlreichen, auf Pseudogleyen des Rheinischen Schiefergebirges in Eifel, Westerwald und Hunsrück ausgeführten Rohrdrainagen ist bekannt, daß diese Meliorationstechnik selbst bei sehr enger Auslegung der Saugerstränge nur einen unbefriedigenden Entwässerungserfolg brachte. Auf die besonderen Schwierigkeiten der Melioration dieser Standorte haben verschiedene Autoren hingewiesen (2, 3, 4, 5). Die Ursache für die unzulängliche Wasserableitung durch Rohrdrainagen ist in der dichten Lagerung der Böden zu sehen.

Die Lagerungsdichte ist ihrerseits a priori bedingt durch einen relativ hohen Ton- und Schluffanteil und die vorherrschende Zusammensetzung der Bodenfeinsubstanz. Aus den Untersuchungen von Mückenhausen und Mitarbeitern (3, 2) ist bekannt, daß es sich bei den stark und extrem zur Vernässung neigenden Pseudogleyen um Böden auf dem fossilen Substrat des kaolinitreichen Graulehms handelt. Mückenhausen und Mitarbeiter und Kerpen (2) konnten durch mikromorphologische Analysen die Tendenz zur Tonverlagerung in diesen Böden nachweisen. Wie Kerpen herausstellt, wird dadurch der Wassereinstau in den Einschlämmungshorizonten noch weiter verschärft. Es kann somit schließlich zu einer rapiden Abnahme der Porenvolumina kommen. Im Extrem ist der Staupörper selbst kaum noch wasseraufnahmefähig. Die horizontale und vertikale Wasserbewegung beschränkt sich dann allein auf die Krume und die Stauzone. Der Grad und die Dauer der Vernässung der Grau-

lehm-Pseudogleye hängt dadurch hauptsächlich von der Geländelage und der Mächtigkeit der Stauzone ab. Lang anhaltende Vernässungen stellen sich insbesondere auf den Pseudogleyen mit tiefliegendem Staukörper in ebenen oder muldigen Lagen ein. Da die wasserführenden Bereiche der Stauzone normalerweise geringere Ton- und Schluffgehalte als der eigentliche Staukörper aufweisen, können Dränabstandsberechnungen, die allein auf dem Tongehalt der Stauzone fußen, zu relativ weiten Dränabständen führen. Schirmer (4) hat bereits 1954 auf diese Diskrepanz zwischen der Dränabstandsberechnung nach dem Tongehalt und der geringen entwässernden Wirkung von Tonrohrdränungen auf den fossilen Verwitterungsböden der Eifel hingewiesen. Da die fossilen Graulehme einen hohen Anteil an Schluff aufweisen, muß diese Komponente bei der Dränabstandsberechnung unbedingt berücksichtigt werden.

In der Tabelle 1 ist die Berechnung der Strangentfernung der Sauger nach dem Tongehalt ($< 0,002$ mm) und den Anteilen $< 0,02$ mm gegenüber gestellt. Für alle aufgeführten Bodentypen ergibt die Berücksichtigung des Anteils $< 0,02$ mm eine Verminderung der Dränabstände gegenüber der alleinigen Berücksichtigung des Tongehalts. Um den praktischen Verhältnissen gerecht zu werden, müßten an diesen errechneten Dränabständen nach den Vorstellungen der Dränanweisung DIN 1185 wegen der hohen Lagerungsdichte der Pseudogleye noch Abschläge von 20 - 30 % vorgenommen werden. Danach wären mittlere Dränabstände von 6-8 m bei einer hier eingesetzten Dräntiefe von 0,80 m anzuhalten. Selbst wenn bei derartig engen Dränabständen ein befriedigender Entwässerungserfolg erzielt würde, wäre die Wirtschaftlichkeit der Meliorationsmaßnahmen kaum zu erwarten. - Wie Kerpen (2) auf dem Versuchsgut Rengen / Eifel feststellte, versagten aber auch die sehr eng ausgelegten Rohrdräns auf den vernässten Graulehm-Pseudogleyen völlig. Diese Feststellung läßt sich auch für andere Dränanlagen auf den fossilen Verwitterungsdecken des mittelrheinischen Gebirgslandes treffen.

2.2 Tieflockerung und Bedarfsdränung als kombiniertes Meliorationsverfahren

Die Schwierigkeiten bei der Entwässerung der Pseudogleye haben in den letzten Jahren die Suche nach neuen Meliorationsverfahren verstärkt, die den physikalischen und hydraulischen Gegebenheiten der Pseudogleye ge-

recht werden. Für die Regelung der Wasserverhältnisse auf den Pseudogleyen ist von dem durch den Aufbau der Böden bedingten unharmonischen Wasserhaushalt auszugehen. Die Disharmonie, bestehend in zeitweiliger Übernässung (Naßphase) und mit dem Fortschreiten der Vegetationszeit einsetzender Austrocknung (Trockenphase), kann nur durch solche bodentechnologischen Eingriffe beseitigt werden, die einerseits das pflanzenschädigende Überschußwasser abführen, andererseits aber gleichzeitig zu einer besseren Wasserhaltung während der Trockenphase beitragen. Beide Ziele können nur erreicht werden, wenn es gelingt den Unterboden, d.h. auf den Pseudogleyen in der Regel den Staukörper, wasser- aufnahmefähiger zu machen. Es ist einleuchtend, daß eine Rohrdränung, die den Unterboden nur in bestimmten Abständen in den Drängräben selbst auflockert, diese Forderungen nicht erfüllen kann. Als bessere Lösung des Problems bietet sich eine tiefe Auflockerung der Staukörperzone mit dazu geeigneten Spezialgeräten an. Der Lockerungseffekt und damit die Verbesserung der Wasserführung und -haltung wird umso günstiger sein, je gleichmäßiger die Auflockerung den tieferen Unterboden erfaßt. - Schulte-Karring (5) hat sich in mehrjährigen Versuchen in der Nordeifel mit diesen Fragen befaßt und über ihre Ergebnisse berichtet.

Die guten Erfolge dieser Versuche gaben Veranlassung zur Durchführung von großflächigen Tieflockerungsarbeiten auf Pseudogleyen im Zuge von Flurbereinigungsverfahren in der Eifel und in der Pfalz. Die Meliorationskosten konnten im Vergleich zur systematischen Rohrdränung durch die Anwendung der Tieflockerung z.T. erheblich gesenkt werden. - Die zur Regelung des Wasserhaushalts auf Pseudogleyen vorzüglich geeignete Tieflockerung darf nun ihrerseits nicht als die alleinige oder allein richtige Meliorationsmethode angesehen werden. In niederschlagsreichen Gebieten oder bei der Tieflockerung dichter Böden in Muldenlagen ist die Gefahr der baldigen Verschlammung und erneuten Dichtlagerung der Lockerungsfurchen gegeben. In diesen Fällen muß für eine schadlose Ableitung des Sickerwassers, das vom aufgelockerten Unterboden nicht aufgenommen werden kann, gesorgt werden. Dazu sind in weiteren Abständen einzuziehende Rohrdräns erforderlich. Das vom Boden durch Kapillarkräfte nicht festgehaltene Wasser strömt den Dräns auf der Sohle der Lockerungsfurchen zu. Die Lockerungsfurchen selbst müssen dazu ein entsprechendes Gefälle aufweisen.

Die Frage wo und in welchem Abstände derartige Bedarfsdräns ausgelegt werden müssen, ist nicht generell zu beantworten. Die Lokalisierung der Dräns hängt hauptsächlich von der Geländegestaltung des Meliorationsgebietes ab. Die gesonderte Erfassung und Ableitung von Hangdruckwasser und Wasser aus Quellmulden muß vorgesehen werden.

Durch die Verbindung von flächenhafter Tieflockerung und Bedarfsdränung ist somit ein kombiniertes Meliorationsverfahren zu entwickeln, daß die durchgreifende und nachhaltige Verbesserung des Wasserhaushalts auf Pseudogleyen ermöglicht. Die Methode hat neben ihren ertragssteigernden und ertragssichernden Auswirkungen im Pflanzenbau den weiteren Vorteil besonderer Preiswürdigkeit.

2.3 Fragen der Erhaltung des Lockerungseffekts durch Düngungs- und Pflanzenbaumaßnahmen

Durch die Tieflockerung wird die das Wurzelwachstum der Pflanzen hemmende Bodennässe und Verdichtung beseitigt. Der primär physikalische Effekt der Lockerung und Entwässerung schafft damit die Voraussetzungen zur positiven Beeinflussung der chemischen und biologischen Verhältnisse des Bodens. Da es sich bei den Graulehm-Pseudogleyen des Rheinischen Schiefergebirges um Standorte handelt, die im Unterboden allgemein stark versauert und nährstoffarm sind, ist eine mit der Durchführung der Tieflockerung einzubringende Kalk- und Mineraldüngung angezeigt. Trotz der gegebenen technischen Schwierigkeiten bei der Tiefdüngung - die gleichmäßige Verteilung der Düngestoffe läßt bei den zur Verfügung stehenden Geräten noch manches zu wünschen übrig - hat sich diese Maßnahme gut bewährt.

In jüngster Zeit ist auch die Einbringung von Kunstharzschäumstoff in die Lockerungsfurchen diskutiert worden. Obwohl bisher noch keine Erfahrungen mit diesen Materialien in der Tieflockerungstechnik gesammelt werden konnten, sind von ihnen günstige Auswirkungen auf die Erhaltung der Lockerung und Unterstützung der Wasserableitung zu erwarten. - Durch die Lockerheit und Nährstoffanreicherung des Unterbodens erhält die Pflanzenwurzel die Möglichkeit in diese ihr früher verschlossenen Bodenzonen einzuwachsen. Die im Boden verbleibenden Wurzelrück-

stände tragen hernach ihrerseits zu einer Stabilisierung der Lockerung und zu einer Förderung der Mikroorganismen bei. Die Tieflockerung und Tiefdüngung löst also schließlich eine Komplexwirkung aus, die zu einer weitgehenden Umgestaltung des Bodens führt. Die anthropogen bedingte Bodentypenwandlung des Pseudogleys hat eingesetzt.

Zusammenfassung:

1. Bodenkartierungen, unterstützt durch Profiluntersuchungen und pflanzensoziologische Aufnahmen bilden die Grundlage zum Erkennen und Abgrenzen meliorationsbedürftiger Standorte.

Die Anwendung des Luftbildes als Kartierungshilfsmittel kann die Geländearbeit wesentlich unterstützen, beschleunigen und vereinfachen.

2. Stark verdichtete und vernässte Graulehm-Pseudogleye sind durch die Rohrdränung allein nicht befriedigend in ihrer Wasserführung und -haltung zu verbessern.

Als kombiniertes Meliorationsverfahren hat sich für diese Böden die Tieflockerung mit Bedarfsdränung bewährt. Durch gleichzeitige Tiefdränung und den Anbau intensiv wurzelnder Pflanzen wird die Lockerung stabilisiert. Dadurch ist ein positiver Effekt hinsichtlich der Verbesserung des Wasserhaushalts, der Ertragsgestaltung und der Ertragsicherheit gewährleistet.

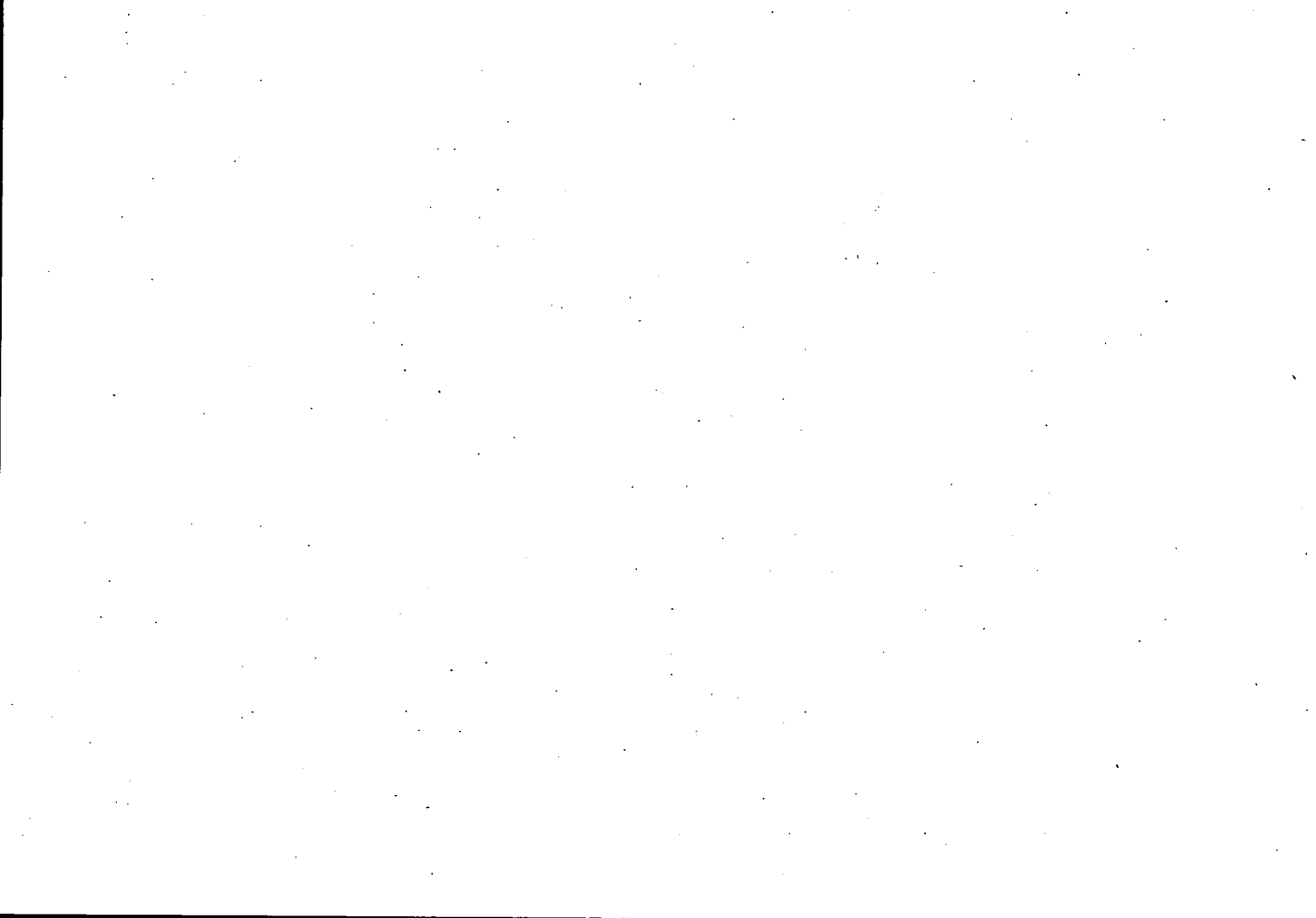
Literatur

1. Beckel, A.: Die Felduntersuchung meliorationsbedürftiger, verdichteter Böden
Landw.Forschg., 17.Sonderheft, 1963, S.32-39
2. Kerpen, W.: Die Böden des Versuchsgutes Rengen, Kartierung, Eigenschaften und Standortwert.
Forschg.u.Beratg,Reihe B, Wissenschaftl.Berichte der Landw.Fak,der Universität Bonn, Heft 5, 1960
3. Mückenhausen, E., Gerkhausen, W. und Kerpen, W.: Entstehung und Eigenschaften der Böden auf den fossilen Verwitterungsdecken der Eifel
Z.f. Acker- und Pflanzenb., Bd.108, H. 1/2 (1959), S. 201 - 202
4. Schirmer, M.: Das Dränbedürfnis der fossilen Verwitterungsböden der Eifel
Z.Pflanzenernährg., Düngung und Bodenkunde. Bd. 67 (112), 1954, S.134-137
5. Schulte-Karring, H.: Verbesserung verdichteter Böden durch Untergrundlockerung und Tiefdüngung
Landw.Forschg., 17.Sonderheft, 1963, S. 40-48

Tabelle 1:

Korngrößenzusammensetzung und Berechnung
der Dränabstände nach DIN 1185 bei Pseudogleyen

Bodentyp	Horizont	Tiefe cm	Korngröße in mm						Strangentfernung (in m) bei	
			in % des Feinbodens < 2,0 mm						einer Saugertiefe von 0,80 m	
			0,002	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	< 0,002	< 0,02
1. Parabraunerde- Pseudogley aus Lößlehm	Ap	0 - 25	15,1	8,1	24,8	40,7	5,9	5,4	10,4	9,1
	(B)g	25 - 41	15,3	8,2	22,4	42,4	6,2	5,5		
	g 12	41 - 58	29,8	8,4	23,7	30,5	3,9	3,7		
	g 2	58 - 95	18,0	7,6	23,7	40,3	5,3	5,1		
2. Pseudogley, stark ausgeprägt, aus Lößlehm	Ap	0 - 30	13,4	7,3	24,0	40,0	6,7	8,6	10,4	9,0
	g 1	30 - 60	17,7	8,6	23,4	36,1	5,5	8,7		
	g 2	60 - 100	26,1	6,2	20,1	33,6	4,0	10,0		
3. Pseudogley, mäßig ausgeprägt, aus Graulehm	Ap	0 - 26	11,2	12,5	25,4	36,0	5,7	9,2	9,6	8,4
	g 1	26 - 42	12,8	10,4	22,1	35,2	8,6	10,9		
	g 12	42 - 54	22,1	10,1	21,3	30,3	7,8	8,4		
	g 2	54 - 120	33,8	13,6	19,5	16,7	8,7	7,7		
4. Pseudogley, stark ausgeprägt, aus Graulehm	Ap	0 - 23	13,0	14,8	25,2	24,9	13,3	8,8	9,4	8,7
	g 1	23 - 31	14,6	15,2	25,6	23,8	13,3	7,5		
	g 11	31 - 51	15,9	9,0	22,2	29,6	6,5	16,8		
	g 12	51 - 76	28,5	7,6	21,2	28,2	6,0	8,5		
g 2	76 - 115	31,2	6,7	20,5	35,3	3,9	2,4			
5. Pseudogley, stark ausgeprägt, aus Graulehm	Ap	0 - 24	12,6	9,3	17,8	26,3	15,8	18,2	8,5	8,1
	g 1	24 - 44	25,8	11,6	16,9	15,9	15,5	14,3		
	g 12	44 - 64	33,1	11,8	14,2	13,6	16,4	10,9		
	g 2	64 - 84	35,1	13,2	17,3	11,8	10,5	12,1		



Verbesserung von Parabraunerden aus Löß durch Primär- löß- und Kalkmeliorationen von G. Schmid

Zentrale und periphere Lößdecken riß- und würmglacialen Alters haben sowohl im südbayerischen, als auch im nordbayerischen Raum eine größere Verbreitung. In ihrer geographischen Ausdehnung sind die äolischen Lößablagerungen Bayerns in zentrale und periphere Decken unterteilbar. Die zentralen Decken erstrecken sich auf zwei getrennte Gebiete: Das von Regensburg über Straubing, Plattling bis Vilshofen donaubegleitende niederbayerische Gäugebiet Südbayerns und das im Raum des Maindreiecks Schweinfurt - Würzburg - Uffenheim liegende mittelfränkische Gäugebiet Nordbayerns. Periphere Ablagerungen sind als Überdeckungen zahlreicher älterer Formationen in süd- und nordbayerischen Gebieten weit verbreitet.

Der Zeitpunkt der Auswehung der Lößablagerungen und damit das Alter der auf diesen Lockergesteinen entstandenen Bodenbildungen erstreckt sich auf die letzten beiden Vereisungsperioden des Alpenraumes, der Riß- und Würmglacialzeit. Das Alter der Lößdecken als Ausgangsgesteine der Bodenbildung ist auf den Entwicklungs- und Reifezustand von grundlegender Bedeutung. Böden aus rißeiszeitlichen Lößablagerungen sind meist bis 5 m Profiltiefe verwittert und entkalkt. Dagegen haben würmglaciale Löße in der Regel 80 - 120 cm mächtige Verwitterungshorizonte. Der auf diesen äolischen Ablagerungen vorkommende Bodentyp ist vorwiegend vom Klima und Relief abhängig. In Klimagebieten unter 800 mm Jahresniederschläge überwiegen Parabraunerden, über 800 mm Pseudogley-Braunerden.

Unter dem Einfluß des kühlfeuchten Klimas der Nacheiszeit ist die Basenauswaschung auf diesen Böden regelmäßig soweit vorangeschritten, daß die Reaktion im Naturzustand in den schwach sauren bis sauren Bereich absinkt. Als Folge der Basenauswaschung hat sich eine Tondurch-

schlammung vollzogen, die zu einer Tonverarmung der Krume und Tonanreicherung des B-Horizontes führte. Der B-Horizont mit ausgeprägten Tonmaximum tritt in der Regel als Staukörper auf und führt zur Ausbildung staunasser Bodenbildungen.

Bei vorliegenden Untersuchungen wurde die Möglichkeit geprüft, die auf den Lößböden eingeleitete Degradierung durch Kalk- und Primärlößmeliorationen aufzuhalten und eine Regradierung einzuleiten.

I. Verbesserung von Parabraunerden durch Primärlößmelioration

Für den Einsatz des Untergrundförderers zur Durchführung von Primärlößmeliorationen eignen sich nur Parabraunerden aus würmeiszeitlichen Lößdecken. Im Jahre 1964 wurde durch die Firma Dr. Ing. Joachim Rathjens, Hamburg, im niederbayerischen und unterfränkischen Gäugebiet ein Untergrundförderer zum Einsatz gebracht.

Nach bisherigen Erfahrungen ist aus wirtschaftlichen und bodengeneti-schen Gründen die Förderung von kalkreichem Löß aus dem C-Horizont der Parabraunerden so zu bemessen, daß eine Krumenüberdeckung von 3 cm erreicht wird. Bei einer Streubreite des geförderten Meliorationsmaterials durch den Untergrundförderer von 30 m müssen je laufender Meter Geräteeinsatz 0,8 cbm Primärlöß entnommen werden. Die Krumenüberdeckung mit 3 cm Primärlöß aus dem C-Horizont und einer Entnahmetiefe von 1,0 - 2,0 m erfordert je ha 330 m Maschineneinsatz. Dabei werden bei einem Volumengewicht von 1,5 je ha 300 cbm = 4.500 dz Primärlöß in die Krume der Parabraunerden eingearbeitet.

Die Wirtschaftlichkeit von Primärlößmeliorationen ist dann gegeben, wenn der CaO-Gehalt des Meliorationsmaterials 3 % übersteigt. Im niederbayerischen Lößgebiet liegt der CaO-Gehalt der C-Horizonte zwischen 10 und 20 %, im unterfränkischen Gäugebiet zwischen 4 und 15 %. Je 1 % CaO-Gehalt des Fördermaterials werden 45 dz/ha CaO gefördert und mit der Krume gemischt. Hieraus ergibt sich für die Lößablagerungen Nordbayerns eine Meliorationskalkung von 180 - 675 dz und für dieselben Südbayerns eine solche von 450 - 900 dz/ha CaO. Nach er-

folgter Primärlößmelioration steigt der CaCO_3 -Gehalt der Krume auf 5 - 10 % an und die Reaktion liegt im pH-Bereich um 7,5, also in einer Höhe wie sie neuerdings vom Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten gefordert wird.

II Verbesserung von Parabraunerden durch Kalkmelioration

Die Kalkmelioration hat im Gegensatz zur Primärlößmelioration den Vorteil, daß ihr Einsatz ohne Rücksicht auf die vorliegenden geologisch-bodenkundlichen Verhältnisse auf allen Bodenbildungen möglich ist. Verfasser hat über Wirtschaftlichkeit und Möglichkeit von Kalkmeliorationen wiederholt berichtet.

Zur Erzielung optimaler Basensättigungsverhältnisse soll die Kalkbedarfsberechnung für pH 6,9 - 7,5 einen CaCO_3 -Gehalt der Krume von 0,3 % und eine 80 %ige Ca-Sättigung vorgenommen werden. Hierzu sind in der Regel auf Parabraunerden aus Löß 100 - 150 dz/ha CaO erforderlich. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen sollten diese Mengen nicht geteilt, sondern als einmalige Meliorationskalkungen verabreicht werden. Die Kalkwanderung in Unterboden und Untergrund vollzieht sich auf Parabraunerden aus Löß mit ausreichender Schnelligkeit, so daß auf einen mechanischen Eingriff ins Bodengefüge in der Regel verzichtet werden kann.

III Standortverhältnisse der Versuchsfläche

Die Untersuchungen über den Einfluß von Primärlöß- und Kalkmeliorationen auf die Basensättigungsverhältnisse der Parabraunerden aus würmeiszeitlichem Löß wurden auf dem Fruchtfolge-Meliorationsversuch Moos bei folgenden Standorteigenschaften vorgenommen:

- | | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| 1. Versuchsort | Moos |
| 2. Landkreis: | Vilshofen /Niederbayern |
| 3. Geographische Lage: | Niederbayerisches Gäugebiet |
| 4. Geologisches Gestein: | Würmlöß über Reißschotter |
| 5. Bodenart: | Lehm |
| 6. Bodentyp: | Schwach pseudovergleyte Parabraunerde |
| 7. Profilbeschreibung: | |

A _P	0 -	26	dkbr.hu.uL
A ₃	26 -	40	grbr. hu' ei' uL
B	40 -	72	rotbr. ei u t L
BC	72 -	80	brgelb. ka 1 U
C ₁	80 -	104	gelb. ka 1' U
C ₂	104 -	200	gelb ka s U

8. Geländelage:

Eben

9. Höhenlage

325 m ü. NN

Aus Tabelle 1 sind die Basensättigungswerte (Mehlich), der Gehalt an freiem Eisen (Deb), organische Substanz und Stickstoff (Springer) in dm - Unterteilung bis 1 m Profiltiefe ersichtlich.

IV Versuchsplan

Bei einheitlicher organischer und mineralischer NPK-Düngung wurden folgende Meliorationen durchgeführt:

Versuchs- glieder	Melioration	dz/ha	dz/ha CaO	Ausbringungs- zeitpunkt
I	0	0	0	0
II	Kalk (Löschkalk)	240	165	Herbst 62/ 90 dz Herbst 63/ 75 dz
III	Primärlöß (20 % CaO)	4.500	900	Herbst 63/ 1.500 dz Herbst 64/ 3.000 dz

V Einfluß der Melioration auf die Basensättigung

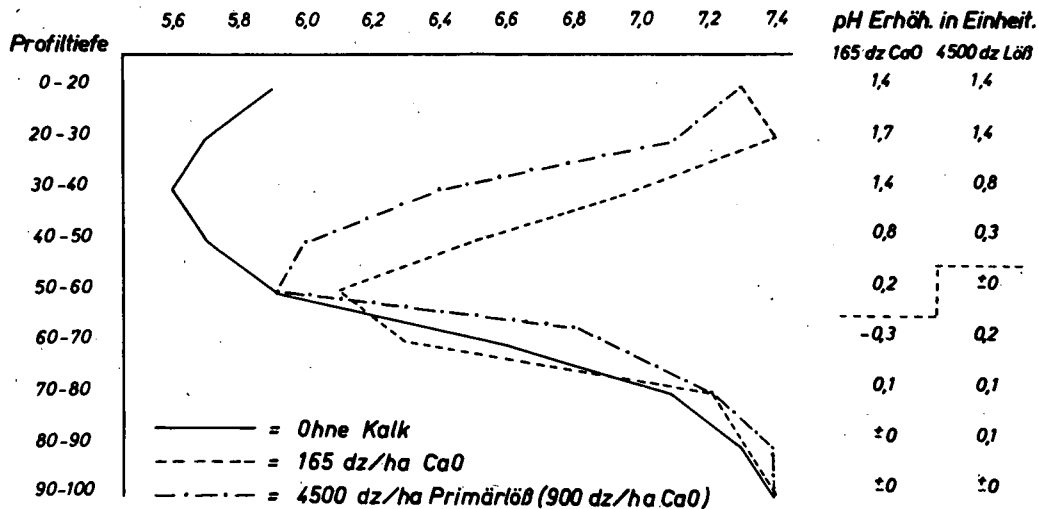
Aus Abb. 1 ist die Veränderung der ph-Werte ersichtlich, die sich als Folge der 1962 - 1964 durchgeführten Meliorationen ergeben. Die in 2 Gaben un-

Tabelle 1

Meliorationsversuch Moos
Chemischer Profilaufbau

Profiltiefe cm	AK mval 100 g B.	V	H mval %	Ca %	Mg	Ca: Mg-Verh.	Fe %	Org.S. %	Ges. -N. %
0 - 20	14.3	79	21	66	10	7	0.90	1.72	0.12
0 20 - 30	14.5	74	26	60	12	5	1.06	1.08	0.08
30 - 40	16.5	92	8	72	18	4	1.14	0.98	0.06
40 - 50	20.5	90	10	69	19	4	1.42	0.81	0.05
50 - 60	20.3	94	6	69	23	3	1.22	0.61	0.05
60 - 70	18.7	99	1	74	24	3	1.04	0.78	0.05
70 - 80	10.0	100	0	77	22	3	0.65	0.55	0.03
80 - 90	8.1	100	0	79	20	4	0.50	0.26	0.01
90 - 100	7.5	100	0	80	19	4	0.52	0.23	0.01

Abb. 1
Melioration auf Parabraunerden
pH-Wert (KCl)



terteilte Meliorationskalkung von 165 dz/ha CaO hat die pH-Werte bis 60 cm Profiltiefe angehoben. Eine ähnliche Beschleunigung der Bodenregradierung konnte der Verfasser auf Urgesteinsböden des Bayerischen Waldes nachweisen.

Auch durch Primärlößmelioration ist eine Reaktionsverbesserung des Bodens bis 50 cm Tiefe eingetreten. Der Reaktionszustand des Untergrundes blieb somit auf der Kalkparzelle ab 60 cm, auf der Primärlößparzelle ab 50 cm Profiltiefe unverändert.

Weitgehend übereinstimmend mit dem Anstieg der pH-Werte wurde auch die Ca-Sättigung angehoben. Die Höhe der prozentischen Anhebung erreicht in der Krume Maximalwerte und fällt mit zunehmender Profiltiefe ab. Während durch Kalkung die Ca-Sättigung in 50 cm Profiltiefe um 10 % angehoben wurde, liegt die maximale Einflußtiefe von Primärlöß mit 3 % bei 40 cm Tiefe. Im C-Horizont liegen die Ca-Sättigungsverhältnisse mit 75 - 80 % im idealen Bereich.

Durch Meliorationskalkung mit 165 dz/ha CaO wird der Karbonatgehalt der Krume erheblich und bis 40 cm Profiltiefe gering angehoben. Auch Primärlöß verursacht in der Krume einen extrem hohen und bis 40 cm Profiltiefe nachweisbaren Anstieg der CaCO_3 -Werte.

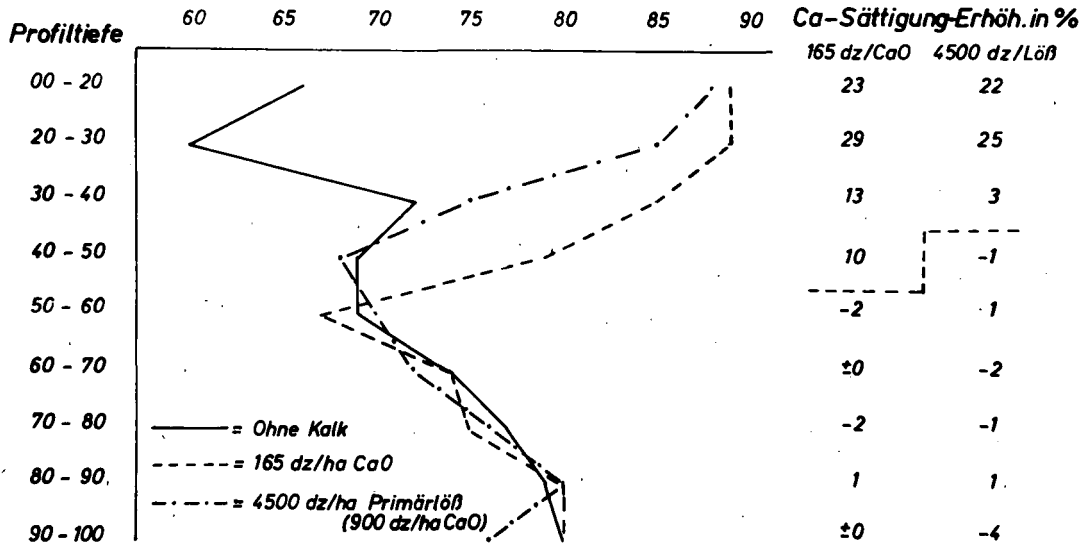
VI Diskussion der Ergebnisse

Die Basensättigung des Durchwurzelungsraumes aller Bodenbildungen ist im erheblichen Ausmaß am Grad des Fruchtbarkeitszustandes und an der Höhe der Pflanzenerträge mitbestimmend. Es hat sich daher als notwendig erwiesen, nicht nur im A-Horizont, sondern zumindest auch im B-Horizont optimale Basensättigungsverhältnisse anzustreben.

Umstritten war und ist auch noch heute die Frage, ob über eine Krumenkalkung die Möglichkeit zur Anhebung der pH-Werte im Unterboden und Untergrund besteht. Nach bisherigen Ansichten war dies ohne Einschränkung auf Sand- und sandigen Böden möglich. Schwierigkeiten wurden vor allem auf schweren Böden (Lehm-, Ton- und schluffreichen Böden) befürchtet.

Abb. 2

Melioration auf Parabraunerden Ca-Sättigung in % der AK



Der Versuchsboden hat in den A-Horizonten 17 - 30 % Ton und 59 - 66 % Schluff. Im B-Horizont liegt der Tongehalt zwischen 29 und 33 %, Der Schluffanteil zwischen 58 und 62 %. Es liegt also ein bodenartlich schwerer Boden vor, der der Kalkwanderung in den Unterboden und Untergrund nach bisherigen Ansichten erhebliche Schwierigkeiten bereiten müßte. Die Kalkwanderung bei Durchführung von Krumenkalkungen ist nach bisherigen Erfahrungen nur dann erheblich gehemmt, wenn Meliorationskalkungen in einer Höhe verabreicht werden, die die Sorptionskapazität der Krume nicht, bzw. nicht erheblich überschreiten.

Fest steht auf Grund vorliegender Untersuchungen, daß auf Parabraunerden aus Löß eine Reogradierung von Unterboden und Untergrund durch Krumenkalkungen möglich ist und ein mechanischer Eingriff ins Bodengefüge zur Beschleunigung der Kalkwanderung nicht unbedingt Voraussetzung für die Einleitung von Bodenaufbauprozessen degradierter Böden darstellt.

Bei der Schnelligkeit der bisher sowohl bei Kalk- als auch bei Primärlößmeliorationen als Krumenkalkungen vollzogenen Anhebung der pH- und Ca-Sättigungswerte im A₃- und B-Horizont der Parabraunerden ist zu erwarten, daß nach etwa einem Jahrzehnt der gesamte Unterboden und Untergrund in den neutralen Bereich überführt werden kann. Der Karbonatgehalt der Krume wurde bei beiden Meliorationsarten erheblich angehoben, so daß damit eine langsam fließende Kalkquelle geschaffen wird.

Mit der Primärlößmelioration eröffnet sich auf Parabraunerden aus wümeiszeitlichen Löß eine neue Meliorationsart, die dort, wo die geologisch-bodenkundlichen Voraussetzungen gegeben sind, der Kalkmelioration an Wirtschaftlichkeit und Nachwirkung überlegen ist.

Durch Kalk- und Primärlößmeliorationen mit Rein-CaO-Gaben, die mindestens für einen Gehalt der Krume an freiem kohlensauren Kalk von 0,5 % berechnet sind, entsteht ein neuer, in der Bodensystematik noch unbekannter Bodentyp, die "anthropogene Kalkparabraunerde".

Wenn nach Kalkmeliorationen bis zur 80 %igen Ca-Sättigung kombiniert mit einer Karbonatanreicherung der Krume von 0,3 % regelmäßig

Erhaltungskalkungen in Höhe von jährlich 5 dz/ha CaO (Entzug durch Kulturpflanzen und Auswaschung) durchgeführt werden, wird diese eine zeitlich unbegrenzte Nachwirkung haben.

Bei Durchführung von Primärlößmeliorationen wird sich mit Sicherheit in den ersten 30 Jahren eine Erhaltungskalkung erübrigen. Bei einem durchschnittlichen jährlichen Kalkverlust der Parabraunerden aus Löß von 5 dz/ha CaO steht eine einmalige CaO-Gabe im Primärlöß, je nach Kalkgehalt von 180 - 900 dz gegenüber. Daraus errechnet sich eine nachhaltige Kalkversorgung von 36 - 180 Jahre. Wenn also je nach CaO-Gehalt des Primärlößes 30 - 50 Jahre nach Durchführung der Melioration mit jährlichen Erhaltungskalkungen von 5 dz/ha CaO eingesetzt wird, wird die Primärlößmelioration ebenfalls eine unbegrenzte Nachwirkung haben.

Struktur- und Typenwandel eines meliorierten Graulehms +)

H. Schulte - Karring ++)

Vorwort:

Bodenschäden können nur dann wirksam und mit nachhaltigem Erfolg beseitigt werden, wenn die eingesetzten Maßnahmen befähigt sind, die Schadensquelle auszuschalten.

Diese Tatsache bedeutet für die Melioration der Staunässeböden, daß nur jene Maßnahmen erfolgreich sein können, die die unmittelbare und dauerhafte Beseitigung der Verdichtungen im Unterboden zur Folge haben.

Einleitung:

Der nunmehr von einzelnen Kulturtechnikern in Rheinland-Pfalz anstelle der systematischen Rohrdränung durchgeführten Unterbodenmelioration gingen unsererseits zahlreiche Versuchsanstellungen voraus, die 1954 für die Abfassung einer Dissertation begannen, und nach einer kurzen Unterbrechung im Jahre 1959 in Ahrweiler ihren Fortgang fanden.

Die Versuche, die zunächst in stark und weniger stark pseudovergleyten Graulehmen und später auch in Löß-Pseudogleyen angelegt wurden, erstreckten sich anfangs nur auf reine Untergrundlockerungen, dann auf Untergrundlockerungen mit kombinierter Tiefendüngung. Schließlich wur-

+) gehört nicht zum Leitthema der Tagung. Verfasser wurde aufgefordert, trotzdem über die Unterbodenmelioration zu berichten.

++) Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler.

den auch Dräns in die im Untergrund gelockerten Teilstücke gelegt um festzustellen, welchen Einfluß die Auflockerung auf die Dränleistung der in den verdichteten Böden fast wirkungslos gebliebenen Rohrdräns nimmt.

Die nachfolgenden Ausführungen behandeln einen Teil der Untersuchungsergebnisse, die in dem ältesten, im Jahre 1959 in Ahrweiler gelockerten und tiefgedüngten Staunässeboden ermittelt wurden. Sie sollen mit Nachdruck darauf hinweisen, daß es bei der Melioration der Staunässeböden nicht nur auf das Abführen von Stauwasser ankommt.

Hauptteil

Bei dem vorerwähnten Versuchsboden handelt es sich um einen stark dichtlagernden, im oberen Unterboden mit Lößbestandteilen durchsetzten, mittelschweren Graulehm-Pseudogley, der wegen seiner Ertragsunsicherheit zu den dringend meliorationsbedürftigen Stanässeböden zählt.

Der Versuchsboden (Abb. 1a) wurde im Spätherbst 1959 mit einem einarmigen Lockerungsgerät (Abb. 2) und mit einer auf diesem Gerät montierten Tiefendüngungsanlage 65 cm tief aufgerissen und gedüngt, wobei die aus Kalkstickstoff, Thomasphosphat und Kali bestehende Düngermischung infolge eines zu langen Auslaufes zum größten Teil auf die Sohle der Lockerungsfurche fiel und hier die Grenze zwischen gelockertem und ungelockertem Unterboden am Profil deutlich markiert. Nunmehr, 6 Jahre nach der Melioration, präsentiert sich der ehemalige Pseudogley mit einem ganz neuen Aufbau (Abb. 1b).

Der Unterboden der Versuchsfläche hatte die typischen Merkmale eines inaktiven Bodens. Kompakt, schlecht durchlüftet und deshalb wenig durchwurzelt und belebt, unfähig, das gesamte Niederschlagswasser zu speichern, neigte er zur Staunässe oder zum schnellen Austrocknen. Wie bei den meisten Staunässeböden, so war auch der Unterboden der Versuchsfläche aus einer Vielzahl scharfkantiger, polyederähnlicher, verdichteter Bodenaggregate zusammengesetzt (Abb. 3), die sich dank ihres Schrumpfungsvermögens bei günstigem Feuchtigkeitszustand leicht voneinander trennen ließen (Abb. 4).

Durch das mechanische Lockern, das ein Anheben und im Bereich des schräggestellten Lockerungsschäres sogar ein Verlagern des verdichteten Bodens zur Folge hatte, wurde der Verband der Bodenaggregate zerrissen, so daß der gelockerte Unterboden aus vielen verschieden großen, nunmehr zwar aufgelockerten aber in sich noch verdichteten Einzelaggregaten bestand.

Diese mechanische Einwirkung stellte nur die Einleitung zu einem nun stattfindenden Strukturwandel dar, den der aus seiner Zwangslage befreite Boden selbst vornahm und der nicht nur die Beseitigung der Stau-nässe, sondern eine weitreichende Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit zur Folge hatte.

Wir konnten bereits während einiger Monate nach der Anlage des Versuches beobachten, daß der größte Teil der verdichteten Bodenaggregate einem bis zur Krümelstruktur reichenden Zerfall, einer Sekundärauflockerung unterlag (Abb. 5 und 6). Der Anteil des Bodens, der diese relativ schnelle Selbstauflockerung nicht erfuhr, war innerhalb der Versuchsfläche unterschiedlich groß - nach 3 Jahren konnten jedoch in dem maschinell gut aufgelockerten Unterboden keine dichtlagernden Einzelaggregate mehr festgestellt werden.

Die Anfertigung und Auswertung von Dünnschliffen (Dr. Kopp, Bonn ⁺⁾) gaben uns einen Einblick in den mikromorphologischen Aufbau des un-bearbeiteten und des bearbeiteten Unterbodens. Aus dem unterschiedlichen Aussehen der Poren können wichtige Folgerungen gezogen werden. Während fast alle Poren des ungelockerten Bodens von einem ungekörnten, quellungsfähigen Fließplasma umgeben sind, besitzen die neugebildeten Poren des gelockerten Bodens das auch mit Tontapete bezeichnete Plasma nicht. Hieraus läßt sich die Tatsache erklären, daß die Poren des ungelockerten Bodens infolge der Quellbarkeit des Plasmas bis zur völligen Undurchlässigkeit verschlossen werden können, während der gelockerte Unterboden seine Durchlässigkeit nicht verliert.

+) Institut für Bodenkunde; Direktor: Professor Dr. Dr. E. Mückenhausen

Die Ergebnisse der jährlich vorgenommenen Porenvolumenbestimmungen zeigen übereinstimmend, daß die Bearbeitung und Düngung des Unterbodens eine nachhaltige Vergrößerung des überkapillaren Porenvolumens zur Folge hat und daß die Auflockerung in ca. 45 - 65 cm Tiefe durch das Verkanten der Einzelaggregate am besten erhalten geblieben ist. Die Messungen des Porenvolumens weisen ebenso übereinstimmend eine Wiederverdichtung unterhalb der Krume nach, die durch das Befahren der Furche beim Pflügen erfolgt sein muß (Abb.7). Die Wiederverdichtung präsentiert sich bei jeder Aufgrabung in einem ausgeprägten Plattengefüge.

Es liegt nahe, daß die nach der Sekundärauflockerung entstandene Krümelstruktur nicht von Dauer ist, wenn sie nicht chemisch und biologisch stabilisiert wird. Der im Jahre 1959 angelegte Versuch hat uns ebenso wie die anderen Untergrundlockerungs- und Tiefendüngungsversuche gezeigt, daß eine nachhaltige Melioration nur mit Hilfe von Kalk und tief eingebrachten kalkreichen Nährstoffdüngern zu erzielen ist.

Die in dem feuchten Unterboden lagernden Handelsdüngemittel dienen den Kulturpflanzen nicht nur als Nährstoffreserven, sondern die kalkreichen Nährstoffdüngemittel fördern die Stabilisierung der neugebildeten Struktur. Inwieweit die eingebrachten oder die in den Unterboden eingewaschenen Handelsdüngemittel den Kationenbelag der Tonminerale verändert haben, ist noch nicht bekannt. Wir wissen lediglich, daß die Säure des gelockerten Unterbodens dank der starken Wasserzirkulation innerhalb einer relativ kurzen Zeit neutralisiert werden kann. Der starken Wasserbewegung ist es auch zu verdanken, daß der im Jahre 1959 angelegte Versuch nunmehr innerhalb der Lockerungsfurchen einen ausgeglichenen pH-Wert besitzt (Abb. 1b).

Über den veränderten Wasserhaushalt untergrundgelockerter Böden liegen besonders zahlreiche Untersuchungsergebnisse vor. Ihres Umfanges und ihrer Bedeutung wegen sollen sie bei einer anderen Gelegenheit vorgetragen werden ⁺⁾ . Im Zusammenhang mit der Veränderung der Struktur soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, daß die Wasserdurchlässigkeit der

⁺⁾ Lichtbildervortrag über dieses Thema erfolgte am 3./4.März 1966 anlässlich eines Kolloquiums der Kommission VI in München.

tiefgelockerten Böden während der ersten Jahre besonders stürmisch ist, um dann mit fortschreitender Sekundärauflockerung zugunsten einer mehr und mehr zunehmenden Wasserspeicherung zu verlangsamen.

Für die biologische Verbauung der nach der Sekundärauflockerung zunächst noch unstabilen Krümelstruktur hat der Stickstoff eine ganz besondere Bedeutung. Wir haben feststellen können, daß die den gelockerten Unterboden intensiv durchwurzelnden Pflanzen in dem mit N angereicherten Unterboden zu einer besonders starken Wurzelbildung angeregt werden, was wiederum die Lebensbedingungen der Organismen in dem gut durchlüfteten Boden verbessert (Abb.8).

Die aus dem 6-jährigen Versuch entnommenen und mikrobiologisch untersuchten Bodenproben (Frau Dr. Scholz-König, Bonn ⁺) zeigen in der Tat in dem aufgelockerten und tiefgedüngten Unterboden einen eindeutig höheren Mikroorganismenbesatz (Abb.9). Aus den Ergebnissen der Keimzahlbestimmungen und hier besonders aus der Anzahl der Gesamtkeime spiegelt sich die zuvor erwähnte besonders gute Auflockerung und starke Wurzelbildung in 45 - 65 cm Tiefe deutlich wider. Ein ähnliches Bild zeigt die Tätigkeit der für die Bodenfruchtbarkeit so entscheidenden Mikroorganismen (Abb.10). Sowohl die CO₂-Entbindung als auch die mikrobielle Zellulosezersetzung sind ebenso wie die Nitrifikation in der intensiv aufgelockerten Zone am größten.

Schluß :

Zum Abschluß der Ausführungen über den Strukturwandel untergrundgelockerter und tiefgedüngter Staunässeböden und deren Auswirkung soll darauf hingewiesen werden, daß der in diesem Bereich beschriebene 6-jährige Versuch keinen einmaligen Erfolg darstellt, sondern gleiche oder ähnliche Bodenverbesserungen bei allen richtig durchgeführten Unterbodenmeliorationen festzustellen waren (Profilaufnahmen).

Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben uns gezeigt, zu welcher und zu wie schneller Regeneration der Boden fähig ist, wenn man ihn von

⁺) Institut für Bodenkunde; Direktor: Professor Dr. Dr. E. Mückenhausen

seiner Verdichtung, der Ursache der Schäden, mit geeigneten Maßnahmen befreit hat.

Unsere Arbeiten werden sich in den kommenden Jahren neben weiteren bodenkundlichen und pflanzenbaulichen Untersuchungen vor allem auf die Lösung technischer Probleme erstrecken, um die Unterbodenmelioration sowohl in landwirtschaftlichen Kulturböden als auch in weinbaulich genutzten Böden wirksam einsetzen zu können.

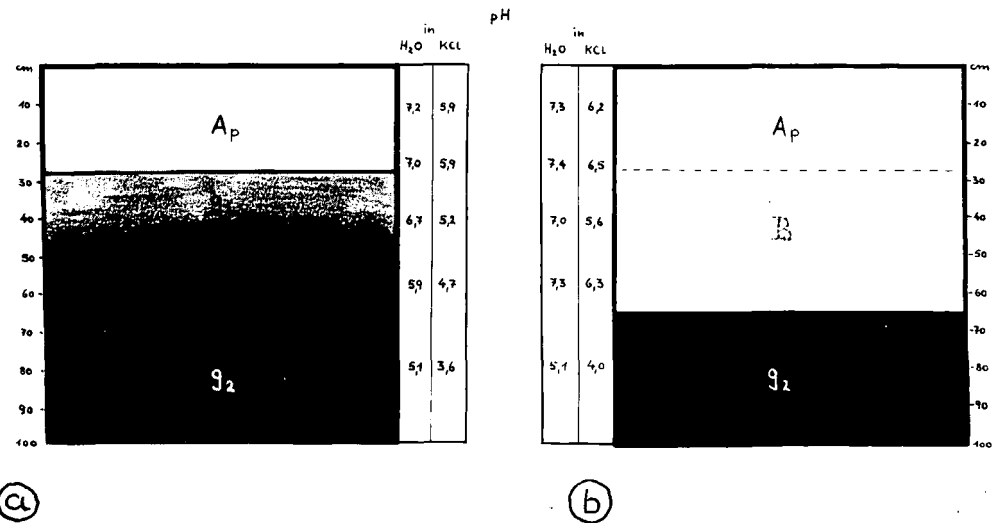


Abb. 1a u. b : Das Profil des Pseudogleys vor und 6 Jahre nach
der Melioration des Unterbodens



Abb. 2 : Das bei der Anlage der Ahrweiler Meliorationsversuche eingesetzte Anhängegerät "Talisman K₁"



Abb. 3: Extrem ausgebildete Polyeder-Struktur eines zusammengepreßten Lößlehms

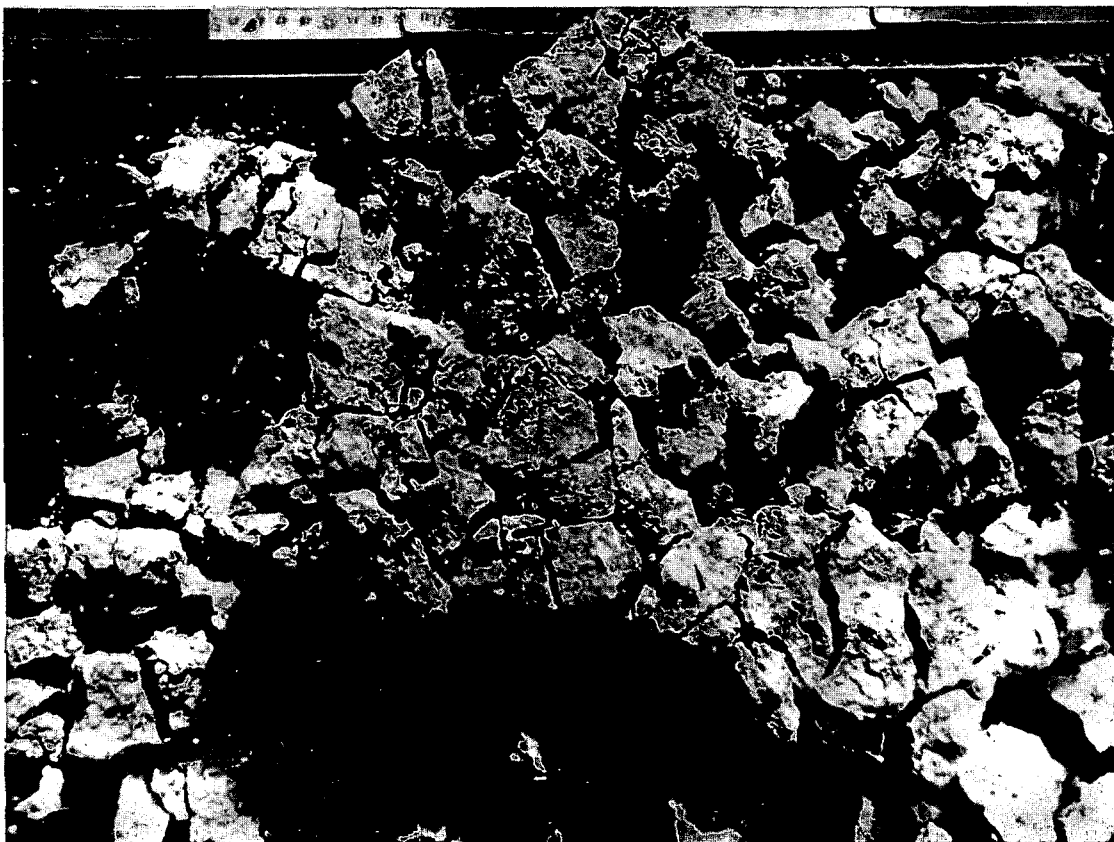


Abb. 4 : Die aus ihrem Verband gerissenen, noch verdichteten Einzelaggregate

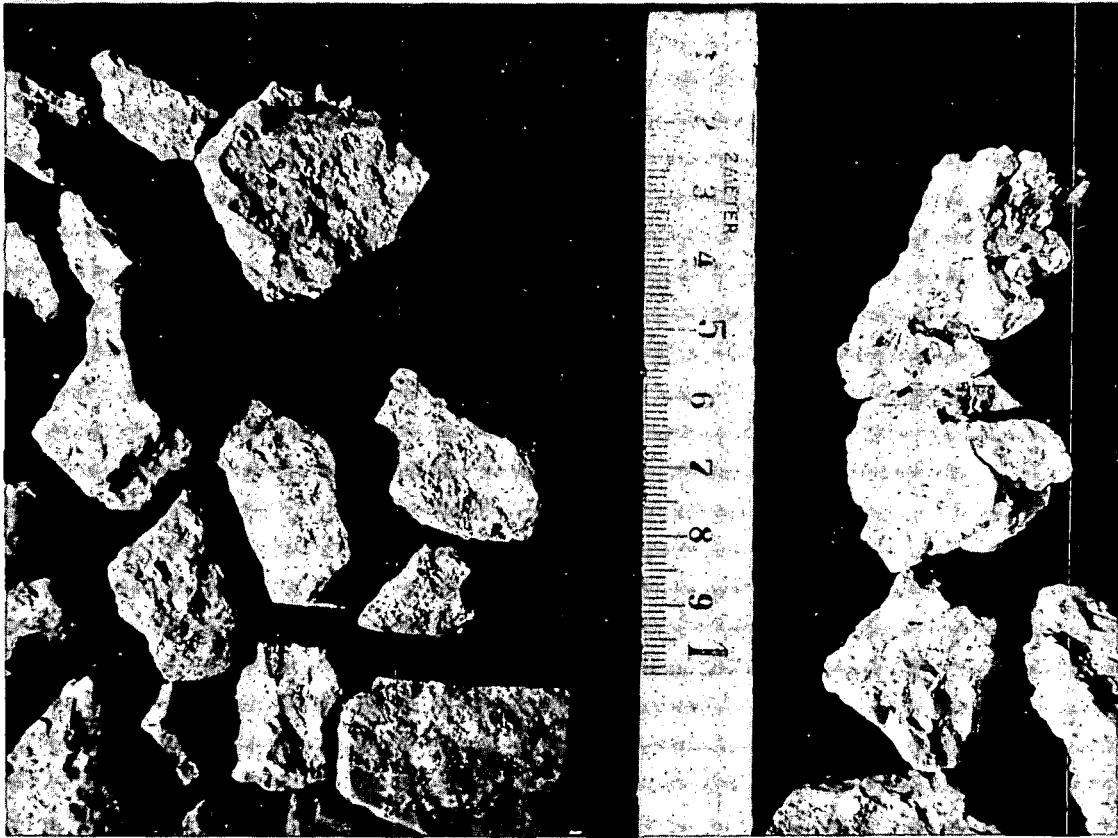


Abb. 5: Verdichtete Bodenaggregate aus dem Bereich des Staukörpers (g2) vor und nach der Sekundä.
auflockerung

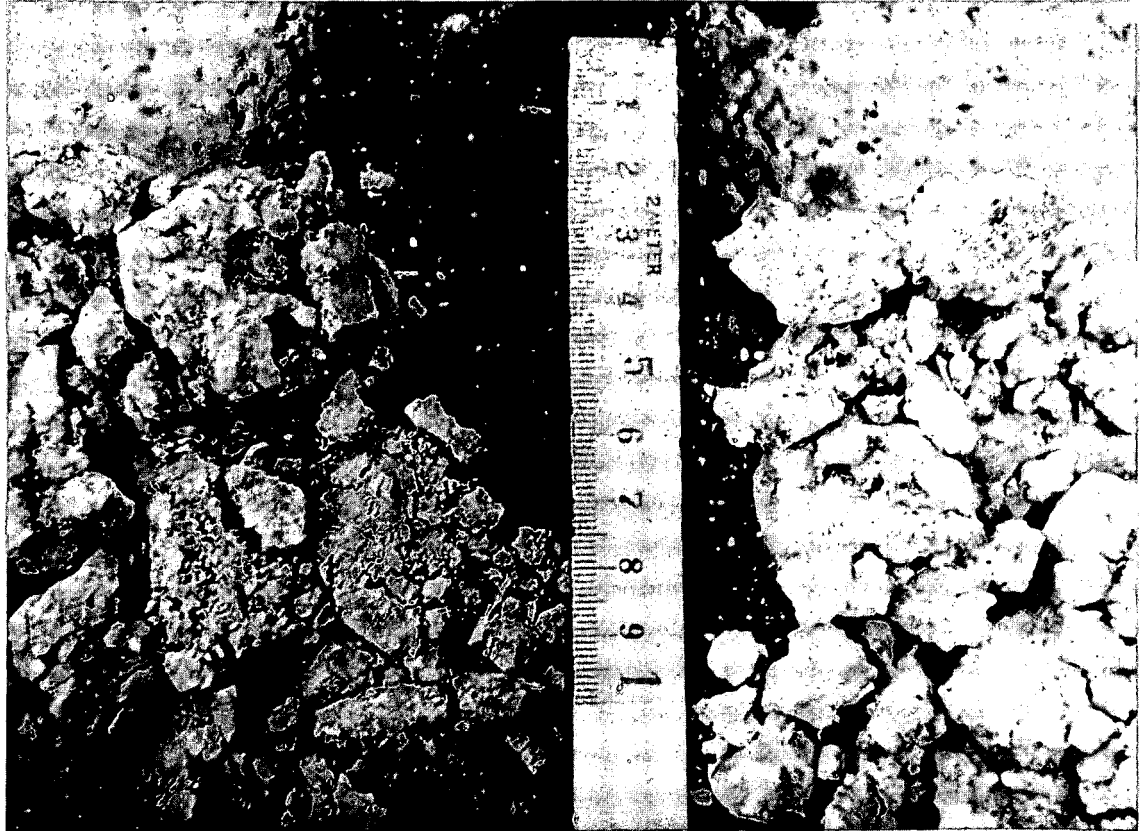


Abb. 6: Verdichtete Bodenaggregate aus dem Bereich des Staukörpers (g_2) vor und nach der Sekundärauflockerung

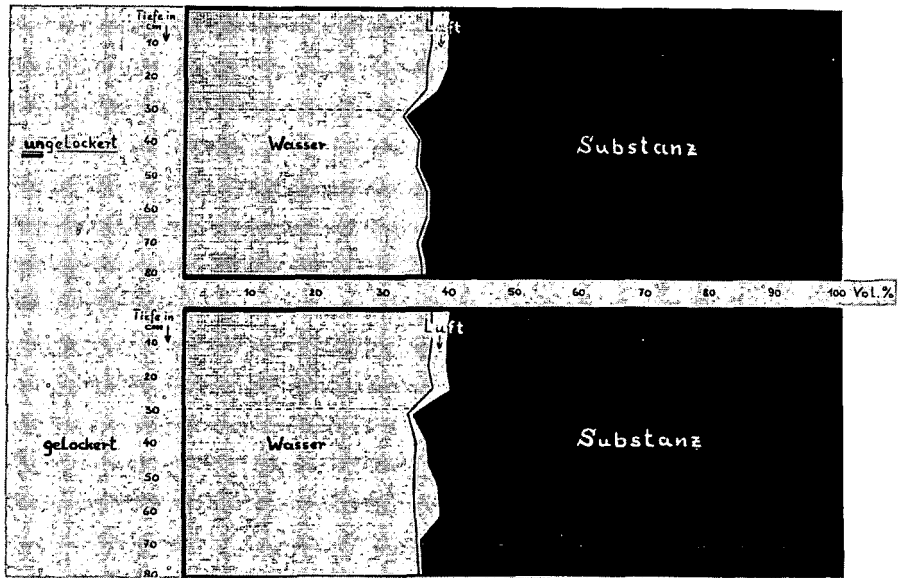


Abb. 7 : Das Volumen des nicht gelockerten und des untergrundgelockerten und tiefgedüngten Bodens 6 Jahre nach der Anlage des Versuches

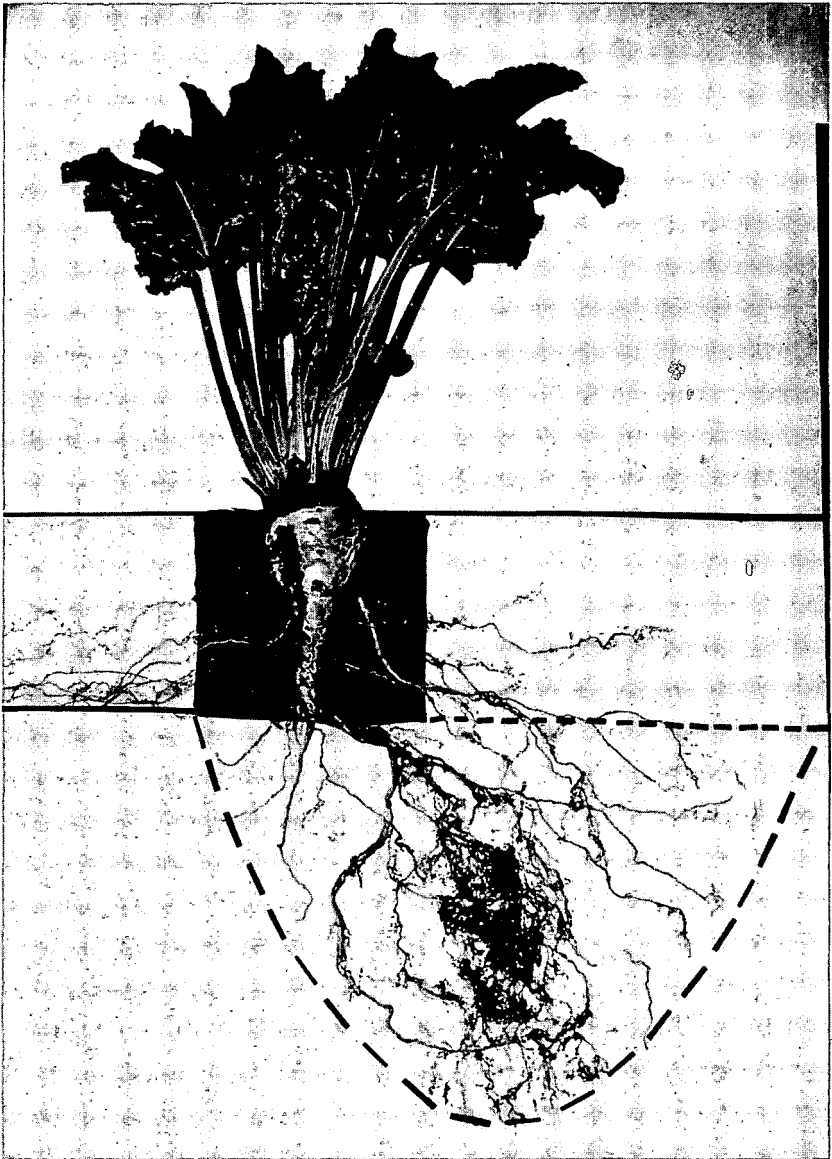


Abb. 8: Wurzelhäufung in dem mit Nährstoffen angereicherten Unterboden

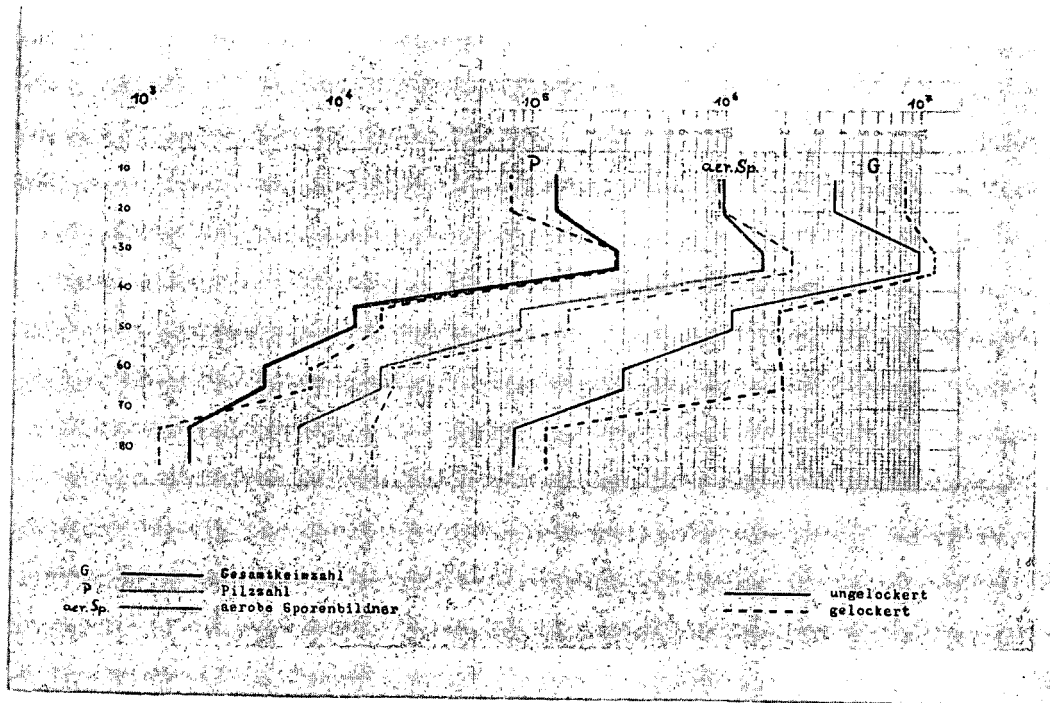


Abb.: 9 Der Besatz an Mikroorganismen
 a) in dem gelockerten und tiefgedüngten - - - - -
 und b) in dem ungelockerten _____ Teilstück
 6 Jahre nach der Anlage des Versuches (nach Dr. Scholz-König)

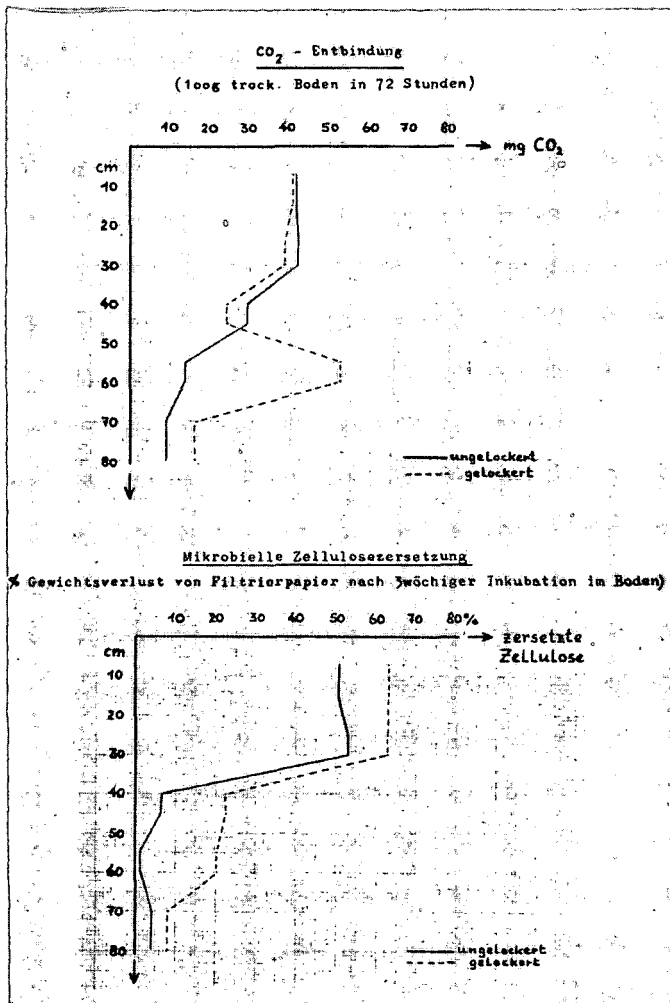


Abb. 10: Die Tätigkeit der Mikroorganismen
 a) in dem gelockerten und tiefgedüngten -----
 und b) in dem ungelockerten _____ Teilstück
 6 Jahre nach der Anlage des Versuches (nach Dr.Scholz-König)

Röntgenographische Untersuchungen zur Deutung von K-Fixierungsunterschieden in Lößböden mit Tonver- lagerung von E. A. Niederbudde ⁺⁾

EINLEITUNG

In den Bodenserien der zentralen mitteldeutschen Lößlandschaft konnten für die verschiedenen, morphologisch unterscheidbaren Horizonte charakteristische K-Fixierungszahlen ermittelt werden (3). Es ist naheliegend, diese Befunde als das Ergebnis bodengenetischer Prozesse zu betrachten. Tonbildung, Tonverlagerung und Versauerung dürften vor allem den Dreischicht-Tonmineralbestand sowie die Struktur und die Eigenschaften der Minerale entscheidend beeinflussen.

Die vorliegenden Untersuchungen dienen dem Zweck, die Ursachen der kennzeichnenden Fixierungsunterschiede in den A- und B-Horizonten der Gris- und Parabraunerden aufzufindig zu machen. Gemessen an den Toner der A-Horizonte fixieren die der B-Horizonte im Mittel annähernd die dreifache Menge Kalium (3).

Für die Deutung der Befunde über die K-Fixierung spielen die Mengen an Illiten und Illitverwitterungsprodukten sowie die Kontrahierbarkeit der Verwitterungsprodukte bei K-Ioneneintausch mit unterschiedlicher Ionenkonzentration und Eintauschintensität eine bedeutende Rolle. Es ergibt sich aus diesen Versuchsanstellungen ein zusammenfassender Überblick über den Dreischicht-Tonmineralbestand und das Verhalten der expandierten Dreischicht-Tonminerale gegenüber Kalium. Mit einer großen Anzahl von Proben müßte es möglich sein, Auskunft über den typischen Dreischicht-Tonmineralbestand innerhalb einer Horizont-

+) Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Büntehof, 3 Hannover-Kirchrode, Bünteweg 8. Direktor: Prof. Dr. E. Welte

gruppe zu erhalten, sowie die kennzeichnenden Merkmalseigenschaften herauszufinden, in denen sich morphologisch verschiedene Horizonte auch in ihrem Dreischicht-Tonmineralbestand voneinander unterscheiden.

2. Böden und Methoden

Über die Untersuchungsgebiete (Niedersachsen, Nordhessen, Westfalen) sowie über die für die Böden gültigen Untergliederungskriterien ist schon an anderer Stelle kurz berichtet worden (3). Nähere Einzelheiten werden einer umfassenderen Darstellung vorbehalten bleiben müssen. Die Untersuchungen über die K-Fixierung wurden an 23 A- und 31 B-Horizonten ^{+) durchgeföhrt. Die Tone derselben Böden wurden hier mineralogisch untersucht.}

Die Tone (Fraktion $< 2 \mu$) der insgesamt 54 Proben wurden sowohl nach Dispergierung der Böden in H_2O als auch nach vorsichtiger Oxidation der organischen Substanz und Extraktion des oxidisch gebundenen Eisens (2) gewonnen. Damit verdoppelte sich die Probenzahl.

Die Kontrahierbarkeit der 14 \bar{A} -Minerale wurde mit 0,001 n und 0,01 n KCl getestet (Lösungsmenge jeweils im Überschuß). Soweit die Minerale noch nicht vollständig kontrahiert waren, wurden die Tone mit KCl im Überschuß bei $70^{\circ} C$ eingedampft. Nach dieser Behandlung oder, falls eine vollständige Kontraktion vorher eingetreten war, nach der jeweiligen Kaliumsorption wurde der Reversibilitätstest mit Mg vorgenommen. Diese Untersuchungen wurden am gleichen Präparat durchgeföhrt. In einem zweiten Versuchsansatz wurden die ursprünglichen Proben (in H_2O und nach Extraktion) als Parallele zum ersten noch einmal geröntgt. Mit diesem Präparat wurde anschließend der Expansionstest mit Glycerin durchgeföhrt.

Aus der Aufzählung der Versuche, von denen die Ergebnisse des Glycerin-Expansionstestes hier noch nicht mitgeteilt werden, ergibt sich eine sehr große Anzahl von Röntgenaufnahmen. Da bei den verschiedenen Tests nur ein Winkelbereich von weniger als $2\theta = 7^{\circ}$ aufgenommen zu werden braucht, liegt der größte Zeitaufwand bei den Austausch- und Präparie-

^{+) A = A₁- und B = B₁-Horizont. Alle Böden sind aus carbonathaltigen Lössen entstanden.}

ungsverfahren. Eine Reihe von Vorversuchen ergab eine wesentliche Verbesserung und Beschleunigung der Technik durch Einführung von Glasfilterplatten in serienmäßig hergestellte Filterbecher der Firma Christ, Osterode. Die Glasfilterplatten dienen als Präparateträger. Die Orientierung der Minerale erfolgt durch Sedimentation während der Zentrifugation oder während des Absaugens (siehe auch 1). Zahlreiche Vorversuche haben gezeigt, daß die Orientierung der Schichtmineral parallel zur c-Achse durch zusätzliches Glätten und Überstreichen des noch feuchten Präparates nur nach Behandlung mit konzentrierten Salzlösungen (trockene K-Fixierung, Mg-Reversibilitätstest) verbessert werden konnte.

Die röntgenographischen Untersuchungen wurden mit der Müller-Mikro-III-Apparatur (Cu K α -Strahlung, 40 kV, 20 mA) durchgeführt. Die Winkelmessung erfolgte mit einem Philips-Diffraktometer sowie einer Registratur unter Einschaltung eines Diskriminators.

3. Unterscheidungsmerkmale von Dreischicht-Tonmineralen in A- und B-Horizonten

Bevor die Frage nach den kennzeichnenden Eigenschaften, in denen sich die Dreischicht-Tonminerale der A- und B-Horizonte voneinander unterscheiden, beantwortet werden kann, muß festgestellt werden, ob für jede Horizontgruppe ein typischer Dreischicht-Tonmineralbestand mit charakteristischen Eigenschaften besteht. Aus den Befunden geht hervor, daß den Tonen der B-Horizonte kennzeichnende Merkmale im Dreischicht-Tonmineralbestand zugesprochen werden können. Die Tone der A-Horizonte sind sowohl im Hinblick auf die innerkristallinen Kontraktionseigenschaften als auch im Hinblick auf die Mengenverhältnisse Illit/Illitverwitterungsprodukt so heterogen, daß die verschiedenen Erscheinungsformen an dieser Stelle in Einzelheiten nicht abgehandelt werden können. Eine Abgrenzung gegenüber den B-Horizonten ist insofern gerechtfertigt, als sich sämtliche Tone der A-Horizonte - ein Standort ausgenommen - entweder durch die geringen Mengen an Illitverwitterungsprodukten oder durch eine erschwerte Kontrahierbarkeit (oder auch durch beide Merkmale) von dem Dreischicht-Tonmineralbestand der B-Horizonte unterscheiden.

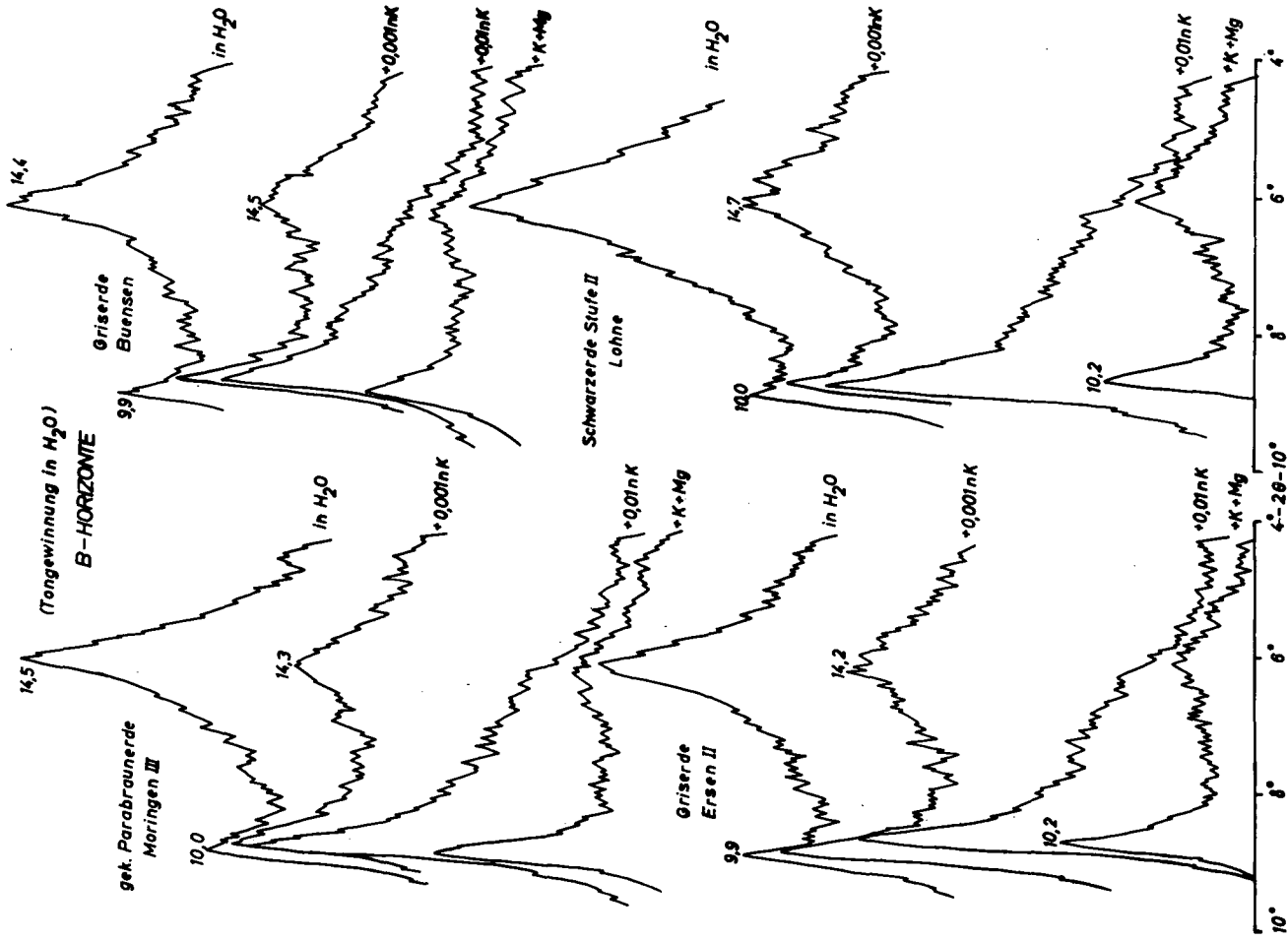
Der typische Bestand der B-Horizonte von Gris- und Parabraunerden sowie das charakteristische Verhalten der Illitverwitterungsprodukte ist den Röntgendiagrammen in Abb. 1 zu entnehmen.

Übereinstimmend konnte bei den Tonen eine beträchtliche Anreicherung der 14 \AA -Minerale gegenüber den 10 \AA -Mineralen festgestellt werden. Von dieser Regel gab es unter 31 Proben nur eine Ausnahme. In diesem Falle war das Intensitätenverhältnis 1: 1.

Abgesehen von zwei Proben, von denen die eine wenig Al-Chlorit, die andere etwas echten Chlorit enthielt, verhalten sich die 14 \AA -Minerale gegenüber Kalium entsprechend den in Abb. I dargestellten Beispielen insofern einheitlich, als sämtliche Illitverwitterungsprodukte mit $0,01 \text{ n KCl}$ kontrahiert werden konnten. Schon mit $0,001 \text{ n KCl}$ ist der Effekt bei den B-Horizont-Tonen sehr beachtlich. Es ergeben sich hier einige Unterschiede im Hinblick auf die kontrahierten Mengen. Die mit K auf 10 \AA verengten Minerale sind nur zu einem geringen Teil mit Mg wieder aufweitbar. Dies ist aus dem unzulösen Kurvenverlauf im Bereich von $2\theta = 6^\circ$ zu erkennen, der für Tone aus B-Horizonten typisch ist. Die deutlich erkennbare Zacke, wie sie bei der zur Entwicklungsstufe II veränderten Schwarzerde (3) auftritt, ist kennzeichnend für Übergangshorizonte.

4. Die Deutung der K-Fixierungsunterschiede

Will man die Ursachen der K-Fixierungsunterschiede, wie sie zwischen A- und B-Horizonten festgestellt wurden (3), mit röntgenographischen Methoden ermitteln, so ist es sinnvoll, die Mengen an Illitverwitterungsprodukten mit der Kontrahierbarkeit dieser Minerale zu kombinieren. Beide Merkmale sind für die Höhe der Kaliumfixierung von entscheidender Bedeutung. In Abb. 2 ist ein Schema dargestellt, in dem die Mengen und die Kontrahierbarkeit der Illitverwitterungsprodukte berücksichtigt sind. Auf der Vertikalen sind die Mengen der 14 \AA -Minerale relativ zum Illit (10 \AA) angegeben. In diesem Schema wurden bei den Mengenangaben die röntgenographischen Ergebnisse der in H_2O gewonnenen Tone verwertet. Legt man die nach Fe-Extraktion erzielten mineralogischen Resultate zugrunde, so ergeben sich Verschiebungen zu Gunsten der 14 \AA -Minerale, die die Lage der A- und B-Horizonte zueinander nicht entscheidend verändern (4). Die



ABILDUNG 1

Einteilung von wenig bis angereichert orientiert sich an den 001 Linien des Illits. "Mittel" bedeutet z.B., daß die Intensität der 14 Å-Zacke im Bereich der 10 Å-Zacke liegt. Die weiteren Abstufungen ergaben sich aus einer sinnvollen Aufgliederung des vorliegenden Analysenmaterials.

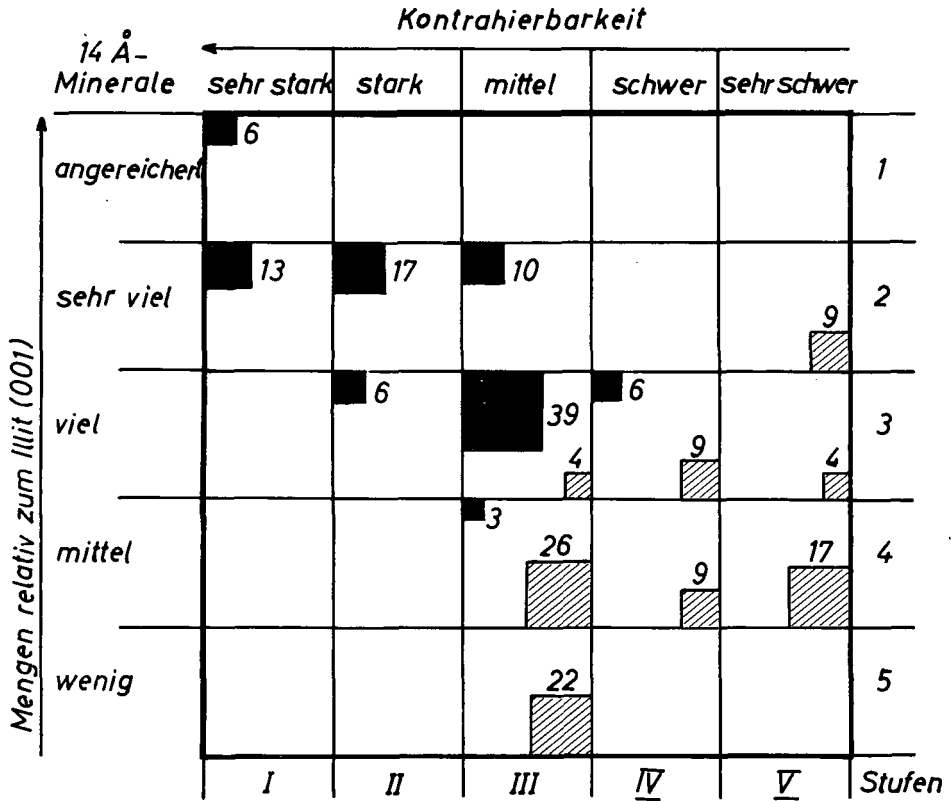
Die Kontrahierbarkeit der Illitverwitterungsprodukte ist unterteilt von "sehr stark" bis "sehr schwer". "Mittel" bedeutet in dieser Zusammenstellung, daß die Illitverwitterungsprodukte mit 0,01 n KCl vollständig kontrahierbar sind. "Sehr stark" und "stark" bedeuten verschieden große Neigung zur Kontraktion, gemessen am Verhalten der Illitverwitterungsprodukte gegenüber 0,001 n KCl. Dabei ist zu bemerken, daß die unter diesen Rubriken eingestuftten Proben mit 0,01 n KCl ebenfalls vollständig kontrahierten. "Schwer" und "sehr schwer" bedeutet verschieden starke Erschwerung der Kontraktion. Ließen sich die Basisabstände der Illitverwitterungsprodukte mit 0,01 n KCl ohne Fe- (Al₂O₃)-Extraktion nicht vollständig, nach Extraktion aber zu 100 % auf 10 Å verengen, dann gelangte die Probe in Stufe IV, war nach beiden Extraktionen die Verengung unvollständig, dann wurde sie der Stufe V zugeordnet.

Unterstellt man die Gültigkeit der Annahme, daß mit ansteigenden Gehalten an Illitverwitterungsprodukten und verstärkter Kontrahierbarkeit die Kaliumfixierung zunimmt, dann liegen die Tone mit der höchsten Kaliumfixierung in den linken oberen, die mit den niedrigsten in den rechten unteren Quadranten dieses Schemas.

Dem Schaubild ist zu entnehmen, daß in den Tönen der B-Horizonte die Illitverwitterungsprodukte, gemessen an den Illitmengen, überwiegen. Ca 40% liegen in den Stufen III/3. Von diesem größten Anteil an der Gesamtprobenzahl aus betrachtet gibt es mit 9 % nur wenige Proben, die entweder geringere Mengen an Illitverwitterungsprodukten (10 Å : 14 Å = 1 : 1) enthalten oder eine schlechtere Kontrahierbarkeit zeigen. Über 50 % der B-Horizont-Proben enthalten, im Vergleich zu den 40% in den Stufen III/3, noch mehr Illitverwitterungsprodukte mit stark ausgeprägten K-fixierenden Eigenschaften.

Im Gegensatz dazu deutet die Lage der A-Horizont-Tone im unteren rechten Dreieck eine geringe K-Fixierung der Böden an. Entweder sind in ihnen nur kleine Mengen an Illitverwitterungsprodukten vorhanden, oder die Kontrahierbarkeit ist sehr erschwert.

(Mengenangaben nach Gewinnung in H₂O)



 A-Horizont
 B-Horizont
 } % = Anteil an der Gesamtprobenzahl

Abbildung 2

5. Zusammenfassung

Als wichtigstes Ergebnis kann herausgestellt werden, daß die K-Fixierungsunterschiede zwischen A- und B-Horizonten (3) durch den Mineralbestand in den entsprechenden Horizonten erklärt werden können. Die A-Horizonte enthalten zum größten Teil nur kleine Mengen an Illitverwitterungsprodukten. Aus der Gegenüberstellung des Dreischicht-Tonmineralbestandes zwischen A-Horizonten sowie B- und C-Horizonten ⁺⁾ ist zu folgern, daß die Illitverwitterungsprodukte überwiegend an der Tonverlagerung beteiligt gewesen sind.

Auf vier Standorten kam es zu einer deutlichen Anreicherung von Illitverwitterungsprodukten in den A-Horizonten, in deren Tonen unterschiedliche Mengen an Al-Chloriten festgestellt wurden. Diese A-Horizonte sind nach ihren K-fixierenden Eigenschaften denen mit geringen Mengen an Illitverwitterungsprodukten gleichzustellen, da die Al-Chlorite, die das Endstadium der Illitverwitterungsreihe im sauren Milieu darstellen, kein Kalium fixieren.

Bei den Tonen der B-Horizonte konnten kennzeichnende Merkmale im Dreischicht-Tonmineralbestand festgestellt werden. Typisch für den Dreischicht-Tonmineralbestand in den B-Horizonten ist die beträchtliche Anreicherung der K-fixierenden Illitverwitterungsprodukte und die damit verbundene leichte Kontrahierbarkeit, die schon mit sehr verdünnten Kaliumlösungen herbeigeführt werden kann.

Schrifttum

1. Dümmler, H.u. Schroeder, D.: Zur qualitativen und quantitativen röntgenographischen Bestimmung von Dreischicht-Tonmineralen in Böden. Z.Pflanzenernähr., Düng., Bodenkde, 109, 35-47 (1965)

+) Die Ergebnisse der C-Horizonte liegen inzwischen vor

2. Mehra, O.P. und Jackson, M.L.:

Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate.

Clays and Clay Minerals, Monograph 5, 317 ff., Pergamon Press, London (1960)

3. Niederbudde, E.A.:

Beziehungen zwischen Kaliumfixierung und Bodenentwicklung am Beispiel von Lössen.

Mitt.d.Dt.Bodenkundl.Gesellschaft 1, 309-318 (1963)

4. Niederbudde, E.A.: Röntgenographische Untersuchungen zur Deutung der K-Fixierung in Lössböden.

Vortragstagung der Dt. Bodenkundl. Gesellschaft, Aachen 1965.

Der Tonmineralbestand von südwestdeutschen Kalk- und Tongesteinen und seine Veränderung durch die Bodenbildung

von K.-H. Papenfuß⁺⁾

1. Methodik

Aus den zur Zerstörung von Karbonaten, Humus und freien Sesquioxiden mit 0,2 n HCl, H₂O₂ und Na-Dithionit vorbehandelten Proben wurden die Fraktionen < 0,2 μ , 0,2-0,6 μ u. 0,6-2 μ gewonnen. Von diesen Fraktionen wurden durch Absaugen von je 10 ml der dispergierten 0,25 %igen Ton-suspension auf keramischen Platten Texturpräparate hergestellt. Diese wurden nach folgenden Behandlungen röntgenographisch untersucht: luft-trocken, lufttrocken + Glycerin, + K (25°C), + K (25°C) + Glycerin, 2 Stunden Erhitzen bei verschiedenen Temperaturen.

Zusätzlich wurden DTA-Daten gewonnen sowie einige allgemeine Bodenkennwerte zur Deutung der Ergebnisse herangezogen.

2. Tonmineralbestand der Gesteine

Aus dem Untersuchungsgebiet wurde der Tonmineralbestand der in Tabelle 1 aufgeführten mesozoischen Sedimente bestimmt.

+) Institut für Bodenkunde der Landwirtschaftlichen Hochschule
Hohenheim

		Kaolinit	Illit	WL unregelmäßig	J/M	WL M/Cl regelm.	14 Å		
							M	V	Cl
M a l m									
α	bis ε	+ + - +	+ + +		+	-	-	-	
D o g g e r									
σ/δ	Mergel d.o.D.	+ + +	+ + +		+	-	+	-	
α	Opalinuston	+ + +	+ + +		+	-	+	-	
L i a s									
ε	Posidonien- schiefer	+ +	+ + +		+ +	-	-	-	
β	Turneriton	+ + +	+		+	-	-	-	
α ₂	Angulatensdst.	+ + +	+ +		+	-	(+)	-	
K e u p e r									
k m5	Knollenmergel	+	+ +		+ + +	-	-	+	
k m4	Stubensdst.	+ + - +	+ + +		++	-	-	+	
k m1	Gipskeuper	+	+ +		+	+ + +	-	+	
k u	Lettenkeuper	+	+ +		+ +			+	
M u s c h e l k a l k									
m o	Hauptmuschelkalk	+ +	+ + +		(+)	-	+	-	
m u	Wellengebirge	+	+ + +		+	-	-	(+)	
B u n t s a n d s t.									
s o	Rötton/Plattensdst.(+)		+ + +		+	-	(+)	-	

Tab.1. Tonmineralgehalt der Sedimentgesteine. (+=wenig; +=viel; +++=sehr viel; Cl=Chlorit, J=Illit, M=Montmorillonit, V=Vermikulit)

Die untersuchten Proben stammen aus verschiedenen stratigraphischen Einheiten einer ca. 1500 m mächtigen Sedimentgesteinsdecke. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Sedimentations- (marin-brackisch-terrestrisch) und Diagenese-Bedingungen ist die Tonfraktion auffallend gleichförmig zusammengesetzt. Die z. T. auftretenden spezifischen Unterschiede können hier nur kurz erläutert werden. Aus der Tabelle 1 lassen sich folgende allgemeine Beziehungen ableiten:


1. Illit ist in allen hier untersuchten Gesteinen ein Hauptbestandteil der Tonfraktion.
2. Kaolinit ist in stark wechselnder Menge vorhanden; besonders hoch ist der Gehalt in den Sedimenten des Jura.
3. Montmorillonit und Vermikulit sind nur untergeordnet vertreten und fehlen meist ganz.
4. Chlorit ("Bodenchlorit") und Wechsellagerungsminerale sind hauptsächlich in den terrestrischen Sedimenten vorhanden.

Bemerkenswert ist außerdem der hohe Anteil eines Tonminerals mit regelmäßiger Wechsellagerung von Montmorillonit und Chlorit im Gipskeuper.

Zur Vervollständigung der Tabelle sollen weitere Bestimmungen gemacht werden. Durch Parallelbestimmungen sollen die besonders in den terrestrischen Sedimenten zu vermutenden Faziesunterschiede erfaßt werden.

3. Tonmineralumwandlung in den Böden

Zu fast allen in Tab. 1 aufgeführten Gesteinen wurden auch die daraus entstandenen Böden untersucht. Der relativ einheitliche Tonmineralbestand in den Sedimenten verursachte eine sehr gleichartige Tendenz der Umwandlung durch die Bodenbildung. Kaolinit ist ähnlich stabil wie Quarz. Hauptsächlich wurde der Illit verändert, und zwar durchläuft er mit fortschreitender Bodenentwicklung die Umwandlungsreihe vom Illit über den teilweise aufgeweiteten Illit und Bodenmontmorillonit bis zum Bodenchlorit. In den hier untersuchten Böden wurde fast immer nur ein geringer Teil des Illits in Chlorit umgewandelt, meist ging die Entwicklung nur bis zur Bildung von "teilweise aufgeweitetem Illit" (unregelmäßige Wechsellagerung Illit/Montmorillonit). In der Tab. 2 sind als Beispiel für die unterschiedlich starke Tonumwandlung einige Daten von zwei Böden aus Knollenmergel zusammengestellt.

Horizont	pH		Karbonate(%)		T-Wert / % Ton		Chloritbildung	
	P	B - P	P	B - P	P	B - P	P	B - P
A _h	6,5	5,2	-	-	70	30		
B _v		5,2		-		51		
BC		7,1		59		53		
C _v	7,2	7,3	11,0	90	40	50		

Tab. 2: Pelosol (P) und Braunerde-Pelosol (B-P) aus Knollenmergel

Die Veränderung des Tonbestandes durch die Bodenbildung ist besonders deutlich am T-Wert ersichtlich. In dem schwach entwickelten Pelosol steigt der T-Wert nach oben hin stark an. Die Tonumwandlung ist hier ausschließlich durch die fortschreitende Aufweitung des Illits gekennzeichnet. Im Braunerde-Pelosol konkurrieren Aufweitung des Illits und Chloritbildung. Am A_h -Horizont führt die überwiegende Chloritbildung, hervorgerufen sicherlich durch die Einlagerung vom Al-Hydroxid in die Zwischenschichten, zu einer deutlichen Abnahme des T-Wertes. Die Bildung von Chlorit beginnt in dem Profil erst nach völliger Entkalkung und nimmt mit sinkenden pH-Werten zu. Diese Beobachtung trifft für die meisten Profile zu, in denen Chlorit neu entstanden ist.

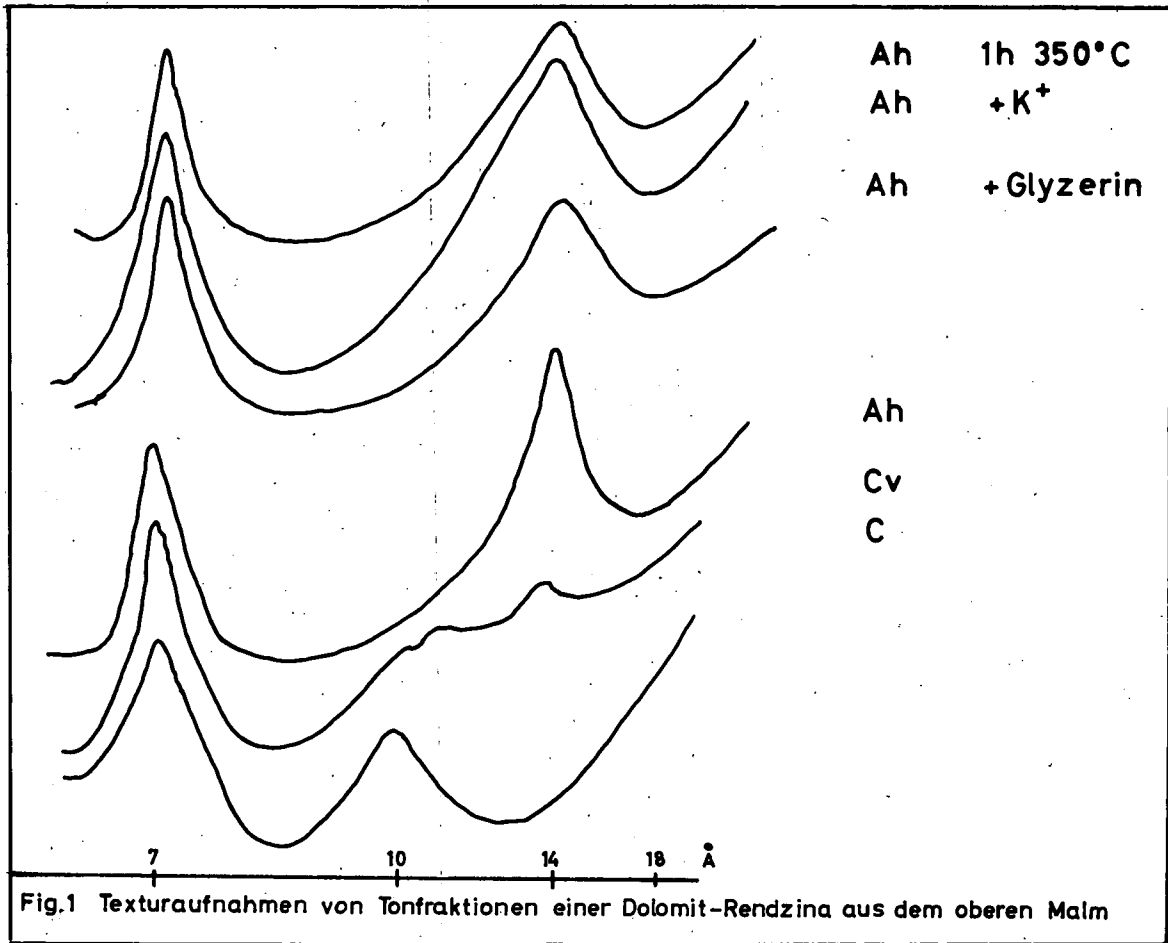
Abweichend von dieser Regel kann aber auch in noch karbonathaltigen Böden bei hohen pH-Werten Chlorit gebildet werden. Beobachtet wurde die Entwicklung in dolomitreichen Böden (z.B. j_0 , k_{M1} , m_u).

Besonders deutlich ausgeprägt ist die Chloritbildung in einer Dolomitréndzina aus dem Malm.

In der Figur 1 sind die Texturaufnahmen der Tonfraktionen dieses Profils dargestellt.

Die Aufnahmen zeigen deutlich eine fast vollständige Umwandlung des (dioktaedrischen) Illits in Chlorit. Die hohen pH-Werte bei dolomitreichem Ausgangsgestein stimmen nicht mit den oben angedeuteten Bedingungen der "normalen" Chloritbildung überein. In diesem Profil wurde nicht Al-, sondern Mg-Hydroxid in die Zwischenschichten des aufgeweiteten Illits eingelagert. Diese Annahme wird durch die in Tab.3 dargestellten Analysendaten bestätigt.

Das Gesamt-Mg der Tonfraktion steigt vom Ausgangspunkt zum A_h -Horizont hin deutlich an. Die Umwandlung von Illit zu Chlorit führte also zur Festlegung von Mg. Wie die anderen Mg-Fraktionen zeigen, liegt das Mg in einer für die Pflanzen nur schwer verfügbaren Form vor. In tonreichen Böden kann in solchen Fällen das Mg-Nachlieferungsvermögen bei hohen Gehalten an Gesamt-Mg sehr schlecht sein. Diese Art der Mg-Festlegung kann somit auch von ökologischer Bedeutung sein. Die Untersuchungen an diesem Profil haben gezeigt, daß nicht jeder durch die Bodenentwicklung



entstandene Chlorit als ein "Al-Bodenchlorit" anzusprechen ist. Unter den obengenannten Bedingungen kann es auch zur Bildung von "Mg-Bodenchlorit" kommen. Die Arbeit über dieses Problem wird fortgesetzt. Eine ausführliche Darstellung der hier nur kurz erläuterten Fragen ist vorgesehen.

Der Deutschen Forschungs-Gemeinschaft sei an dieser Stelle für die großzügige apparative Unterstützung gedankt, wodurch diese Arbeit erst ermöglicht wurde.

Horizont	pH	Mg-Gehalte d. Tonfraktion in ‰		
		Gesamt-Mg	1n HNO ₃ (100°C)	2n HCl (20°C)
Ah	6,9	10,5	5,1	0,5
Cv	7,2	8,2	3,5	0,5
C	—	4,7	0,8	0,3

Tab.3: Dolomit-Rendzina aus dem oberen Malm

Die mikrobiologischen Unterschiede von vier Bodentypen, ermittelt nach ihren Populationsdichten und ihren Atmungsaktivitäten
von Eva Scholz-König ⁺⁾

In Bd. 3 der Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft sind die Ergebnisse der mikrobiologischen Untersuchungen von vier Bodenprofilen aufgezeichnet, die im September 1965 anlässlich der Exkursionen der DBG gezeigt wurden. Mit der Aufstellung von "mikrobiologischen Profilen", aus denen ersichtlich wird, wie stark in der Tiefe der einzelnen Böden der Mikroorganismenbesatz schwindet, wurde versucht, die Bodenprofile mikrobiologisch zu charakterisieren. Um die jahreszeitlichen Unterschiede zu erfassen, wurden die Untersuchungen dreimal im Jahr vorgenommen.

Zusätzlich zu der Beurteilung der Böden nach ihren Populationsdichten wurden Atmungsmessungen mit der Warburg-Apparatur vorgenommen. Bei diesen Messungen wird der O₂-Verbrauch einer Bodenprobe während der Inkubation manometrisch bestimmt, woraus auf die Lebenstätigkeit der Mikroflora geschlossen wird. Für die Atmungsmessungen wurden die Proben der beschriebenen Profile sofort nach der Herbstprobenahme naturfeucht abgeseiht und bis zum Versuchsbeginn in der Tiefgefriertruhe aufbewahrt. Mehrfache Nachprüfungen ergaben, daß während der ganzen Monate die für die Messungen benötigt wurden, keine Veränderungen in der Aktivität der Proben stattfanden.

a) Die potentielle Atmungsfähigkeit nach Zusatz von Glukose.

Neben der aktuellen Atmungsfähigkeit der Proben, d.h. der einfachen Atmung, deren Substrat die organische Substanz des Bodens selbst ist,

+) Institut für Bodenkunde der Universität Bonn

wurde auch die Atmung nach Zusatz von Glukose gemessen. Aus der Geschwindigkeit und Intensität der Atmung des Bodens nach Zugabe der leicht verwertbaren Glukose kann auf die Mineralisationskraft seiner Mikroflora geschlossen werden. Im Gegensatz zur aktuellen Atmungsfähigkeit wird die Atmung nach Zusatz von Nährstoffen als die potentielle Atmungsfähigkeit bezeichnet. Sie läßt uns die mikrobiologische Aktivität einer Bodenprobe besser erkennen, als die aktuelle Atmung, und gibt einen Einblick in die Fähigkeit des Bodens, eingebrachte organische Substanz zu zersetzen und zu mineralisieren.

An den Abb. 1 - 4 soll gezeigt werden, wie sich die Verminderung der Populationsdichten in der Tiefe der vier Bodenprofile in der potentiellen Atmungsfähigkeit der Proben nach Zusatz von Glukose ausdrückt. In den Abbildungen wurden der Abfall der Gesamtkeimzahlen in der Tiefe der Profile und die Atmungskurven nebeneinander dargestellt, so wird es möglich, Vergleiche zu ziehen zwischen dem Mikroorganismenbesatz und der Atmungsaktivität der Proben aus den einzelnen Horizonten der Profile.

Das Gley-Parabraunerde-Profil ("mikrobiologisches Profil" und Analysenergebnisse siehe Bd. 3 d. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, S. 14-16) ist bis in die Tiefe kräftig belebt, Abb. 1 zeigt die im Herbst gefundenen Keimzahlen. Die Geschwindigkeit und Intensität der Atmung nach Zusatz von Glukose ist im kräftig belebten A-Horizont am höchsten, mit sinkendem Keimgehalt in der Tiefe des Profils wird der Anstieg der Atmungskurven flacher, außerdem ist das Einsetzen der Atmung in den unteren Horizonten gegenüber dem A-Horizont etwas verzögert. In 110 - 120 cm Tiefe wird die zugegebene Glukose von der dort vorhandenen Mikroflora noch gut veratmet mit einem Maximum bei 50 Stunden nach Versuchsbeginn.

Das Parabraunerde-Profil ("mikrobiologisches Profil" und Analysenergebnisse s. Bd. 3 d. Mitt. d. DBG, S. 17 - 20) ist ebenfalls bis in die Tiefe kräftig belebt. Abb. 2 zeigt die im Herbst gefundenen Keimzahlen und die Atmungskurven der Proben aus den einzelnen Horizonten, die anders verlaufen als in der Gley-Parabraunerde. Im A-Horizont wird die Glukose schnell veratmet, in den unteren Horizonten sind jedoch das Einsetzen der Atmung und die Maxima

der Atmung mit sinkender Populationsdichte immer mehr verzögert. In 90 - 100 cm Tiefe wird auch die Geschwindigkeit geringer (Kurveverlauf flacher!). In dem Material des (B)-Horizonts in 120 cm Tiefe schließlich wird die zugesetzte Glukose nicht mehr veratmet, d.h. die dort vorhandene Mikroflora ist nicht imstande, die Glukose zu mineralisieren.

Das Profil der Saueren Braunerde ("mikrobiologisches Profil" und Analysenergebnisse s. Bd. 3 d. Mitt. d. DBG, S. 53 - 55) bietet insgesamt den Mikroorganismen einen schlechten Standort. Unter dem humosen A-Horizont geht der Mikroorganismenbesatz sehr stark zurück, dies zeigt auch Abb. 3, in der die im Herbst gefundenen Keimzahlen aufgezeichnet sind. In dem Mull des A-Horizonts ist der O_2 -Verbrauch ganz besonders hoch, da außer der zugegebenen Glukose offenbar noch leicht zersetzbare Stoffe aus dem Bodenmaterial veratmet werden. Im (B)₁-Horizont in 12 - 20 cm Tiefe tritt bereits eine Verzögerung des Atmungsanstiegs von 40 Stunden auf und die Geschwindigkeit der Glukoseveratmung ist viel geringer als in den beiden anderen Profilen in derselben Tiefe. In 30 - 40 cm Tiefe wird erst nach 100 Stunden etwas von der zugegebenen Glukose veratmet. Die geringe Atmungsaktivität entspricht hier ganz den gefundenen geringen Keimzahlen.

In dem Pseudogley-Profil ("mikrobiologisches Profil" und Analysenergebnisse s. Bd. 3 d. Mitt. d. DBG, S. 48 - 51) schwindet der Mikroorganismenbesatz in der Tiefe des Profils ebenfalls sehr stark. Wie bei der saueren Braunerde drückt sich dies auch in den Atmungskurven aus. Der O_2 -Verbrauch im A₀-Horizont ist, wegen des hohen Anteil des Moders an leicht zersetzbaren Stoffen außerordentlich hoch, er wurde in Abb. 4 nicht aufgezeichnet. Im A₂g₁-Horizont, der noch viel organische Substanz enthält, zeigt sich ein kräftiger und schneller Anstieg der Atmung. Im g₁-Horizont, in 17 - 23 cm Tiefe, setzt die Atmung verzögert ein und ist schwächer, in 30 - 40 cm Tiefe wird nach einer langen Verzögerung nur noch ein Teil der zugesetzten Glukose mineralisiert und in 55 - 65 cm Tiefe schließlich, wo der Keimgehalt des Bodens sehr gering ist, wird die zugesetzte Glukose überhaupt nicht mehr veratmet.

b) Der Einfluß des Stickstoffs auf die potentielle Atmungsfähigkeit nach Zusatz von Glukose

Im Anschluß an die geschilderten Atmungsversuche erhebt sich die Frage, ob für die volle Ausnutzung der Glukose durch die vorhandene Mikroflora nicht noch andere Nährstoffe nötig sind, die, wenn sie im Minimum sind, die Glukoseveratmung hemmen oder verzögern. Es muß da in erster Linie der bei jeder Kohlenstoffverwertung nötige Stickstoff in Betracht gezogen werden.

Um den Einfluß der vorhandenen Stickstoffmenge auf die Ausnutzung der Glukose, also auf die potentielle Atmungsfähigkeit, zu prüfen, eignen sich das Gley-Parabraunerde- und das Parabraunerde-Profil. Beide Profile sind ähnlich stark belebt, ihre Atmungskurven hatten jedoch ein unterschiedliches Bild gezeigt. In der Parabraunerde war, im Gegensatz zur Gley-Parabraunerde, der Atmungsanstieg mit zunehmender Tiefe immer mehr verzögert. In 120 cm Tiefe wurde dort die Glukose nicht mehr veratmet, während dies in der Gley-Parabraunerde noch möglich war. Insgesamt war in der Gley-Parabraunerde im ganzen Profil die Ausnutzung der Glukose besser als in der Parabraunerde. Wie aus den Analysenblättern (s. Bd. 3 d. Mitt. d. DGB, S. 14 u. 17) hervorgeht, ist die Gley-Parabraunerde besser mit Stickstoff versorgt als die Parabraunerde.

Wird im Atmungsversuch zusätzlich zur Glukose noch eine leicht aufnehmbare N-Verbindung gegeben, so kann an den Atmungskurven abgelesen werden, ob ein eventuell vorhandener N-Mangel im Boden eine maximale Glukoseausnutzung verhindert hat. In Abb. 5 wird an einem Beispiel das Ergebnis eines solchen Versuches gezeigt. Aus dem Parabraunerde- und dem Gley-Parabraunerde-Profil wurde je ein Horizont herausgegriffen. Beide Horizonte lagen ungefähr in derselben Tiefe, sie hatten denselben Keimgehalt, unterschieden sich jedoch in den C- und N-Gehalten, diese waren in der Gley-Parabraunerde (unter Wald) höher als in der Parabraunerde (unter Acker). In der Parabraunerde, wo im Boden wenig N vorhanden ist, wird durch die Zugabe von NH_4NO_3 das Einsetzen der Glukoseveratmung stark beschleunigt, während sie in der Gley-Parabraunerde, die mehr N enthält, keinen Einfluß auf die Glukoseveratmung hat. Die geringere Geschwindigkeit der

Armung in der Gley-Parabraunerde, bei gleicher Organismenzahl, weist auf die geringere Aktivität der Mikroflora in diesem Horizont hin. Lebensbedingungen scheinen hier allgemein weniger günstig zu sein als in der Parabraunerde in derselben Tiefe.

Zusammenfassung

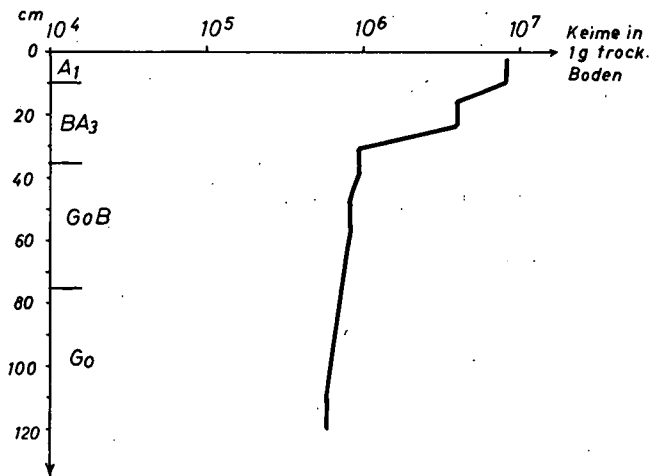
1. Eine mikrobiologische Charakterisierung von vier Bodentypen nach ihren Populationsdichten wurde in Bd. 3 d. Mitt. d. DBG gegeben. Die Unterschiede lagen in einer jeweils charakteristischen Abnahme der Populationsdichten in der Tiefe der Profile.
2. An Proben aus den einzelnen Horizonten der untersuchten Profile wurden Messungen der potentiellen Atmungsfähigkeit nach Zusatz von Glukose durchgeführt. Die Intensität und Geschwindigkeit der Glukoseveratmung entsprach den Populationsdichten der einzelnen Horizonte.
3. An Proben aus zwei vergleichbaren Horizonten von zwei Profilen, die unterschiedlich mit N versorgt waren, jedoch den gleichen Keimgehalt aufwiesen, konnte der Einfluß von NH_4NO_3 auf die Ausnützung der zugegebenen Glukose durch die vorhandene Mikroflora gezeigt werden.

Diese Arbeit wurde mit Unterstützung des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

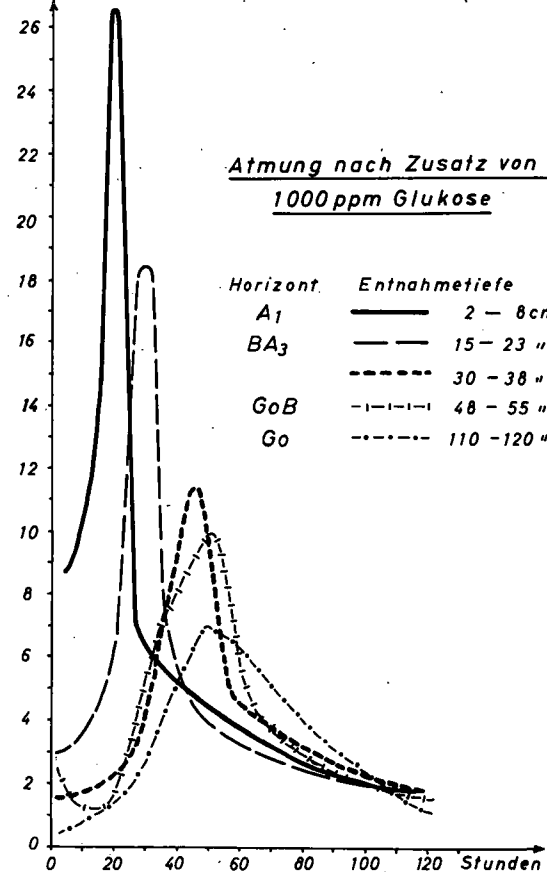
GLEY - PARABRAUNERDE

(4.11.1964)

Bakterien - Gesamtkeimzahlen



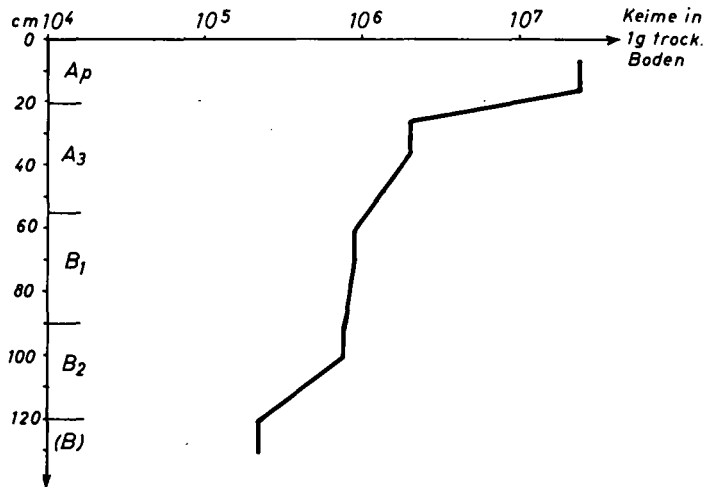
$\text{mm}^3 \text{O}_2 / \text{g} / \text{h}$



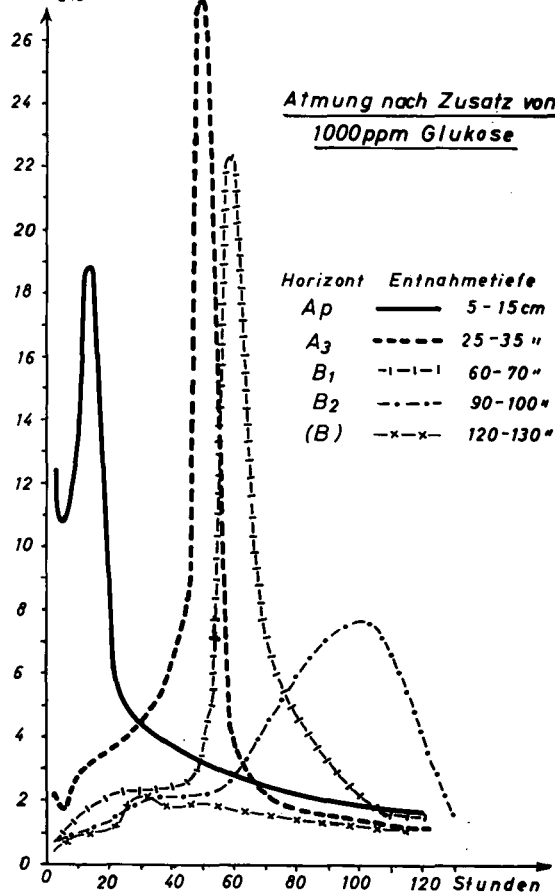
PARABRAUNERDE

(7.10.1964)

Bakterien-Gesamtkeimzahlen

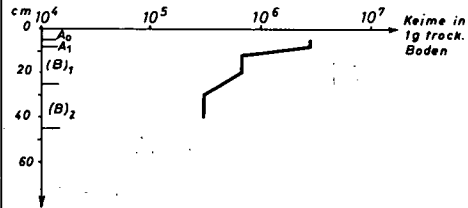


mm³O₂/g/h

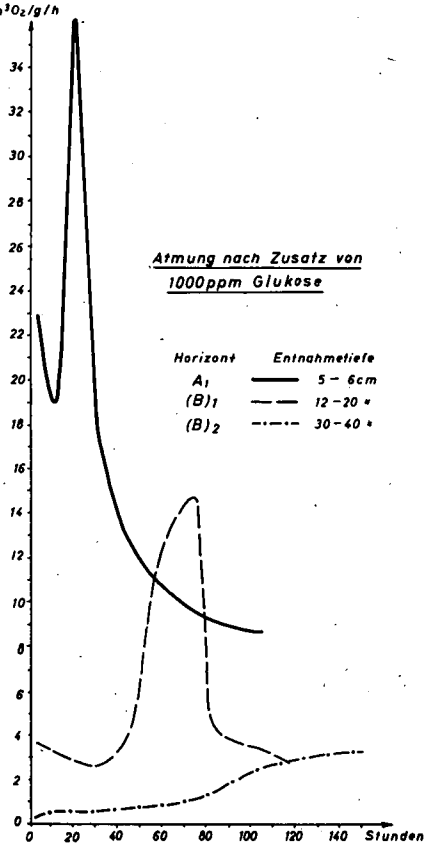


SAUERE BRAUNERDE

(21. 10. 1964)

Bakterien - Gesamtkeimzahlenmm³O₂/g/hAtmung nach Zusatz von
1000ppm Glukose

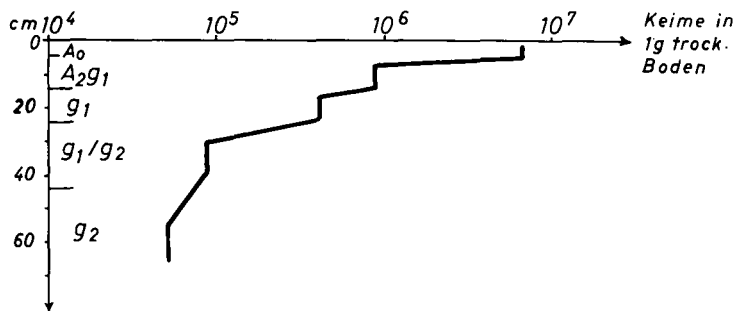
Horizont	Entnahmetiefe
A ₁	— 5 - 6cm
(B) ₁	- - - 12 - 20 "
(B) ₂	· · · · 30 - 40 "



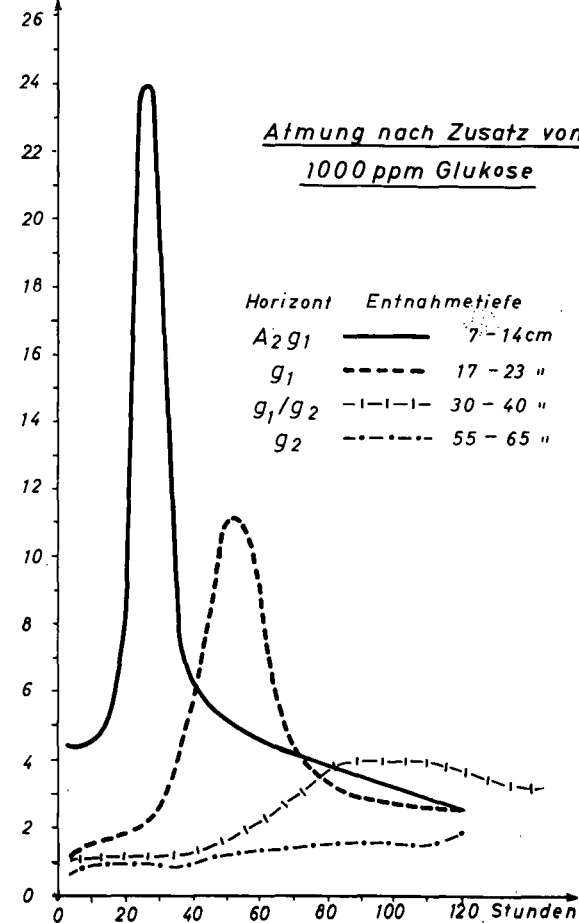
PSEUDOGLEY

(17. 11. 1964)

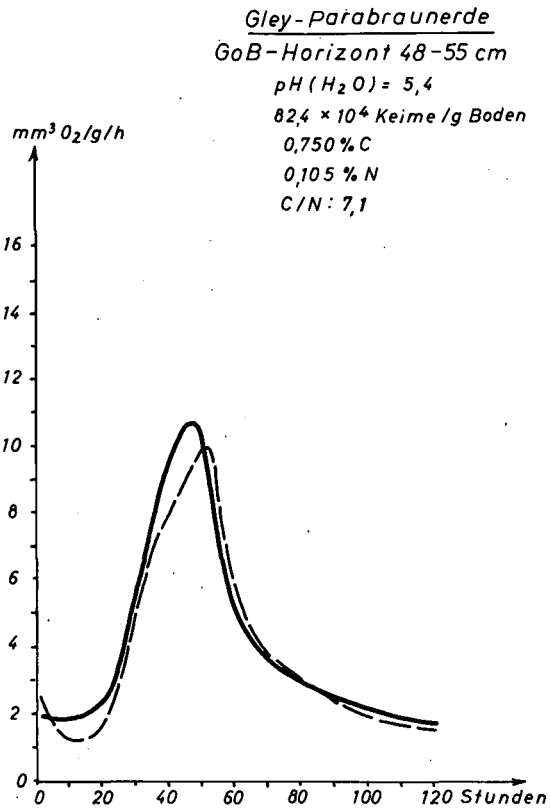
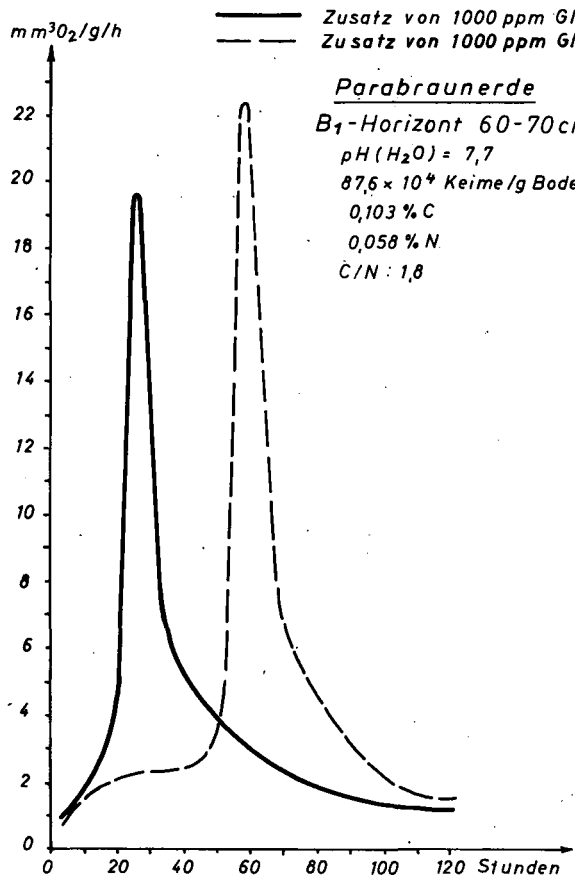
Bakterien - Gesamtkelmmzahlen



$\text{mm}^3\text{O}_2/\text{g/h}$



Atmung nach Zusatz von Glukose und NH_4NO_3



Biologische Aktivität und Basengehalt des Bodens

von E. v. Zezschwitz ⁺⁾

Die Intensität der biologischen Umsätze beim Abbau der Waldstreu und der Entstehung bestimmter Waldhumusformen wird in starkem Maße neben Bodendurchlüftung, Kleinklima und Wasserverhältnissen vom Basengehalt des Bodens gesteuert. Zu diesen wichtigsten natürlichen Ursachenkomplexen der biologischen Aktivität in den stärker humosen Horizonten der Waldböden treten in unseren Wirtschaftswäldern noch die Bestandes- und Bewirtschaftungswirkungen. Da ihre wichtigsten Einflüsse (Laub- und Nadelholz) gut erfaßbar sind, ferner unsere Waldböden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, vor allem noch ungedüngt sind, dürften von der Auswertung eines größeren Untersuchungsmaterials der Bodenkartierung zur forstlichen Standorterkundung Nordrhein-Westfalens Aufschlüsse über die Zusammenhänge zwischen biologischer Aktivität und Basengehalt des Bodens erwartet werden.

Daß sich dabei nicht immer Korrelationen ergeben würden, geht schon aus der Vielfalt der genannten Ursachenkomplexe, die sich gegenseitig z.T. bedingen, beeinflussen und ersetzen können, hervor. Beim Boden selbst sind es ausgehend von der Art des Solums die Substrateigenschaften mit Körnung, Stein- und Grusgehalt, Entwicklungstiefe und physiologischer Gründigkeit, die sowohl auf die physikalischen Bodeneigenschaften mit Gefüge, Durchlüftung, Porosität und Wasserkapazität, als auch auf die chemischen Bodeneigenschaften mit Basensättigung, Nährstoffverfügbarkeit und Säuregrad einwirken. Für die Einflüsse des Wassers auf die biologische Aktivität ist vor allem die Art des Bodenwassers bedeutungsvoll; dabei wirken Tiefenlage, Schwankungsamplitude und Sauerstoffgehalt des Grundwassers, sowie Stärke und Länge der Naßphase

+) Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 415 Krefeld,
Westwall 124

der Staunässe variierend. Bei Klima und Relief sind es außer der Geländemorphologie in erster Linie Expositions- und Inklinationswirkungen, die über das Kleinklima die Einflüsse dieses ganzen Ursachenkomplexes auf die biologische Aktivität prägen.

Das in den letzten zwölf Jahren am Geologischen Landesamt Krefeld aus den verschiedensten Landesteilen angefallene Untersuchungsmaterial bot nun die Möglichkeit, diesen ganzen Fragenkomplex etwas zu durchleuchten und die Beziehungen zwischen biologischer Aktivität und Basengehalt des Bodens einmal anhand der Analysenwerte zahlreicher Bodenprofile statistisch zu untersuchen. Für diese Auswertung wurden die Analysenergebnisse von 440 Bodenprofilen, deren Aufnahme von H. Colin, H.D.Dahm, W. Knauff, H. Maas, E.H. Müller und E. v. Zezschwitz stammt, benutzt. Basengehalte ^{+) und Basensättigung der hauptsächlich durchwurzelten Mineralbodenhorizonte, bei Braunerden also z.B. der B_v-Horizonte, wurden jeweils mit den C/N-Verhältnissen der organischen Substanz in Beziehung gesetzt; und zwar bei Mineralbodenhumus aus dem A_h-Horizont, bei Auflagehumus aus der H-Lage. Das Untersuchungsmaterial wurde nach Laub- und Nadelholz, nach Bodentypen und bei Braunerden auch nach Bodenarten aufgeschlüsselt. Da für eine Millival- bzw. Prozentabstufung der Basenverhältnisse im einzelnen zu wenig Ergebnisse zur Verfügung gestanden hätten, wurde nach einer auf Kartiererfahrungen beruhenden 5-Stufen-Einteilung, die auf E. Mückenhausen (1951) zurückgeht, gruppiert.}

Die Auswertung brachte zusammengefaßt folgende Ergebnisse:

Abb. 1 zeigt die Beziehungen zwischen dem Basengehalt des Bodens (S-Wert der durchwurzelten Mineralbodenhorizonte) und der biologischen Aktivität (C/N-Verhältnis der Humusformen) nach den Ergebnissen von 308 Bodenprofilen unter Laubholz (überwiegend Buche), 122 Bodenprofilen unter Nadelholz (überwiegend Fichte) und bei 10 Rendzinen in SW-Exposition. Die Böden unter Laubholz wurden getrennt nach Pseudogleyen,

+) die chemischen Untersuchungen führte freundlicherweise Herr Dr. Werner, Geologisches Landesamt Krefeld, durch, wofür auch an dieser Stelle vielfach gedankt sei; Methode der S-Wert-Bestimmung: Vageler-Alten, abgeändert nach Pfeffer (Durchlaufrohr); T-S aus hydrolyt. Azidität

Gleyen und Braunerden (Parabraunerden eingeschlossen) erfaßt. Braunerden und Parabraunerden konnten bodenartlich noch weiter nach lehmigen Sanden, sandigen Lehmen, schluffigen Lehmen und tonigen Lehmen unterteilt werden. Die Böden unter Nadelholz sind im Prinzip ebenso auf gegliedert, nur sind hier die sandigen Substrate bereits als Podsol-Braunerden und Podsole entwickelt.

Bei schwach und sehr schwach basenhaltigen Böden (S-Wert ≤ 1 oder 1-3 mval) liegen die Mittelwerte der C/N-Verhältnisse der in dieser Gruppe erfaßten Bodentypen und Bodenarten unter Laubholz zwischen 17 und 22. Braunerden aus sandigen Bodenarten und Pseudogleye haben die weitesten C/N-Verhältnisse. Bei den Sandböden ist dafür vermutlich eine extreme Basenarmut verantwortlich, die analytisch nicht erfaßt wird. Die verhältnismäßig weiten C/N-Verhältnisse der Pseudogleye hängen sehr wahrscheinlich mit dem biologisch ungünstigen Wechsel der Wasserverhältnisse und der vielfach plattigen Oberbodenstruktur dieser zeitweilig staunassen Böden zusammen.

Die C/N-Verhältnisse der mäßig basenhaltigen Böden (S-Wert 4-9 mval) liegen im allgemeinen zwischen 13 und 16. Auch hier schneiden die Pseudogleye, diesmal zusammen mit den Braunerden toniger Bodenarten, am schlechtesten ab. Bei den tonigen Böden schränkt vermutlich eine strukturell bedingte, verminderte Bodendurchlüftung die atmungsabhängige Kationenaufnahme und damit den Basenkreislauf über die Streu ein. Die Ursache der relativ hohen biologischen Aktivität der schluffigen Lehme dürfte gerade umgekehrt in besonders guter Durchlüftung zu suchen sein; handelt es sich doch bei den in dieser Gruppe erfaßten Böden überwiegend um Lößfließerden, die mesozoisches (meist basenreicheres) Verwitterungsmaterial aufgenommen haben. Nur die Böden der lehmigen Sande fallen mit C/N-Verhältnissen um 12 in dieser Basengehaltsstufe aus dem Rahmen. Es handelt sich durchweg um Böden mit Sandmull-Humusformen, deren Zustandekommen von besonderen Faktorenkombinationen abhängt. Zusammen mit den Rendzinen in kleinklimatisch ungünstigen Expositionen weichen diese selten vorkommenden, Sandmull tragenden Sandböden vom Trend aller übrigen Böden ab. Die ihren Basengehalten nach sogar stark bis mäßig und stark basenhaltigen Rendzinen in SW-Exposition weisen im Schnitt nämlich nur C/N-Verhältnisse zwischen 16 und 17 auf. Es sind typische Ab-

weichungsformen und als solche auch bereits von E.H. Müller (1956) beschrieben worden.

Die stark bis mäßig (S-Wert 10-18 mval) und stark basenhaltigen Böden (S-Wert \geq 18) schließlich unterscheiden sich kaum noch in ihren C/N-Verhältnissen, die zwischen 12 und 13 liegen. Sehr hohe Basengehalte des Bodens vermögen also die biologische Aktivität gegenüber hohen Basengehalten, dem abnehmenden Ertragszuwachs ähnlich, nur wenig zu verbessern und zeigen damit für diesen Bereich optimale Verhältnisse des Faktors Basenversorgung an.

Die Auswertung der 122 Bodenprofile unter Nadelholz hat bei basenarmen Podsolen, Pseudogleyen und Gleyen die weitesten C/N-Verhältnisse ergeben. Braunerden und Parabraunerden folgen mit ihren Mittelwerten in der Reihenfolge schluffiger, sandiger und toniger Lehm. Das schlechte Abschneiden der schluffigen Lehme dürfte mit der bei diesen Substraten (vielfach Lößfließerden) häufig auftretenden, biologisch ungünstigen, stärkeren Podsoligkeit zusammenhängen.

Ordnet man die C/N-Verhältnisse nicht nach dem Basengehalt, sondern nach der Basensättigung, so ergeben sich die in Abb. 2 dargestellten Beziehungen. Die Auswertung erfolgte, analog den Basengehaltsstufen, nach 5 Sättigungsbereichen. Die Darstellung, die sich auf die Ergebnisse der Bodenprofile unter Laubholz beschränkt, zeigt, daß die biologische Aktivität erwartungsgemäß auch mit der Basensättigung des Bodens korreliert.

Das Ergebnis der Untersuchungen darf folgendermaßen zusammengefaßt werden: Die biologische Aktivität der Waldböden, gemessen am C/N-Verhältnis der Humusformen steht mit den Basenverhältnissen des Mineralbodens in enger Beziehung. Damit wird nun auch zahlenmäßig die schon von E.H. Müller (1956) erkannte, allgemeine Regel, daß sich unter den hiesigen klimatischen Bedingungen die biologische Aktivität weitgehend mit dem Basengehalt des Bodens deckt, bestätigt. Überall, wo Abweichungen auftreten, sind diese meist gesetzmäßig und auf die eingangs aufgezeigten Ursachen, die außer dem Basengehalt des Bodens auf die biologische Aktivität einwirken, zurückzuführen.

Literatur:

- Mückenhausen, E.: Rahmenlegende zur Bodenkartierung - Manuskri. i. Arch. Geol. L. A. Nordrh.-Westf., Krefeld 1951
- Müller, E.H., Die Bodenkartierung zum Zwecke der forstlichen Standorterkundung i. Nordrhein-Westf. - Allg. Forst- und Jagdztg. 127, 157-164, Frankfurt 1956

Beziehungen zwischen Basensättigung des Bodens und biologischer Aktivität
 bei Braunerden und Parabraunerden, Pseudogleyen und Gleyen
 nach 308 Bodenprofilen unter Laubholz in Nordrhein - Westfalen (Mittelwerte)

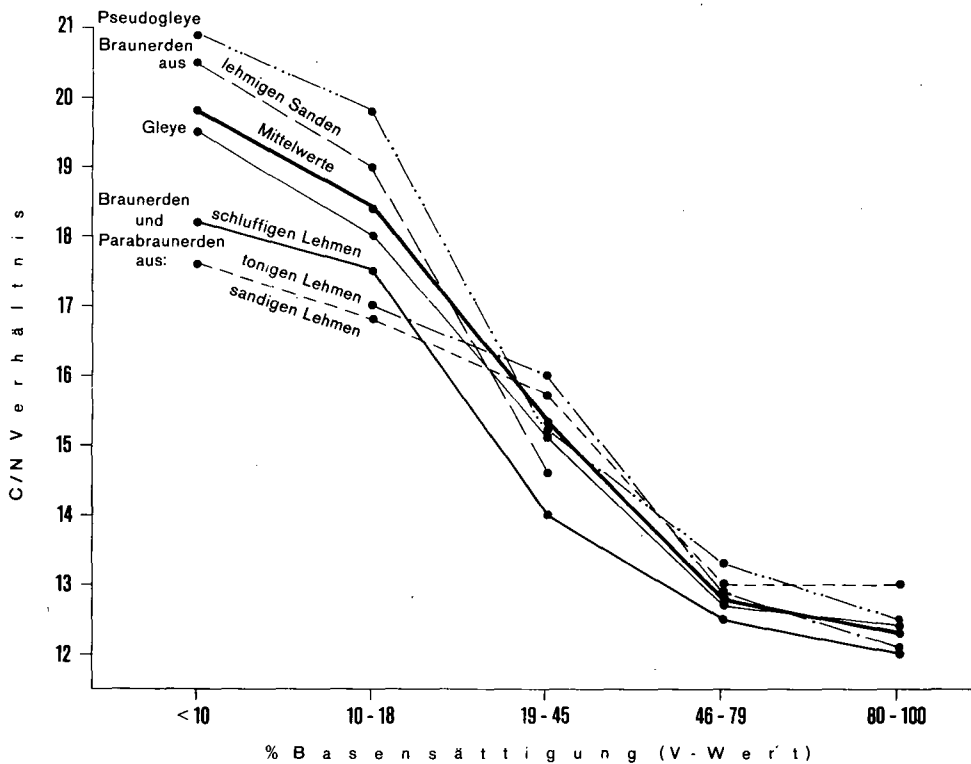
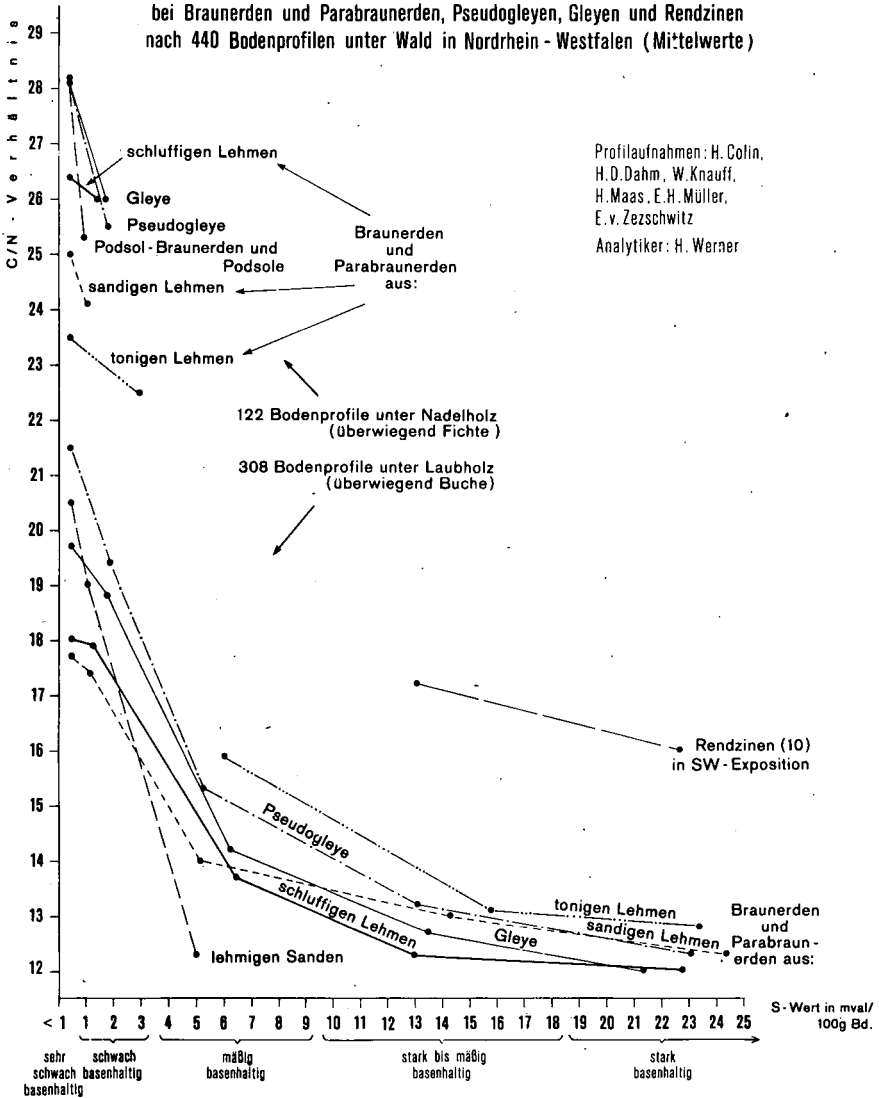


Abb. 1

Beziehungen zwischen Basengehalt des Bodens und biologischer Aktivität bei Braunerden und Parabraunerden, Pseudogleyen, Gleyen und Rendzinen nach 440 Bodenprofilen unter Wald in Nordrhein - Westfalen (Mittelwerte)



Die Charakterisierung von Humuskörpern durch Streu-
und Humus-Stoffgruppenanalysen (n. Waksman bzw.
Tiurin)

von H.-P. Blume

Der Humuskörper eines Bodens wird nach oben zunehmend streuähnlicher. Demzufolge müßte sich seine Genese aus der Tiefenfunktion seiner stofflichen und morphologischen Eigenschaften rekonstruieren lassen. Zur Prüfung dieser These wurden an Vegetations- und Bodenproben einer Parabraunerde unter Laubwald und eines Podsoles unter Heide Stoffgruppenanalysen durchgeführt. Die Humus-Stoffgruppenanalyse erfolgte in Anlehnung an Tiurin (nacheinander Alkohol/Benzol für Gerbstoffe, verd. H_2SO_4 für "bewegliche" Fulvosäuren, NaOH mit nachfolgender Säurefällung für Fulvo- und Huminsäuren, Sulfacetolyse n. Springer für Streustoffe, Rückstand="Humine"), die Streu-Stoffgruppenanalyse in Anlehnung an Waksman und Springer (Alkohol / Benzol für Harze, verd. H_2SO_4 für Zucker und Stärke, 2% HCl bei $100^\circ C$ für Pektine und Hemicellulosen, 72 % H_2SO_4 für Cellulose, im Rückstand über Methoxybestimmung zwischen Lignin und Huminstoffen unterschieden, Eiweiß aus extrahierbarem Nier-rechnet). Außerdem wurden die einzelnen Subhorizonte makro- und mikromorphologisch studiert. Als Fazit der Untersuchungen ergab sich:

1. Die Humus-Stoffgruppenanalyse nach Tiurin sowie verwandte Methoden sind nicht sehr selektiv. Sie sind nur dort brauchbar, wo Streustoffe weitgehend fehlen.
2. Ähnliches gilt für die Streu-Stoffgruppenanalyse; diese führt in stärker humifizierten Horizonten zu schwer deutbaren Ergebnissen.

+) Eine ausführliche Darstellung ist inzwischen in der Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 111, 95-113 (1965) erschienen.

++) Institut für Bodenkunde, Landw. Hochschule Hohenheim.

3. Eine gemeinsame Anwendung der Humus- und Streu-Stoffgruppenanalyse gestattet im Verein mit morphologischen Untersuchungen, den Stoffbestand von Humuskörpern nährungsweise aufzuklären und genetisch zu deuten.
4. In beiden untersuchten Profilen ergab sich, eine deutliche Tiefenfunktion in der Verteilung der Streu- bzw. Huminstoffe. Sie wurde allerdings dadurch überlagert, daß Wurzelreste in allen Horizonten auftraten, Bodentiere vermischend wirkten und eine Huminstoffverlagerung durch Sickerwasser stattfand.

Die Charakterisierung von Huminstoffen durch Differenzspektrogramme

von J. Chr. Salfeld ⁺⁾

Nach den Untersuchungen von SPRINGER (1) und HOCK (2) in den dreißiger Jahren verlaufen die logarithmisch aufgetragenen Spektren von Huminsäuren annähernd linear. Die Spektren von Präparaten verschiedener Herkunft unterscheiden sich durch die Steigung und den Extinktionskoeffizienten bei einer bestimmten Wellenlänge, und zwar nimmt generell der Extinktionskoeffizient mit abnehmender Steigung zu. Die Spektren von Huminsäuren mit größeren Extinktionskoeffizienten, denen ein höherer Humifizierungsgrad zugeschrieben wird, besitzen danach eine kleinere Steigung als die Spektren von Huminsäuren mit kleinerem Extinktionskoeffizienten.

Seit diesen grundlegenden Untersuchungen von SPRINGER, der mit einem Filterphotometer arbeitete, ist die Meßtechnik wesentlich verbessert worden. Die mit den heutigen Geräten gemessenen, genaueren Spektren werden jedoch, wenn überhaupt, im Prinzip immer noch nach der einfachen Methode von SPRINGER ausgewertet. Diese geht von der Voraussetzung aus, daß die Huminsäurespektren Geraden seien oder zumindest durch eine Gerade hinreichend repräsentiert würden.

Dementsprechend werden sie durch zwei Kennzahlen, entsprechend der "Farbtiefe" und dem "Farbton", charakterisiert. Eine der Meßgenauigkeit der heutigen Geräte entsprechende Auswertung der Spektren liefert jedoch mehr Informationen über die Huminstoffe als in den gesamten Kennzahlen enthalten sind und sollte daher auch eine genauere Charak-

⁺⁾ Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

terisierung der Huminstoffe gestatten. Es wurde daher die Änderung der Steigung der Spektren mit der Wellenlänge bei einer Reihe von Huminstoffpräparaten untersucht (Abb.1). Auch die Abhängigkeit der Spektren

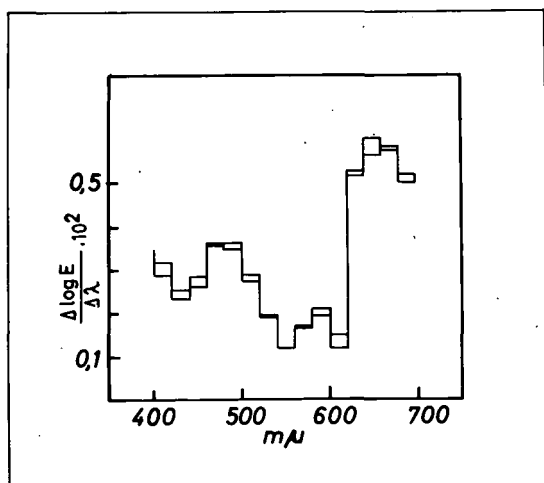


Abb. 1 Abhängigkeit der Steigung des Spektrums eines Huminsäurenpräparates aus einem Podsol-B-Horizont in 0,1 n NaOH von der Wellenlänge (Differenzenbildung über 20 mμ; Werte aus zwei Spektren).

vom pH-Wert der Meßlösung wurde in die Untersuchung mit einbezogen. Die Spektren stellen in der Regel schwache S-Kurven dar, deren Verlauf sich mit dem pH-Wert der Meßlösung relativ stark ändert. Aufgrund der Ergebnisse dieser Untersuchung erscheint es für eine genauere Charakterisierung eines Huminstoffpräparates durch sein Spektrum zweckmäßig, das Spektrum in geeignete Abschnitte einzuteilen und die Steigung in diesen Abschnitten als Kennzahlen anzugeben.

Literatur

1. Springer, U.: Zur Kenntnis einiger bekannter Handelshumusdünger. - Bodenkunde und Pflanzenernähr. 3, 158-188 (1937)
2. Hock, A.: Beziehungen zwischen Konzentration und Farbwerten von Huminsäurelösungen. - Bodenkunde und Pflanzenernähr. 7, (52) 99-117 (1938)

Versuche zur Aufklärung der Entstehung von organischer
Bodensubstanz aus Lignin mit Hilfe von ^{14}C -markierten
Phenolen

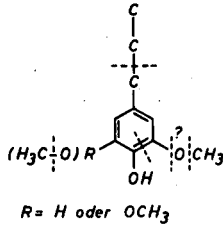
von K. Haider und S.-U. Lim ⁺⁾

Unsere Kenntnis über die Eigenschaften der organischen Substanz des Bodens macht es wahrscheinlich, daß das Lignin der höheren Pflanzen eines der wesentlichsten Ausgangsprodukte der Huminstoffe ist (FLAIG (1)). Jedoch sind die Umwandlungsschritte, die vom Lignin zu den Huminstoffen führen, weitgehend unbekannt. Es wird daher untersucht, ob das Ligninmolekül selbst widerstandsfähig gegen den mikrobiellen Angriff ist und nur unter langsamen Veränderungen in die Huminstoffe eingeht, oder ob ein rascher Zerfall des Lignins in phenolische Spaltstücke stattfindet, die dann durch Repolymerisation zu huminsäureähnlichen Polymerisaten zusammantreten und die eventuell widerstandsfähiger als das Lignin sind. Weiterhin soll geklärt werden, ob bei der mikrobiellen Einwirkung auf Lignin, Ligninspaltstücke oder Polymerisate der Ligninspaltstücke eine bevorzugte Abspaltung bestimmter Gruppen vor anderen stattfindet, d.h. ob Molekülteile erhalten bleiben, wenn andere Molekülteile bereits abgebaut sind.

Bei einer Einwirkung ligninverwertender Mikroorganismen oder einer Mischpopulation des Bodens auf lignifiziertes Pflanzenmaterial oder auf isoliertes Lignin lassen sich nach einiger Zeit verschiedene phenolische Verbindungen nachweisen. Es sind dies Phenolaldehyde, Phenolcarbonsäuren, Phenolacrylsäuren und ferner phenolische Verbindungen mit einer Glycerin- oder Brenztraubensäure-Seitenkette. Aufgrund ihrer Konstitution kann man diese Verbindungen als Spaltstücke des Lignins bezeichnen.

+) Institut für Biochemie des Bodens der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

Abbaureaktionen, die nicht durch Phenoloxidasen bewirkt werden



Reaktionen, die durch Phenoloxidasen bewirkt werden

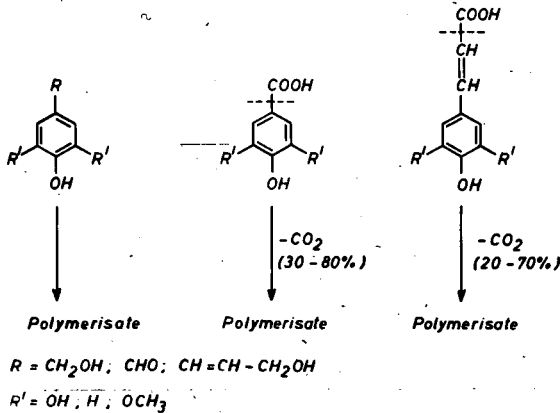


Abb. 1 Einwirkung von Nicht-Phenoloxidasen und Phenoloxidasen verschiedener Mikroorganismen auf Ligninspaltstücke

Diese Ligninspaltstücke wurden durch Radiokohlenstoff (^{14}C) in spezifischen Gruppen markiert und die Abspaltung der markierten Gruppen durch Mikroorganismen entweder bei den monomeren oder den polymeren Verbindungen untersucht. Gleichzeitig wurden Ligninalkohole, wie Coniferyl-, p-Cumar- oder Sinapinalkohol in spezifischen Gruppen markiert und zu ligninähnlichen Polymerisation oxydiert (FREUDENBERG (2)). Diese Polymerisate wurden ebenfalls der Einwirkung von Mikroorganismen ausgesetzt und das Maß der Abspaltung dieser Gruppen festgestellt.

Bei den enzymatischen Reaktionen, die Mikroorganismen an den phenolischen Verbindungen ausführen, muß zwischen solchen, die durch Phenoloxidasen und solchen, die durch Nicht-Phenoloxidasen bewirkt werden, unterschieden werden. Durch letztere werden - wie aus Abb. 1 in stark schematisierter Form zu ersehen ist - die phenolischen Verbindungen vollständig abgebaut. Erstere verursachen eine Polymerisation, die bei Phenolcarbonsäuren oder Phenolacrylsäuren unter teilweiser Abspaltung von Carboxylgruppen erfolgt. In der nicht-polymerisierten Form werden die Ligninspaltstücke rasch abgebaut.

Die 2. Abbildung gibt einige Beispiele der Arbeiten über den Abbau der polymerisierten Ligninspaltstücke und des Lignins wieder. Es wurden verschiedene Ligninspaltstücke, die in den bezeichneten Gruppen markiert waren, durch Einwirkung von Phenoloxidasen zu Polymerisaten oxydiert und Kulturen von *Pleurotus ostreatus* - einem in Abb. 2 als Beispiel gewählten ligninverwertenden Pilz - zugesetzt. Die Zahlen der Tabelle geben die prozentuale Abspaltung der jeweils markierten Gruppe als Kohlendioxid innerhalb von 8 Tagen wieder. Die in Klammern gesetzten Werte sind ein Maß für die Einbauten der markierten Gruppen in Mycelbestandteile. Wie zu ersehen ist, werden verschiedene der markierten Gruppen, wie die Aldehyd-, Carboxyl- oder Methoxylgruppe aus den Polymerisaten der Ligninspaltstücke verhältnismäßig leicht abgespalten. Etwas geringer ist die Abspaltung aus den C-Atomen 2 und 3 der Seitenkette von Ferulasäure-Polymerisaten. Dies ist auch für Polymerisate anderer, ähnlicher Ligninspaltstücke zutreffend, die hier nicht aufgeführt sind.

Abspaltung verschiedener markierter Gruppen als Kohlendioxid (Einbau in Mycelbestandteile) aus Polymerisaten der Ligninspaltstücke und des Coniferylalkohols bei der Einwirkung von *Pleurotus ostreatus*

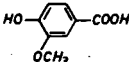
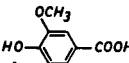
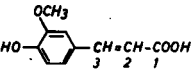
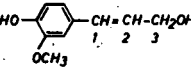
	$^{14}\text{C}-\text{COOH}$	$-\text{O}-^{14}\text{C}-\text{CH}_3$	$^{14}\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-$	$-\text{CH}=\text{CH}-$	$^{14}\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$
 Vanillinsäure	22	12 (15)			
 Syringasäure	45	13 (12)			
 Ferulasäure	14 (23)	16 (58)	3- ^{14}C	2- ^{14}C	
 Coniferylalkohol		4,5 (5)	1- ^{14}C	2- ^{14}C	3- ^{14}C

Abb. 2: Abbau von verschiedenen Gruppen aus Polymerisaten von Ligninspaltstücken und Ligninalkoholen während der Einwirkung von ligninverwertenden Pilzen

Vergleicht man die Abbauraten der verschiedenen Gruppen des Polymerisats aus Coniferylalkohol (das nach FREUDENBERG (2) mit dem Coniferenlignin identisch ist) mit den Abbauraten der Polymerisate aus Ligninspaltstücken, so erweist sich dieses als wesentlich widerstandsfähiger. Auch die Einbauraten der markierten Gruppen in Mycelbestandteilen sind gering. Erstaunlich niedrig sind die Abspaltungen der Methylgruppen aus dem Ligninpolymerisat im Vergleich zu den Polymerisaten der Ligninspaltstücke. Dies ergab sich auch bei Mischpolymerisaten des Sinapinalkohols mit Coniferylalkohol, sowie bei Mischpolymerisaten dieser Alkohole, mit p-Cumaralkohol (diese Polymerisate sind dem Laubholz bzw. Gramineenlignin vergleichbar).

Insgesamt sprechen die Versuche dafür, daß der Molekülverband des Lignins sehr widerstandsfähig ist und eine Freisetzung von Spaltstücken nur langsam erfolgt. Die entstehenden Spaltstücke und ihre Polymerisate werden - zumindest in den Substituenten des Phenylringes - rascher abgebaut. Eventuell kommt es daher nicht zu einer wesentlichen Anreicherung von Spaltstücken oder deren Polymerisaten. Weitere Versuche müssen jedoch noch über das Verhalten des aromatischen Anteils Aufschluß geben.

Die experimentellen Einzelheiten dieser Arbeiten werden, soweit noch unveröffentlicht, an anderer Stelle veröffentlicht.

Literatur

1. Flaig, W.: Chemie der Humusstoffe
Suomen Kemistilehti A 33, 229-251 (1960)
2. Freudenberg, K.: Entwurf eines Konstitutionsschemas für das Lignin der Fichte.
Holzforschung 18, 3-9 (1964)

3. Haider, K., S. Lim und W. Flaig:
Experimente und Theorien über den Ligninabbau bei der Weißfäule des Holzes und bei der Verrottung pflanzlicher Substanz im Boden.
Holzforschung 18, 81 - 88 (1964)
4. Lim, S.U.:
Beiträge zur Aufklärung der Zusammenhänge zwischen dem mikrobiellen Abbau des Lignins und der Bildung von Humusstoffen.
Dissertation (1965)
5. Haider, K.:
Untersuchungen über den mikrobiellen Abbau von Lignin.
Zentr.Bl. Bakt. I 198 308 - 316, (1966)

Auftrennung von Huminstoffen durch Gelfiltration⁺⁾ von Horst Söchtig

Die Auftrennung der Huminstoffe von Böden in Fraktionen ist für ihre Untersuchung und Charakterisierung unerlässlich. In den letzten Jahren ist für diese Arbeiten auch die Gelfiltration verwendet worden (1-4). Da ein wesentliches Merkmal zur Charakterisierung von Huminstoffen die Absorptionsspektren von 400 - 700 m μ sind, wurden Huminstoffe aus zwei verschiedenen Ausgangsmaterialien,

dem A-Horizont einer typischen, humusreichen Schwarzerde
der Ukraine und

dem B-Horizont eines Calluna-Podsols aus dem Hohen Moor
bei Stolzenau

über Sephadex G 25 und mit verschiedenen Flockungsmethoden fraktioniert. Die Spektren der Fraktionen beider Versuchsgruppen werden miteinander verglichen.

Ein Beispiel für die Fraktionierung des ersten alkalischen Extraktes aus dem B-Horizont des Podsols mit verschiedenen Laufmitteln und die in den einzelnen Fraktionen erhaltenen Spektren sind in der Abbildung 1 wiedergegeben. In den Säulendiagrammen sind zusätzlich zu der Gesamttextinktion der einzelnen Fraktionen die Anteil der Extinktion, die zu der entsprechenden Fulvosäurefraktion gehören, in den gestrichelten Säulen gekennzeichnet. Die letztere wurde durch Ansäuerung der Fraktionen auf pH 1,0 und Abtrennung der Huminsäurenfraktion durch Zentrifugieren gewonnen.

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

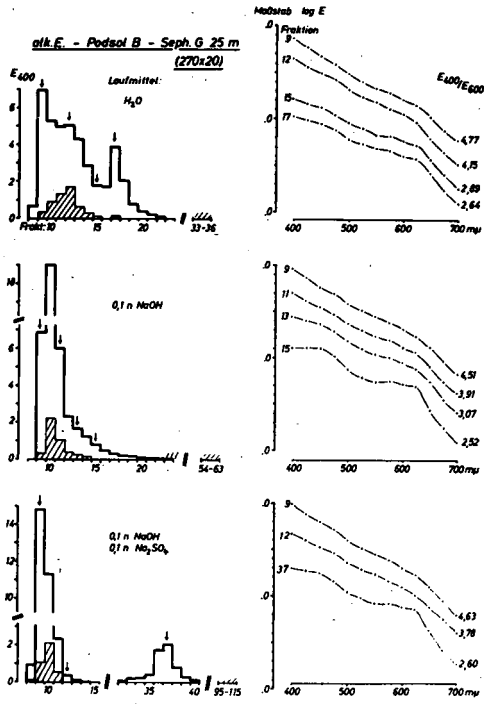


Abb. 1 : Darstellung der Fraktionierung des alkalischen Extraktes aus Podsol B über Sephadex G 25 mit verschiedenen Laufmitteln und den Spektren ausgewählter Fraktionen.

Die in diesem Extrakt enthaltenen Salze erscheinen im Eluat in den Fraktionen 15 und 16, das Lösungsmittel Natronlauge in den Fraktionen 30 - 35.

Nach den dargestellten Ergebnissen ist es möglich, Huminstoffe durch Gelfiltration weitgehender zu fraktionieren als dies durch Flockungsreihen mit Säuren, Laugen und Salzen möglich ist. Die Fraktionierung durch Gel-filtration ist lauffittelabhängig. Die Spektren der aufeinanderfolgenden Fraktionen unterscheiden sich trotz verschiedener Lauffittel in ähnlicher Weise, auch wenn keine deutliche Absetzung in verschiedene Fraktionsgruppen (wie z.B. mit dem Lauffittel $0,1\text{ n NaOH} + 0,1\text{ n Na}_2\text{SO}_4$) eintritt. Die mit Gelfiltration erhaltenen Fraktionen weisen eine stärkere Differenzierung der Spektren auf, als solche, die durch Fraktionierung in üblicher Weise mit Säuren, Laugen und Salzen erhalten werden.

Eine Auftrennung der Huminstoffe allein nach dem Teilchengewicht scheint bei der Verwendung der genannten Lauffittel nicht zu erfolgen.

Literatur

1. Posner, A.M., Importance of electrolyte in the determination of molecular weights by "Sephadex" gel filtration with especial reference to humic acid. Nature 198, 1161-63 (1963)
2. Ferrari, G. and Dell'Agnola: Fractionation of the organic matter of soil by gel filtration through Sephadex. Soil Sci. 96, 481-21 (1963)
3. Mehta, N.C., P. Dubach und H. Deuel: Untersuchungen über die Molekulargewichtsverteilung von Huminstoffen durch Gelfiltration an Sephadex. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 102, 128-137 (1963)
4. Roulet, N., N.C. Mehta, P. Dubach und H. Deuel: Abtrennung von Kohlehydraten und Stickstoffverbindungen aus Huminstoffen durch Gelfiltration und Ionenaustausch-Chromatographie. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 103, 1-9(1963).



Die Gewinnung und Stabilisierung von Huminstoff- fraktionen

von W. Rochus ⁺⁾

Jeder, der sich mit der postmortalen organischen Substanz des Bodens, ihrer Chemie und Biologie sowie ihrer Bedeutung für den Boden und ihrer Rolle im Boden befaßt, muß sich vor allem auch mit den Komponenten des Humus beschäftigen, die als Huminstoffe bezeichnet werden und u.a. durch ihre braune Farbe, ihr Löslichkeitsverhalten, ihre chemischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften, und besonders durch ihre inhomogene und wechselnde Zusammensetzung gekennzeichnet sind. Diese Huminstoffe sind zum Teil sehr reaktionsfähig und es bedarf besonderer Methoden, um sie möglichst unverändert aus dem Boden zu gewinnen. Die in der Literatur beschriebenen Arbeitsvorschriften, deren Vor- und Nachteile an dieser Stelle nicht behandelt werden können, genügen den zu stellenden Anforderungen nicht oder nur teilweise, so daß eine neue Methode auszuarbeiten war, die eine zwar wirksame und einfache vor allem aber schonende Extraktion der Substanzen aus den verschiedenen Bodentypen auch in größerer Menge praktisch quantitativ und von gleichbleibender Qualität ermöglicht und außerdem deren schnelle Stabilisierung zum lagerfähigen Produkt beinhaltet.

Die Gewinnung möglichst nativer Huminstoffe aus dem Boden muß also unter Bedingungen erfolgen, welche die Gefahr einer Veränderung der einzelnen Komponenten weitgehend ausschließt. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse früherer Huminstoffuntersuchungen ist also soweit wie möglich unter Vermeidung eines basischen Milieus in wässriger Phase, ohne aggressive Aufschlußverfahren und ohne Zusatz weiterer Fremdstoffe zu arbeiten und die Extraktion so vollständig und so schnell wie möglich durchzuführen.

⁺⁾ Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen, Direktor: Professor Dr. Dr. h.c. F. Scheffer

Die vollständige Extraktion unveränderter Huminstoffe ist in einem Arbeitsgang unter den genannten Voraussetzungen jedoch nicht möglich. Um allen Anforderungen gerecht zu werden, ist eine mehrfache erschöpfende Extraktion unter entsprechenden Bedingungen erforderlich. Als Standardverfahren, das ohne allzugroßen personellen, finanziellen, apparativen und auch zeitlichen Aufwand durchführbar ist und sich für nahezu alle Bodentypen mit nur geringen Variationen verwenden läßt, hat sich das im Folgenden beschriebene Verfahren einer fraktionierten Extraktion bewährt.

Die Extraktion wird in 4 Stufen durchgeführt und zwar

1. bei saurer Reaktion (pH 1)
2. bei schwach saurer Reaktion (pH 4)
3. bei neutraler Reaktion (pH 7)
4. bei alkalischer Reaktion (pH 14)

Eine weitere Unterteilung in Zwischenwerte bringt nur eine unwesentliche Verbesserung der Trennschärfe. Die erste Extraktion bei saurer Reaktion beinhaltet gleichzeitig einen vorbereitenden Aufschluß des Bodens für die folgenden Extraktionen, bewirkt vor allem durch die Entfernung der störenden Erdalkali- und Metallverbindungen als leicht lösliche Chloride. Diese relativ unschädliche Behandlung reicht fast immer aus, um in der Folge alle Huminstoffe nach Erreichen des erforderlichen pH-Wertes praktisch vollständig in Lösung zu überführen. Die Verwendung aggressiverer Aufschlußverfahren, anderer anorganischer oder organischer Lösungen bzw. Lösungsmittelsysteme, der Zusatz von Netzmitteln und dgl. bringt keine Vorteile und bedeutet nicht nur keine Erleichterung sondern kompliziert die Gewinnungsmethode und besonders die Reinigung der gewonnenen Huminstoffe unnötig bzw. bewirkt oft direkt eine Denaturierung und Artefaktbildung. Als Extraktionsmittel für die praktisch quantitative und schonende Gewinnung der Huminstoffe wird wässrige Salzsäure (pH 1) und Natronlauge (pH 14) bzw. Wasser mit durch die genannten Lösungen eingestellten H^+ bzw. OH^- -Ionen Gehalt verwendet. Nach Lösung der störenden Begleitstoffe kann der größte Teil der Huminstoffe des Bodens zumeist schon im sauren, schwach sauren bis neutralen Milieu extrahiert werden und nur der Rest erfordert ein alkalisches Milieu.

Der Arbeitsgang der fraktionierten Extraktion ist in der schematischen Abbildung aufgezeigt und soll im Folgenden erläutert werden:

Der von groben Verunreinigungen befreite und gesiebte Boden wird in etwa der 10-fachen Menge Wasser suspendiert, mit verdünnter Natronlauge bis pH 6 versetzt, bei welchem die Hydroxide des Aluminiums, Eisens u. dgl. ausflocken und die gelösten Huminstoffe binden. Es wird ein Adsorbat der Huminsäurevorstufenfraktion an das Hydroxidgel erhalten, welches abfiltriert und gesammelt wird.

Der sauer extrahierte Bodennrückstand wird wieder in der 10-fachen Menge Wasser suspendiert, mit verdünnter Natronlauge bis pH 4 versetzt und erschöpfend extrahiert. Das Filtrat wird mit Salzsäure angesäuert (\sim pH 1), daraufhin fallen die Huminsäuren aus. Sie werden abfiltriert und gewaschen. Das Filtrat enthält eine säurelösliche Vorstufenfraktion, die nach Zugabe von etwas Aluminiumchlorid mit Natronlauge neutralisiert wird (\sim pH 6), wobei das ausflockende Hydroxidgel die Huminstoffe bindet.

Das Huminstoffhydroxidgel-Adsorbat wird abfiltriert und gesammelt.

In gleicher Weise wie bei pH 4 wird die erschöpfende Extraktion bei pH 7 und bei pH 14 wiederholt. Auch hier wird jeweils eine Huminsäurefraktion als ausgeflocktes Gel und eine Huminsäurevorstufenfraktion gebunden an das Aluminiumhydroxidgel erhalten.

Somit werden nach dieser Methode 7 Huminsäure- und Huminsäurevorstufenfraktionen gewonnen, aus deren qualitativer und quantitativer Zusammensetzung schon gewisse Rückschlüsse auf die Art des Huminstoffkomplexes und, mit Berücksichtigung der mineralischen Komponenten und des Bodentyps, auf seine Bindung im Boden möglich sind. Die beschriebene Methode ermöglicht also nicht nur eine praktisch quantitative und schonende Gewinnung der bodenständigen Huminstoffe sondern gleichzeitig auch eine Fraktionierung in 4 Vorstufen- (HSV 1, 4, 7 und 14) und 3 Huminsäurefraktionen (HS 4, 7 und 14), die nach bekanntem Verfahren weiter getrennt werden können. Infolge des relativ einfachen Verfahrens und der definierten leicht reproduzierbaren Bedingungen lassen sich ohne weiteres größere Mengen (z.B. im Kilogramm-Maßstab) in gleichbleibender Qualität gewinnen. Von Bedeutung hierfür ist, daß die langsam filtrierbaren bzw. schlecht zentrifugierbaren alkalischen Huminsäurelösungen nur einen geringen Teil des Gesamtvolumina ausmachen. Der größere Teil der Huminstoffe ist im sauren, schwach sauren bis neutralen Milieu löslich und in diesem weniger peptisiert und damit

schneller und leichter filtrierbar sowie kaum von denaturierenden Reaktionen gefährdet. Die bedenkliche Extraktion im alkalischen Milieu ist auf das erforderliche Mindestmaß **beschränkt**.

Die Isolierung der Fraktionen aus den stark verdünnten Lösungen erfolgt in der angegebenen Weise mit geringem Aufwand und unter schonenden Bedingungen, d.h.

die Huminsäuren werden durch Ansäuern bis pH 1 ausgefällt und als Gel aufbewahrt, welches lagerbeständig ist.

die Huminsäurevorstufenfraktion (enthaltend die säurelöslichen Huminstoffe: Fulvosäuren, Hymatomelansäuren usw.) wird nach einem speziellen Verfahren durch Bindung ans ausflockendes Hydroxid (IBAH-Methode) isoliert, filtriert und in der lagerfähigen Adsorbatform aufbewahrt.

Gleichzeitig mit der Gewinnung ist also eine Stabilisierung der reaktionsfähigen Anteile erreicht. Eine Stabilisierung alkalilöslicher, empfindlicher Huminsäuren erfolgt aus einer Aluminatlösung heraus durch Ansäuern bis pH 6 in gleicher Weise. Auch hier kommt man mit ganz geringen Mengen Aluminiumsalz aus, von dem nur ca. 1/10 der zu erwartenden Huminstoffmenge benötigt wird.

Die Aufbewahrung der einzelnen Huminstoff-Fraktionen in Form der feuchten Gele hat sich als zweckmäßig erwiesen, da bei der Trocknung der Präparate offenbar stärkere chemische und physikalisch-chemische Veränderungen eintreten, was z.B. auch im Löslichkeitsverhalten zum **Ausdruck** kommt.

Zur weiteren Reinigung und Trennung der Huminsäurevorstufenfraktionen 1, 4, 7 und 14 werden die Adsorbate unter Verwendung von Ionenaustauschern entionisiert und die resultierenden wässrigen Lösungen chromatographisch aufgetrennt.

Die Huminsäuregele 4, 7 und 14 müssen zur Auftrennung und weiteren Bearbeitung ebenfalls in Lösung überführt werden. Sie werden in Wasser suspendiert und der pH-Wert dieser Suspensionen durch Zugabe von Natronlauge langsam erhöht bis zur Lösung der Präparate. Die Huminsäurelösungen werden an Sephadex-Säulen entsalzt und fraktioniert. Eine weitere Auftrennung der Fraktionen ist oft durch chromatographische Verfahren möglich.

BODEN

+H₂O ↓ +HCl (→pH1)

FILTRAT pH1

+NaOH (→pH6)
HSV-ADSORBAT

RÜCKSTAND pH1

+NaOH (→pH4)

1. FRAKTION (pH1)

FILTRAT pH4

+HCl (→pH1)
HS-GEL HSV-ADSORBAT
+AlCl₃
+NaOH (→pH6)

RÜCKSTAND pH4

+NaOH (→pH7)

2. FRAKTION (pH4)

FILTRAT pH7

+HCl (→pH1)
HS-GEL HSV-ADSORBAT
+AlCl₃
+NaOH (→pH6)

RÜCKSTAND pH7

+NaOH (→pH14)

3. FRAKTION (pH7)

FILTRAT pH14

+HCl (→pH1)
HS-GEL HSV-ADSORBAT
+AlCl₃
+NaOH (→pH6)

RÜCKSTAND pH14

4. FRAKTION (pH14)



Stand der Erfahrungen im Erkennen und Verhüten von Verockerungen von H. Kuntze ⁺⁾

Ablagerungen eisenhaltigen Schlammes in Dränrohren führen zu Abflußstörungen und begrenzen damit den Meliorationserfolg. Intensität und Dauer einer Verockerung sind in Abhängigkeit einer Vielzahl von Faktoren recht unterschiedlich. Es wird versucht, diese Faktoren aufzuzeigen und daraus unterschiedlich gefährdete Böden abzugrenzen.

Man unterscheidet eine chemische und eine biologische Verockerung. Letzterer sollte größere Bedeutung beigemessen werden. Die Standortansprüche der verschiedenen Eisenorganismen werden diskutiert. Aus den unterschiedlichen Vorgängen der Ockerbildung in Dränen resultieren die physikalischen Eigenschaften des Ockers.

In AlCl_3 -Lösung leicht austauschbare Fe^{++} -Anteile des Bodens werden zum Nachweis des Grades der Verockerung verwendet. Einige Bodenprofile wurden in dieser Weise untersucht und Unterschiede der Bodentypen aufgezeigt. Weniger aufwendig ist die Fe^{++} -Untersuchung des Grundwassers, welches aus Bohrlöchern gewonnen und dessen Fe^{++} -Gehalt unmittelbar im Felde semiquantitativ bestimmt wird. Allerdings konnte festgestellt werden, daß der Fe^{++} -Gehalt des oberflächennahen Grundwassers jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt in Abhängigkeit von der ± tief reichende Oxydation in Gleyprofilen. Auch aus dieser Untersuchung läßt sich der Grad einer mußmaßlichen Verockerung für verschiedene Standorte hinreichend genau abgrenzen.

+) Staatl. Moor-Versuchsstation in Bremen

Auf Grund der somit gewonnenen Erkenntnisse über die unterschiedlichen Bedingungen einer chemischen und/ oder biologischen Verockerung werden abschließend Möglichkeiten zur Abwehr des Verockerungsschadens kurz aufgezeigt. Entweder gilt es die Oxydation des Fe^{++} vor Eintritt in die Dräne im Boden zu fördern (Kalkung, Lockerung, Grobfilterstoffe) oder die Fe^{+++} -Ausflockung bis zum Austritt des Grund- (Drän-)wassers in den Vorfluter zu verzögern (Unterwasserausmündung, Gefälle, bakterizide Imprägnationen). Da es bisher jedoch nicht gelang, die Verockerung damit völlig zu unterbinden, sind zusätzliche Vorkehrungen zu treffen für eine mechanische und/oder chemische Aufreinigung der verockerten Dräne. Im Erkennen und Abgrenzen verockerungsgefährdeter Böden sollte der Anfang aller Bemühungen um dieses Problem liegen.

Erscheint als Original in: Z. Wasser und Boden 18, 1966 S. 153 - 168

Zur Frage der Verockerung in Schleswig-Holstein

von A. Paschai

Die große Sorge der Landwirtschaft in Schleswig-Holstein über die Verockerung der Dränrohre und den daraus entstandenen Schaden hat uns zur Durchführung dieser Arbeit veranlaßt.

Hier soll durch eine systematische Untersuchung im Labor die Ursache der Verockerung experimentell aufgeklärt, die vorhandenen Methoden zur Feststellung der verockerungsgefährdeten Böden überprüft und unsere Vorstellung über diese Frage wiedergegeben werden.

Wir teilen die Durchführung dieser Aufgabe in 3 Etappen ein:

- A. Die künstliche Verockerung
- B. Die Untersuchung des Verockerungsschlammes in den Dränrohren
- C. Ausarbeitung eines Verfahrens zur Ermittlung der verockerungsgefährdeten Böden

A. Der künstliche Verockerungsversuch im Labor

I. Beschreibung des Systems

Zur Beobachtung des Verockerungsvorganges und zum Erfassen seiner Ursache und schließlich zur Feststellung der beschleunigenden und hemmenden Kräfte des Verockerungsvorganges haben wir folgenden Versuch im Labor angesetzt:

Als Bodenmaterial wurden 2 verschiedene Böden aus einem Sander-Gebiet westlich Flensburg - das erfahrungsgemäß stark verockerungsgefährdet ist - gewählt. Das erste Bodenprobenmaterial stammt aus dem B-Horizont eines Podsol in Braderup und die zweite Bodenprobe gehörte zu einem Raseneisenerzgebiet in Weesby. Diese beiden Boden-

+) Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen
der Universität Kiel

materialien wurden in folgender Anordnung in Glasrohre von etwa 55 cm Höhe und \varnothing 3,5 cm gegeben und mit Leitungs- (LW) bzw. Moorwasser (MW) überstaut.

Anordnung des Laborversuches:

Zylinder - Nr.	Rohrinhalt	Lösungsmittel
1	B = Orterde	Leitungswasser
3	B	Moorwasser
5	B + G	Leitungswasser
2	B + G	Moorwasser
4	G = Gley	Leitungswasser
6	G	Moorwasser

Um den Austritt des Bodens zu vermeiden, haben wir den unteren Teil der Rohre mit Glaswolle gefüllt. Für die Regulierung der Flüssigkeit haben wir das Unterteil des Glasrohres mit einem Schlauch, der mit einem Quetschhahn versehen war, ausgestattet. Das ganze System wurde mit je einem 250 cm^3 -Kolben mit entsprechender Flüssigkeit von oben zur Nachlieferung versehen. Am Ende des Glasrohres wurde je eine 10 cm lange Kunststoffrille (PVC) angebracht, die mit je 5 g Seesand gefüllt, eine geringe Neigung zum Erlenmeyerkolben als Auffanggefäß hatte. Mittels entsprechenden Quetschhahnes haben wir einen ganz langsamen Abfluß (ca. alle 15 s 1 Tropfen) bei allen sechs Proben ermöglicht (Abb. 1). Nach Durchlauf von 250 cm^3 Flüssigkeit bei jeder Probe wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Bestimmung des ausgefallenen Gesamteisens in der Rille
2. Bestimmung des Gesamteisens im durchgelaufenen Wasser
3. Bestimmung der rH-Werte im Bodenmaterial

II. Versuchsergebnisse

Bei den obengenannten drei Untersuchungen ist folgendes festgestellt worden: (Abb. 2 und Tab.1)

Tab. 1 Redoxpotential - Bestimmung im Untersuchungsmaterial

	Eh	pH	rH
Probe 1	420,3	7,25	29,04
" 2	375,3	6,4	25,78
" 3	440,3	5,2	25,63
" 4	500,3	4,5	26,31
" 5	560,3	6,0	32,11
" 6	425,3	5,3	25,31
Leitungswasser	470,3	7,1	32,96
Moorwasser	365,3	4,0	20,65

a) Probe 1 und 3 (B \Rightarrow LW und B \Rightarrow MW)

Bei Orterde als Bodenmaterial und Leitungswasser als Lösungsmittel wurde der geringste Eisengehalt in der Rinne (nämlich 180 μ Gesamteisen in der Rinne und 28,2 γ im durchgelaufenen Wasser) festgestellt. Im Gegensatz zu 1 zeigt die Probe 3 einen verhältnismäßig hohen Eisengehalt in der Rinne und einen hohen Fe-Gehalt im durchgelaufenen Wasser (410 γ Gesamteisen in der Rinne und 206 γ Fe im durchgelaufenen Wasser). Als Ursache für diesen Unterschied ist die Wirkung des Moorwassers zu nennen, das mit seiner hohen Reduktionskraft (rH = 20,63) und seinem Gehalt an niedermolekularer Huminsäure in der Lage ist, eine größere Menge von Eisen in Bewegung zu setzen als Leitungswasser mit einem rH-Wert von 32,96.

b) Probe 4 und 6 (G \Rightarrow LW und G \Rightarrow MW)

Die gleiche Untersuchung wie bei a) wurde auch bei den Gleyproben durchgeführt. Die Probe 4 mit Leitungswasser enthält 325 γ Gesamteisen in der Rinne und 75 γ Eisen im durchgelaufenen Wasser. Bei Probe 6 mit 780 Gesamteisen - die größte Eisenausfällung in diesem System - und 150,4 γ Fe im durchgelaufenen Wasser, haben wir die gleichen Verhältnisse wie bei a). D.h. auch in diesem Fall ist eine starke Wirkung durch das Moorwasser festzustellen.

c) Probe 2 und 5 (B + G \Rightarrow MW und B + G \Rightarrow LW)

Auch in diesen Proben ist die Wirkung von Moorwasser - bei Probe 2 mit 600 μ Gesamteisen in der Rinne und 564 μ Gesamteisen im durchgelaufenen Wasser im Gegensatz zu Probe 5 mit 500 μ Fe in der Rinne und 169,2 μ im durchgelaufenen Wasser wie bei den obengenannten beiden Gruppen zu beobachten. Die Eisenbestimmung zu dieser Untersuchung wurde nach der Methode von BARON (14) durchgeführt.

d) Auffallend ist der hohe Eisengehalt im durchgelaufenen Wasser bei Probe 2 (B + G \Rightarrow MW). Hier war 3-4 Tage nach dem Durchlauf eine durchschnittliche Eisen-III-Hydroxyd-Ausfällung im durchgelaufenen Wasser zu beobachten. Das gleiche Bild, nämlich die Ausfällung von Eisen-III-Hydroxyd, aber in einem geringeren Ausmaß, war auch bei Probe 5 (B + G \Rightarrow LW) festzustellen. Das kann besagen, daß die von der Auflageschicht (Orterde) gelösten und in Bewegung gesetzten Huminsäuren als Schutzkolloid für lösliche Eisen-II-Hydroxyde in G wirken und ihre sofortige Ausfällung in der Rinne hemmen. Die Eisen-II-Hydroxyde werden im Laufe der Zeit im durchgelaufenen Wasser freigesetzt und bei ihrer Berührung mit Luftsauerstoff und durch bakteriologische Wirkung oxydiert und abgesetzt.

e) Die optische Beobachtung des Rinneninhaltes zeigt bei Probe 1 und 3 (B \Rightarrow LW, B \Rightarrow MW) eine Verbraunung, die nicht durch die Ausfällung von löslichem Eisen-III-Hydroxyden (Verockerung) zustande gekommen ist. Sondern wir halten sie vielmehr für die Folge der Auswaschung von Eisenchelaten (aus B) und ihrer Absetzung in der Rinne. Das ist auch an der braunen Färbung des durchgelaufenen Wassers, besonders bei Probe 3, zu beobachten. Bei 2 und 5 (B + G \Rightarrow MW) (B + G \Rightarrow LW) ist eine klare Verockerungserscheinung (Ausfällung von Eisen-III-Hydroxyd) auf dem Rinneninhalt zu sehen. Bei Probe 6 (G = MW) ist - wie erwartet - auch die stärkste Verockerungserscheinung auf dem Rinneninhalt zu erkennen. Probe 4 (G \Rightarrow LW) zeigt ebenfalls eine Verockerungserscheinung, die aber nicht so stark wie bei Probe 6 ist. Im ganzen gesehen, stimmen die optischen Beobachtungen mit den Analyseergebnissen überein.

B. Die Untersuchung des Verockerungsschlammes in den Dränrohren

In dem vorangegangenen Abschnitt haben wir gezeigt, daß ein niedriger pH-Wert im Boden ein Zeichen für die Intensität ist, mit der das Eisen im Boden mobilisiert wird. Wir haben auch ausgeführt, daß die Beschaffenheit des Wassers einen großen Einfluß auf die Mobilisierung des Eisens im Boden hat. Die Beschaffenheit des Grundwassers kann das Wachstum der verschiedenen Mikroorganismen im Boden begünstigen, z.B. ein Grundwasser mit höherem Anteil an organischen Bestandteilen fördert das Wachstum vieler fadenförmiger Pilze und Protozoen, d.h. der heterotrophen Mikroorganismen. Außerdem gibt es Bakterien, die im Wasser ohne oder nur mit Spuren von organischen Bestandteilen gedeihen können. Bei der letzten Gruppe muß aber eine gewisse Menge an Eisen-II oder Mangan-II-Sulfiden oder anderen nicht vollkommen oxydierten Mineralien als Energiequelle für ihre Existenz vorhanden sein (1). Durch die Stoffwechselfvorgänge dieser Mikroorganismen kann ihre Umwelt so verändert werden, daß dadurch in indirekter Weise die Mobilisierung des Eisens im Boden verursacht wird. Die Schwefelbakterien z.B. erhöhen den Säuregrad bzw. die Azidität, die als Ursache der Mobilisierung angesehen wird. Infolge der Tätigkeit der anderen, nicht spezifischen Bakterien kann ebenfalls - z.B. durch die Erhöhung des CO_2 -Gehaltes, Zersetzung der organischen Eisen-Verbindungen oder Änderungen des Redox-Potentials - eine Mobilisierung des Eisens stattfinden.

Bekanntlich ist im Boden genügend Eisen als Bestandteil der Mineralien oder als deren Verwitterungsprodukt vorhanden. Die natürlichen Eisen-III-Verbindungen sind in H_2O praktisch unlöslich, diese können aber infolge der obengenannten Bedingungen in reduzierte Form umgesetzt und schließlich als 2-wertiges Eisenbicarbonat oder Eisenhydroxyd oder auch als Eisenchelate in Bewegung gesetzt werden (2, 3). Bei Zutritt des Luftsauerstoffes werden die anorganischen Eisen-II-Verbindungen (Eisen-II-Hydroxyd, Eisen-II-Bicarbonat) in Eisen-III-Verbindungen umgesetzt und schließlich ausgefällt.

Die Erfahrungen zeigen, daß eine chemische Fällung erst stattfinden kann, wenn entsprechende Katalysatoren vorhanden sind. Die Katalysatoren können organischen oder anorganischen Ursprung besitzen. An einem Beispiel zeigt ADLER (4), daß bei der Störung der Lebensfähig-

keit der Mikroorganismen in einem eisencarbonathaltigen Wasser durch einige Tropfen Carbolsäure oder Sublimat keine nennenswerte Eisenausfällung beobachtet werden konnte. Infolgedessen wird angenommen, daß die Verockerung ein chemisch-biologischer Vorgang ist. Um Erfahrungen über die Verhältnisse in Schleswig-Holstein zu sammeln, wurden folgende Proben von Feldern untersucht, bei denen die Dränausläufe starke Verockerung zeigen.

In der Marsch aus:

- 1 Hechthausen (Dränrohrinhalt) Dränrohr in der Gruppe verlegt
ca. 70 cm Bedeckung

Im Sandergebiet bei Flensburg aus:

- 2 Braderup : Gley mit Moorauflage (Dränrohrinhalt)
- 3 Jardelund: Podsol (Sammler-Ausgang)
- 4 Weesby: Raseneisenerzbildungen (Sammler-Inhalt)

An diesen Proben wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

1. Bakteriologische Untersuchung
2. Röntgenographische Untersuchung
3. Kohlenstoff- und Eisenbestimmung
4. Textur-Analyse

1. Bakteriologische Untersuchung

Die Ergebnisse unserer mikroskopischen Beobachtung an dem oben genannten Verockerungsmaterial sind in Tab. 2 zusammengefaßt. Die 3 ersten gefundenen Arten gehören zur Gattung *Leptothrix* (*Clamyothrix*), einer weit verbreiteten Gattung von fadenförmigen Eisenbakterien. Die 4. Art (*Gallionella ferruginea*) gehört zur Gattung *Gallionella* und besitzt eine bohnen- oder nierenförmige Zelle mit spiralförmigen Fäden. Die 5. Art (*Sideroderma limneticum*) ist zu den noch ungenügend bekannten Eisenbakterien zu stellen, die nach Naumann (5) als *Sideroderma limneticum* bezeichnet werden. Die Zellen dieser Art sehen stäbchenförmig aus. Übrigens kommen die von uns beobachteten Eisenbakterien nicht gleichzeitig in allen Untersuchungsproben vor. Außerdem besitzen einige Proben (z.B. Weesby, Hechthausen) noch andere Mikro-

organismen, Flagellaten, Ciliaten und Diatomeen, die in diesem Untersuchungsmaterial in großer Menge vorkommen. Die Eisenbakterien haben das Vermögen, durch Oxydation der Eisenoxydverbindungen deren Oxydationsvorgang zu beschleunigen. Nach Winogradzki (6) hat der Oxydationsvorgang für die Mikroorganismen eine wesentlich² physiologische Bedeutung. Die bei dieser exothermischen Reaktion freierwerdenden Energien werden von den Eisenbakterien derart ausgenutzt, daß der Verlauf ihrer sämtlichen Lebensprozesse davon in Gang gehalten wird (6, 7, 8). Die Untersuchungen von Molisch und Liesk (9) zeigen außerdem, daß die Bakterien der Gattung *Leptothrix* zu den mixotrophen Bakterien gehören. Sie sind in der Lage, auch auf Kosten der organischen Verbindungen sich gut zu entwickeln.

Wir stellen hier fest, daß die Ausfällung der Eisen-III-Hydroxyde in Dränrohren keinesfalls allein auf die Tätigkeit einer bestimmten Bakterienart zurückzuführen ist. Offensichtlich sind hierbei viele Mikroorganismen in direkter oder indirekter Weise beteiligt.

Ein Verockerungsversuch im Labor mit 1%igem Eisen-II-Sulfat zeigte, daß beim Durchlaufen der Lösung keine Eisenhydroxydausfällung in der Rinne festzustellen ist. Auch wir konnten beobachten, daß eine chemische Ausfällung in dieser Lösung erst nach längerer Zeit im Kolben stattfindet.

2. Röntgenographische Untersuchungen

Unsere röntgenographischen Untersuchungen haben gezeigt, daß das vorliegende Material vermutlich wegen seines noch weitgehend amorphen Zustandes röntgenologisch nicht erfaßbar ist. Das dürfte darauf zurückzuführen sein, daß bei dieser Konzentration von Eisen und seinem amorphen Zustand die Spektren der anderen Mineralien überdeckt werden.

Die erste Stufe der Entstehung der Eisen-III-Hydroxyde aus Eisen-II-Verbindungen ist hoch wasserhaltig und kristallisiert, sie befindet sich noch in amorphem Zustand. Das $\text{Fe}(\text{OH})_3$ hat eine dunkelbraune Farbe. Die Polyortho-Hydroxyd-Verbindungen sind noch im Wasser beweglich. Bei ihrer weiteren Alterung verlieren sie an H_2O und gehen allmählich in kristallinen Zustand (Goethit) über. Erst diese dürften röntgenogra-

graphisch erfaßbar sein. Sie haben eine gelbe Farbe. Die Entwicklung dieser Eisenhydroxydverbindungen kann noch bei weiterem Wasserverlust bzw. Veralterung über Hydrohaemathit bis Haemathit (Fe_2O_3)übergehen (9).

3. Kohlenstoff- und Eisenbestimmung

Mit den Ockerproben wurden Kohlenstoff- und Fe-Bestimmungen durchgeführt. Dabei stellten wir fest, daß im Gegensatz zu dem in der Literatur (8) bekannten Prozentsatz die organischen Anteile im Verockerungsmaterial nicht hoch sind. Die Tab. 3 gibt die in unserem Material gefundenen Anteile von organischer Substanz, Fe_2O_3 und errechnetem mineralischen Anteil an. Die mikroskopischen Beobachtungen zeigten uns ebenfalls, daß die organischen Bestandteile des Materials nicht so hoch sind.

4. Textur-Analyse

Zur Bestimmung der Korngrößenverteilung im anorganischen Bestandteil unseres Untersuchungsmaterials haben wir schließlich eine Textur-Analyse durchgeführt. Die Tab. 3 zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen in den vier Proben. Dabei ist zu beobachten, daß der Schluffanteil in den drei ersten Proben im Vordergrund steht. Zur Bestimmung der Textur-Analyse wurden die Proben mit 0,4 n Natriumphosphatlösung vorher dispergiert.

5. Bestimmung des rH-Wertes als ein Hilfsmittel zur Ermittlung des verockerungsgefährdeten Bodens

Zu diesem Zweck haben wir nach von Flaig, Scharrer und Judel angegebenen Methoden in dem von uns untersuchten Boden eine Redoxpotential-Bestimmung durchgeführt (10, 11). Die Reihenfolge der rH-Werte (Tab. 4) entspricht den vorgefundenen Verhältnissen. Nach unseren Erkundungen und Beobachtungen sind die Felder in Jardelund, Weesby und Braderup, auf denen wir die Proben zogen, als stark ver-

ockerungsgefährdet, Fitzbek (Molt), Osterstedt und Nienborstel als schwach und Fitzbek (Kühl) als nicht verockerungsgefährdet anzusehen. Das stimmt mit den gemessenen rH-Werten der betreffenden Standorte überein. Im Vergleich dazu haben wir außerdem den Anteil an löslichem Eisen im Grundwasser durch α - α' -Dipyridyl (12) gemessen.

Um einen Vergleich zwischen dem Eisengehalt im Grundwasser und den rH-Werten im Boden im Zusammenhang mit der Verockerungsgefahr zu machen, möchten wir uns zuerst kurz mit den Angaben der vorhandenen Literatur befassen (13).

Nach Schorler findet eine Eisenfällung im Leitungswasser statt, wenn der Eisengehalt im Wasser um 0,3 ppm liegt. Außerdem gibt Knudsen (13) an, daß bei einem Eisengehalt im Wasser größer als 0,2 ppm eine Eisenausfällung stattfindet.

Spencer und Ford (13) geben folgende Skala als Maßstab für die Verockerungsgefahr im Boden an: 0,5 ppm; 1 ppm; 5 ppm und 10 ppm. Nach Erfahrung von Kuntze (mündliche Mitteilung) sind die Werte der Spencer'schen Skala nicht ausreichend genug. Er gibt folgende Skala an: 0,5 ppm; 1 ppm; 2 ppm; 4 ppm und 8 ppm. Nach diesen beiden Skalen ist ab 0,5 ppm der Boden schwach verockerungsgefährdet.

1 - 5 ppm bzw. 1 - 4 ppm = mäßig gefährdet
≥ 10 ppm bzw. 8 ppm = stark "

Unsere Beobachtungen (Tab.4) zeigen aber, daß diese angegebenen Grenzen nicht vollkommen mit der Verockerungsgefährdung übereinstimmen. Die Fe-Werte wurden nach α - α' -Dipyridyl-Methode colorimetrisch gemessen (12). Bei einem Fall (Osterstedt) sehen wir eine Übereinstimmung mit den Angaben von Schorler und Knudsen, d.h. mit einem Eisengehalt 0,25 ppm hat eine schwache Verockerung stattgefunden. Im anderen Beispiel (Fitzbek, Kühl) stellen wir, obwohl ein Eisengehalt von 0,57 ppm vorhanden ist, keine Verockerung fest. In höheren Bereichen sehen wir wieder eine gewisse Übereinstimmung mit den angegebenen Skalen von Spencer und Kuntze. Trotzdem aber sehen wir keine vollkommene Übereinstimmung mit den von ihnen angegebenen Grenzen für die Verockerungsgefährdung. Die von uns beobachteten Grenzwankungen des Eisengehalts im Grundwasser, im Vergleich mit den Angaben von den obenge-

nannten Autoren, scheiden aber bei den rH-Messungen im Boden aus. Das ist ein Zeichen dafür, daß die Verockerung im Boden nicht allein vom Eisengehalt im Grundwasser, sondern auch von dem rH-Wert des Bodens abhängig ist, insofern bei einem rH-Wert unter 32,6 und einem Fe^{++} -Gehalt im Grundwasser von 0,5 ppm (Nr. 4-7) (Tab.4) eine Verockerung im Felde sichtbar ist. Es erscheint ja auch durchaus sinnvoll, den rH-Wert, der Angaben über die Intensität der reduzierenden Verhältnisse macht, als weitere Hilfsmittel für die Bestimmung der Verockerungsgefährdung heranzuziehen, weil nur bei einem bestimmten Maß an Reduktionserscheinungen eine Verockerung stattfindet.

Literatur

- 1) Robert L. Storkey Transformations of Iron by Bacteria in Water Journal of the American Water Works Association
Vol.37 No. 10, 1945, S. 963-984
- 2) Correnz, C.W. Einführung in die Mineralogie
Berlin 1949
- 3) Scheffer, F. Ulrich Humus und Humusdüngung
III. Teil 1960
- 4) Cholodny, N. Die Eisenbakterien S. 2
Jena, Verlag v. Gustav Fischer 1926
- 5) Cholodny, N. Die Eisenbakterien S. 61
Jena, Verlag v. Gustav Fischer 1926
- 6) Cholodny, N. Die Eisenbakterien S. 2
Jena, Verlag v. Gustav Fischer 1926

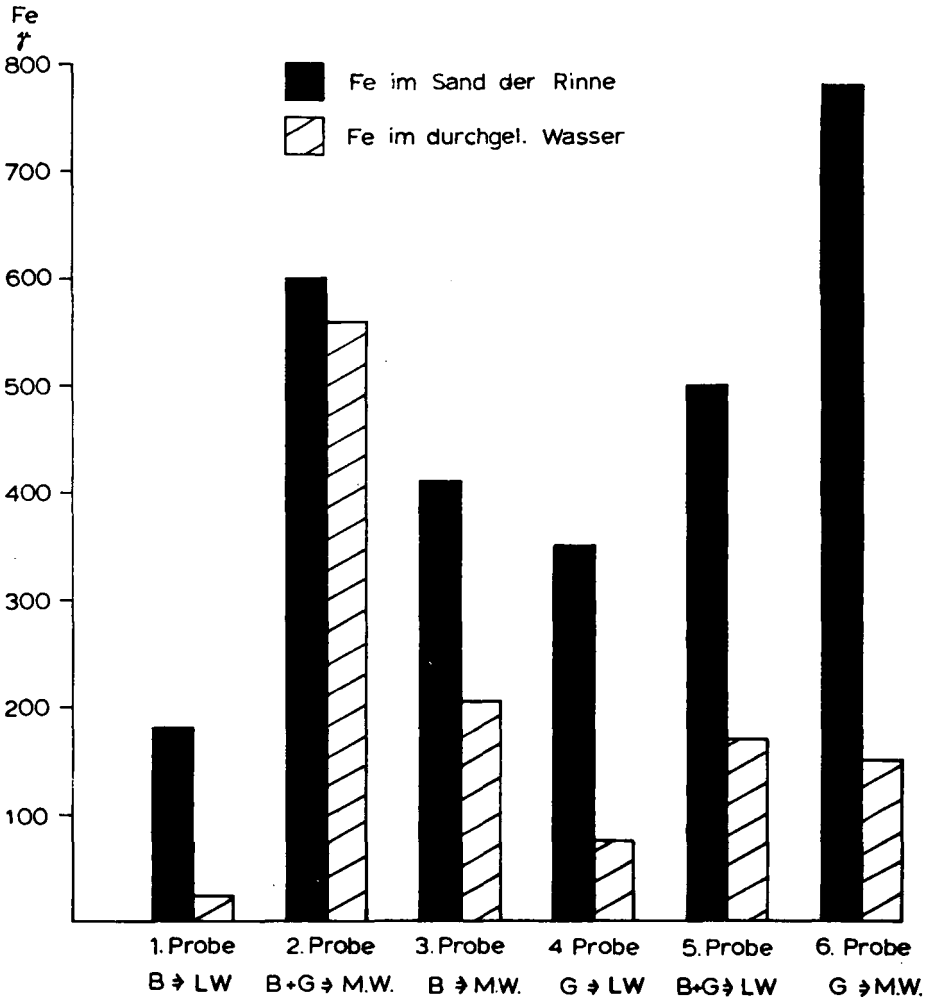
- 7) Thomaser, F. Studien über die Verockerung von Dränanlagen und deren Reinigung.
- 8) Kohlschütter Die Verockerung von Dränanlagen
Der Kulturtechniker, 1959/60, S.51-59
- 9) Kolakauski, St., Zurawski, P.
Verlauf der Oxydation von Fe^{++} mit Luft-
sauerstoff Fortschritte der Wasserwirtschaft
H.1
- 10) Kordatzki, W. Grundlagen der potentiometrischen pH-Messungen
Archiv der Pharmazie 286 nebst Mitteilung
der Pharm. Ges.
Bd. 23/1953, S. 43 - 62
- 11) Flaig, W., Scharrer, K., Judel, G.K.
Zur Methodik der Bestimmung des Redoxpotentials im Boden
Zeitschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 68 (113) 97-122, 1955
- 12) Scott, W.W., Furman, N.H.1939
Standard methods of chemical analysis
Vol. II, The Technical Press Ltd.London
- 13) Spencer, W.,F., Patrick, R.R., Ford, H.W.
The occurrence and cause of Ironoxide
deposits in Tile Drains
Soil Sci. Soc. Proc. 27 (1963)
- 14) Baron, H. Die colorimetrische Bestimmung der Mikro-
nährstoffe Kobalt, Molybdän, Eisen, Zink,
Mangan, Kupfer nebeneinander in Rohfutter
Landw. Forsch. 6, 13, 1954



Abb. 1

Die Darstellung des Eisengehaltes in der Rinne und im durchgelaufenen Wasser

Abb. 2



Das Vorkommen von Mikroorganismen im Verockerungsschlamm

Tab. 2

Nr.	Ort	Mikroorganismen							
		Lept. ochracea	Lept. crassa	Lept. trichogenes	Gallionella ferruginea	Sideroderma limneticum	Flagellaten	Ciliaten	Diatomeen
1	Hechthausen (Ostemarsch)	+++	+	+	-	-	-	-	++
2	Braderup (Dränrohrinhalt) Gley mit Moorauflage	-	-	-	+++	+	-	-	-
3	Jardelund (Sammler-Ausgang) Podsol	-	-	-	+	+++	-	-	-
4	Weesby (Sammler-Inhalt) Raseneisenerz	-	-	-	+	-	+++	++	-

Tab. 3 Die Zusammensetzung des Dränrohrinhaltes

Nr.	Ort	org. %	Fe ₂ O ₃ %	Min. %	Textur		
					< 2 μ	2-63 μ	>63 μ
1	Hechthausen	12,08	18,30	69,62	25,80	48,30	25,90
2	Braderup	4,09	20,66	75,26	42,49	44,22	13,29
3	Jardelund	2,92	14,73	82,35	28,00	59,70	12,30
4	Weesby	7,55	11,04	81,42	8,58	20,25	71,17

Tab. 4 rH-Werte in Böden und Gehalt an löslichem Eisen im Grundwasser
als Maß für deren Verockerungsgefährdung

Nr.	Ort	rH	ppm Fe ⁺⁺ in GW
1	Kühl, Fitzbek G-Horizont	33,31	0,57
2	Molt, Fitzbek Flur 3, G-Horizont	31,91	0,70
3	Rehder, Osterstedt Flur 7, G-Horizont	33,29	0,25
4	Ohrt, Nienborstel Dränfläche, Gemarkung Remmels G-Horizont	27,92	0,50
5	Jardelund	25,62	1,10
6	Weesby	25,62	16,80
7	Braderup	23,76	0,75

Das NH_4 -Fixierungsvermögen und der Stickstoffentzug von Kartoffeln auf Parabraunerden von H. Schiller

Einleitung

Auf der Tagung unserer Gesellschaft in Würzburg hatte ich Gelegenheit, die Bedeutung des NH_4 -Fixierungsvermögens für die Hafererträge darzulegen. Dieses Mal möchte ich über seinen Einfluß auf die Kartoffelerträge sprechen. Das Material stammt von den internationalen Stickstoffdauerversuchen (IDV). Die experimentellen Gegebenheiten sind bei H. Schiller und E. Lengauer (3) beschrieben. Für diese Untersuchungen wurden aus der ganzen Versuchsanlage als Versuchsfrucht nur die Kartoffel, als Düngervarianten nur die Stufen $\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$ und $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$ herangezogen. Geprüft wurden die fünfjährigen (1959 - 1963) Mittel der Erträge, des N-Entzuges sowie der Mehrerträge und der Mehrentzüge zwischen N_0 und N_2 .

Die Böden

Als Bodentypen fand G. Schmid (4) einen schwarzerdeähnlichen Aueböden, zwei Braunerden, einen Eisenhumuspodsol, sonst lauter Parabraunerden. Die meisten Böden sind auf eiszeitlichen fluviatilen Sedimenten, fünf Böden auf Löss entstanden (Tab. 1).

Bodenproben, die 1963 aus den Ap-Horizonten gezogen worden waren, wurden an der Linzer Anstalt chemisch analysiert. Der Tongehalt, bestimmt nach J. Lüttmer und J. Jung (1), war bei den Standorten sehr unterschiedlich.

Die organische Substanz wurde durch Naßverbrennung ermittelt. Mit Ausnahme des Oberen Lindenhofes hatten alle Ap-Horizonte einen Gehalt zwischen 1.5 und 3.3 % - bei Ackerböden ganz normale Werte.

Die Austauschkapazität wurde nach A. Mehlich bestimmt. Ihre Werte entsprechen im großen und ganzen dem Tongehalt. Nur bei den Standorten mit viel organischer Substanz liegen sie höher.

Alle Ap-Horizonte waren karbonatfrei, daher auch keine Karbonatwerte in der Tabelle. Trotz der fehlenden Karbonatreserven weisen mehrere Krümen V-Werte über 80 % auf.

Die letzte Spalte bringt Werte über das NH_4 -Fixierungsvermögen der Böden. Daß der Boden die Fähigkeit hat, Ionen festzulegen, ist bekannt. Auch wurden Methoden ausgearbeitet, um dieses Festlegungsvermögen zu messen. Sie haben bei uns aber bisher keine allgemeine Verbreitung gefunden.

Die derzeit bekannten Methoden liefern kein absolutes Maß für das NH_4 -Fixierungsvermögen des Bodens. Je nach der Art der Methode sind die Ergebnisse verschieden. Es können daher nur Werte miteinander verglichen verglichen werden, die nach dem gleichen Verfahren erarbeitet wurden. Das Wesen der Methoden besteht darin, daß der Boden aus einer Vorlage bestimmter Konzentration in bestimmter Zeit eine gewisse Menge NH_4 -Ionen aufnimmt und bindet. Diese fixierte Menge hängt nun wesentlich von der Konzentration und von der Stehzeit ab. Es ist daher notwendig, sich für eine bestimmte Arbeitsweise zu entscheiden. Über das angewendete Verfahren siehe bei H. Schiller und A. Walicord (2).

Wie die letzte Spalte der Tab. 1 zeigt, schwankte das NH_4 -Fixierungsvermögen zwischen 0.18 und 0.89 mval/100 g Boden. In den meisten Fällen machte das 2.5 bis 5.5 % der AK aus, es gab aber auch extreme Abweichungen in beiden Richtungen, u. zw. bei den Proben Nr. 5 und 16. Die ersten Feststellungen über die pflanzenbauliche Auswirkung des NH_4 -Fixierungsvermögens des Bodens machten wir an der einjährigen österreichischen Serie der internationalen Stickstoffsteigerungsversuche (INV).

Zusammenhänge Boden - Kartoffeln

In der Tab. 2 wurden die Knollenerträge dem Bodentyp zugeordnet in der Annahme, daß sich in diesem charakteristische Bodeneigenschaften summarisch ausdrücken. In der Versuchsreihe bildeten nur die Parabraunerden eine größere Gruppe, andere Bodentypen waren nur durch einzelne Fälle vertreten, daher ist ein Vergleich zwischen den Ertragsleistungen der verschiedenen Bodentypen schwer möglich.

Innerhalb der Parabraunerden waren die Knollenerträge so unterschiedlich, daß selbst die N_2 -Gaben sie einander nicht angleichen konnten. In einer Reihe von N_2 -Parzellen (Nr. 5, 7 und 12) waren die Erträge sogar niedriger als in den N_0 -Parzellen anderer Standorte (4, 13). Noch krasser verschieden innerhalb der Parabraunerden war die Stickstoffwirkung. Die Knollenerträge schwankten von 6.6 (Nr.7) bis 34.0 (Nr.10) q/ha abs. Tr. Daraus läßt sich die Folgerung ableiten, daß über die Ertragsbildung der Kartoffeln aus dem morphologischen Erscheinungsbild, also aus dem Profilaufbau eines Bodentyps wenig abgeleitet werden kann. Vielmehr ist naheliegend, daß die chemischen Merkmale der Ap Horizonte wegen ihrer großen Variationsbreiten, die Ursachen für die Ertragsunterschiede waren.

Wir hatten in der Tab. 1 gesehen, daß besonders der Tongehalt, die Austauschkapazität, der V-Wert und das NH_4 -Fixierungsvermögen stark schwankten. Das Interesse galt in dieser Arbeit vor allem dem Einfluß des NH_4 -Fixierungsvermögens auf die Kartoffel, nachdem dieser bei Hafer schon untersucht worden war (2).

Ordnet man die Stickstoffentzüge auf den $N_2P_2K_2$ -Parzellen (Tab. 3) nach steigendem NH_4 -Fixierungsvermögen so ist zu erkennen, daß der Stickstoffentzug bis zu einem NH_4 -Fixierungsvermögen von 0.50 etwas zu, von da an abnimmt. Der stetige Verlauf des Stickstoffentzuges mit steigender NH_4 -Fixierung wird deutlich unterbrochen bei den Proben 5, 1 und 7 mit extremen AK-Werten und bei den Proben Nr. 10, 9, 4 und 7 mit V-Werten, die aus der Reihe springen. Also dürften auch diese beiden Bodenfaktoren den Stickstoffentzug beeinflußt haben. Die Mittelwerte der beiden Gruppen bestätigen, daß der N-Entzug bei höherem NH_4 -Fixierungsvermögen geringer war.

Im N-Mehrentzug drückt sich die Ausnutzung des Düngerstickstoffes aus. Ordnet man die Mehrentzüge der $N_2P_2K_2$ -Variante nach steigender AK (Tab. 4), so streut bis zu einer AK von rund 12 mval die N-Ausnutzung in einem Intervall von 41.9 - 68.4 % um den errechneten Mittelwert von 54.6 %. Bei einer AK von rund 15 mval, die für drei von den vier Parabraunerden auf Löss zutrif, ging die Stickstoffausnutzung im Mittel auf 45.0 % zurück. Bei einer AK über 17 fiel die N-Ausnutzung im Durchschnitt auf 24.5 % ab. Auch hier scheint es, daß der Sättigungsgrad des Bodens bei der N-Aufnahme eine Rolle spielte, denn die V-Werte der Proben 15, 16 und 8 springen aus der Reihe. Der Unterschied in der N-Ausnutzung zwischen sorptionsschwachen und sorptionsstarken Böden beträgt rund 30 %. Da die AK eine gewisse Parallelität mit dem NH_4 -Fixierungsvermögen aufweist, bleibt die Frage offen, ob die Hemmung der N-Aufnahme auf den sorptionsstarken Böden auf physikalische oder chemische Ursachen zurückzuführen ist. Um genauere Aufschlüsse darüber zu bekommen, wurden einige Mehrfachregressionen berechnet.

Nach der Regression I der Tab. 5 nahm der N-Entzug durch die Kartoffeln mit steigendem NH_4 -Fixierungsvermögen ab, mit steigendem V-Wert zu. Die AK zeigte keinen Einfluß. Durch das Eliminieren des V-Wertes in der Regression II gingen 13.5 % von der Bestimmtheit verloren. Der Regressionskoeffizient des NH_4 -Fixierungsvermögens und seine Sicherheit wurden geringer. In der Regression III dagegen bewirkte das Eliminieren der AK einen nur geringfügigen Bestimmtheitsverlust von 1.3 %, das Bestimmtheitsmaß erzielte sogar durch den so gewonnenen Freiheitsgrad eine höhere Sicherheit. Die Regressionskoeffizienten, vor allem aber ihre Sicherheiten, erhöhten sich sowohl beim NH_4 -Fixierungsvermögen als auch beim V-Wert.

Den größten Bestimmtheitsverlust beim Eliminieren der einzelnen Variablen verursachte das NH_4 -Fixierungsvermögen: er betrug in der Regression IV 24.6 %. Dafür übernahm die AK einen Teil der Rolle des NH_4 -Fixierungsvermögens, indem ihr Regressionskoeffizient bedeutend anstieg und sogar gesichert wurde. Daß die AK das NH_4 -Fixierungsvermögen zu einem gewissen Teil vertreten kann, folgt auch aus dem positiven Zusammenhang zwischen den beiden, den die Einfachregression VIII nachweist. Auch bodenchemisch ist diese Tatsache erklärlich, weil

ja das NH_4 -Fixierungsvermögen ein Teil der AK ist. Bemerkenswert ist lediglich, daß die Korrelation zwischen diesen beiden Bodeneigenschaften und deren Fähigkeit, einander in der Rechnung zu vertreten, nicht größer waren. Demnach ist also das NH_4 -Fixierungsvermögen ein sehr variabler Bestandteil der Sorptionskapazität und die Größe seines Anteils wird verschiedene Ursachen haben.

In den Regressionen V - VII wurden immer zwei Variable gleichzeitig herausgehoben und es ergäben sich Einfachregressionen. Wie schon die Regressionen I bis III, wies auch die Regression Nr. VII den gesicherten negativen Zusammenhang zwischen dem N-Entzug und dem NH_4 -Fixierungsvermögen nach. Das Bestimmtheitsmaß von rund 36,3 %, welches einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,60$ entspricht, ist bemerkenswert hoch. Gar nicht sehr viel niedriger ist es in der Regression VI, in welcher die AK die Rolle des NH_4 -Fixierungsvermögens übernommen hat.

Der V-Wert zeigte in der Regression V für sich allein keine Beziehung zum N-Entzug. Nur gemeinsam mit der NH_4 -Fixierung, d.h., wenn diese konstant gehalten und ihr Anteil an der Gesamtvarianz des N-Entzuges herausgerechnet war, kam auch eine Wirkung des V-Wertes zum Vorschein (Regr. I und III).

Wenn auch die AK in den Regressionen IV und VI einen Zusammenhang mit dem Stickstoffentzug aufweist, so war dieser Zusammenhang doch ein mittelbarer. Die unmittelbare Beziehung bestand zwischen dem NH_4 -Fixierungsvermögen und dem Stickstoffentzug, d.h., der wirksame Anteil der AK war das NH_4 -Fixierungsvermögen. Deshalb zeigte dieses in den Regressionen die besseren Beziehung, u.zw.: in I, II, III und VII die größere Sicherheit, in IV den größeren Bestimmtheitsverlust und in III und VII das größere Bestimmtheitsmaß.

Für den N-Entzug waren also das NH_4 -Fixierungsvermögen und der V-Wert ausschlaggebend: je höher das NH_4 -Fixierungsvermögen, umso geringer der N-Entzug, je höher der V-Wert, umso größer der N-Entzug.

Abschließend noch einige Worte zur N-Ausnutzung.

Aus den Regressionen XI, XIV und XVI der Tab. 6 geht hervor, daß für die Differenz des N-Entzuges zwischen N_0 und N_2 , also für die Ausnützung des Düngernstickstoffes, in erster Linie die AK maßgebend war. Die Regressionen XIII und XVII zeigen, daß aber auch das NH_4 -Fixierungsvermögen dabei eine Rolle spielte und mit der AK in enger Beziehung stand. Daß der V-Wert keine unmittelbare Bedeutung für den N-Mehrentzug hatte, geht aus seinen ungesicherten Regressionskoeffizienten und aus den geringen Bestimmungsverlusten hervor. Der V-Wert ist aber mit dem NH_4 -Fixierungsvermögen korreliert und vermag dessen Aussagekraft zu erhöhen (vergleiche Regr. XIII und XVII).

Je höher also die AK lag, umso geringer war die Ausnützung des Düngernstickstoffes durch die Kartoffel. Die AK drückt die Schwere der Böden aus und bei hohem Tongehalt liegen besondere für den Anbau von Kartoffeln ungünstige bodenkundliche Bedingungen vor. Darauf weist auch die Regression Nr. XVIII hin, derzufolge der durch Stickstoffdüngung erzielte Knollenmehrertrag umso geringer, je höher die AK war.

Zusammenfassend lassen sich folgende Feststellungen treffen:

1. Die Ap-Horizonte der Parabraunerden aus den ID-Versuchen unterschieden sich voneinander wesentlich nicht nur in ihrem NH_4 -Fixierungsvermögen, sondern auch in anderen Bodenmerkmalen.
2. Mit steigendem NH_4 -Fixierungsvermögen der Böden nahm der N-Entzug, aber auch die Ausnützung des Düngernstickstoffes bei den Kartoffeln ab.
3. Das NH_4 -Fixierungsvermögen war mit der AK positiv korreliert. Das Fixierungsvermögen wirkte sich mehr auf den N-Entzug, die AK, somit die Bodenschwere, mehr auf die Ausnützung des Düngernstickstoffes aus.

4. Zwischen dem NH_4 -Fixierungsvermögen und dem V-Wert der Böden bestand eine positive Korrelation. Über das NH_4 -Fixierungsvermögen hatte der V-Wert einen indirekten Einfluß auf den N-Entzug und auf die N-Ausnützung.
5. Vom pflanzenbaulichen Standpunkt aus wäre es wünschenswert, wenn man die Parabraunerden so untergliedern könnte, daß man zu Subtypen mit weitgehend ähnlichen Bodeneigenschaften und Ertragsleistungen käme.

Literatur

1. Lüttmer, J. u. Jung, L.: Über die Eignung des Natrium-Pyrophosphates zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse.
Notizblatt des Hess. Landesamtes für Bodenforschung 83, 282 - 291,
Wiesbaden 1955
2. Schiller, H. und Walicord, A.:
Das Verhältnis Kaliumfixierung/Ammoniumfixierung im Boden - ein ertragsbestimmender Faktor.
Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde 104,
119 - 130 (1964)
3. Schiller, H. u. Lengauer, E.:
Die Bedeutung der nassen K-Fixierung für die Bewertung der K_{laktat} -Zahlen.
1.c.2, im Druck

4. Schmid, G.:

Standortcharakteristik der Internationalen Dauerversuche (IDV-Serie) und Bodenfruchtbarkeit 1.c. 2, 109, 189-200 (1965).

Tab. 1

Bodentyp, geologische Formation und Bodenmerkmale der Ap-Horizonte
IDV

Probe Nr.	Bodentyp und Standort	Geol. Formation	Ton	Org. Subst.	AK	V- Wert	NH ₄ - Fix. 100 mg N 36 ^h	
			%		mval %	%	mval %	% AK
1	<u>Schwarzerdeähnl. Aueboden</u>	LÖB	20.0	5.8	31.5	48	0.64	2.0
	Oberer Lindenhof							
2	<u>Braunerden</u>	Würm-I-Sch. Dil.Mor.	10.3 3.9	2.2 3.1	11.6 10.4	60 47	0.43 0.29	3.7 2.8
	Liebefeld (eutr.) Oldenburg (schw.pods.)							
4	<u>Parabraunerden</u>	Würmsch.Hfl. Dil.fl.	18.4 4.0	2.7 1.0	17.4 4.3	70 37	0.71 0.57	4.1 13.2
	Ljubljana (Rokican) Groß Gerau							
5	Ottersum	Al.Hfl. Würmsch.Hfl.	11.8 15.8	1.7 3.3	9.1 24.2	43 62	0.25 0.77	2.7 3.2
6	Völkerrode	Rißsch. Dil.fl.	19.0 7.8	2.4 1.9	17.6 8.8	89 85	0.89 0.46	5.1 5.2
7	Leuven	LÖB	9.0	1.9	10.8	84	0.36	3.3
8	Linz	LÖB	14.2 14.5	1.8 1.9	14.8 14.6	94 80	0.79 0.79	5.3 5.4
9	Linz	LÖB	14.5	1.9	14.6	80	0.79	5.4
10	Rauisch-Holzhausen	LÖB	19.2	1.5	15.0	93	0.79	5.3
11	<u>Eisenhumuspodsol</u>	Dil.fl.	3.5	2.1	6.7	44	0.36	5.4
	Dülmen							
12	<u>Noch zu bestimmen</u>							
	Rostock							
13	Leipzig (Lawalde)		8.5 9.2	1.6 2.7	9.3 10.6	90 33	0.50 0.18	5.4 1.7
14	Leipzig (Podelwitz)		11.2	2.0	10.2	50	0.39	3.9

Tab. 2
Kartoffelerträge (Ø 1959-1963)
IDV

Probe Nr.	Bodentyp und Standort	Knollenertrag ATS, q/ha			
		N ₀	N ₁	N ₂	N ₂ - N ₀
	<u>Schwarzerdeähnlicher Auebcden</u>				
1	Ob.Lindenhof	42.0	53.9	59.3	17.3
	<u>Braunerden</u>				
2	Liebefeld (eutr.)	55.8	74.2	86.9	31.1
3	Oldenburg (schw.pods.)	53.9	81.8	97.3	43.4
	<u>Parabraunerden</u>				
4	Ljubljana (Rokican)	59.3	68.6	76.8	17.5
5	Groß Gerau	25.5	41.9	58.2	32.7
6	Ottersum	49.4	68.6	81.4	32.0
7	Ljubljana (Domzale)	44.9	42.9	51.5	6.6
8	Ljubljana (Nova Gorica)	30.6	46.2	60.7	30.1
9	Völkenrode	53.4	67.1	80.9	27.5
10	Leuven	53.0	74.3	87.0	34.0
11	Versailles	52.9	63.2	71.1	18.2
12	Linz	37.4	44.2	59.5	22.1
13	Rauisch Holzhausen	59.3	79.8	92.8	33.5
	<u>Eisenhumuspodsol</u>				
14	Dülmen	43.5	73.5	93.2	49.7
	<u>Noch zu bestimmen</u>				
15	Rostock	62.8	79.8	88.1	25.3
16	Leipzig Lawalde	47.8	68.1	68.1	20.3

Tab. 3

N-Gehalt und N-Aufnahme der Kartoffeln in der Dünungsstufe $N_2P_2K_2$,
geordnet nach steigendem NH_4 -Fix.-Vermögen.

IDV

Probe Nr.	Bodenmerkmale			N-Gehalt i.ATS %	N-Entzug kg/ha
	NH_4 -Fix. mval	AK %	V-Wert %		
16	0.18	10.6	33	1.40	95.1
6	0.25	9.1	43	1.32	102.8
3	0.29	10.4	47	1.11	107.5
14	0.36	6.7	44	1.25	116.0
10	0.36	10.8	84	1.14	97.6
2	0.43	11.6	60	1.40	118.3
9	0.46	8.8	85	1.41	112.7
15	0.50	9.3	90	1.33	118.0
				\bar{x}	108.50
				s	9.20
5	0.57	4.3	37	1.43	84.8
1	0.64	31.5	48	1.36	81.7
4	0.71	17.4	70	1.24	90.8
7	0.77	24.2	62	1.34	86.7
11	0.79	14.8	94	1.47	103.3
13	0.79	15.0	93	1.01	93.5
12	0.79	14.6	80	1.39	82.4
8	0.89	17.6	89	0.94	71.7
				\bar{x}	88.07
				s	10.69

Tab. 4

Ausnützung des Dünger-N durch die Kartoffel, geordnet nach
steigender AK
IDV

Probe Nr.	Bodenmerkmale			N-Aufnahme kg/ha		N-Aus- nutzung N ₂ - N ₀ %
	AK mval	NH ₄ -Fix. %	V-Wert %	N ₂	N ₀	
5	4.3	0.57	37	84.8	30.8	54.0
14	6.7	0.36	44	116.0	47.6	68.4
9	8.8	0.46	85	112.7	58.2	54.5
6	9.1	0.25	43	102.8	50.6	52.2
15	9.3	0.50	90	118.0	76.1	41.9
3	10.4	0.29	47	107.5	49.7	57.8
16	10.6	0.18	33	95.1	49.4	45.7
10	10.8	0.36	84	97.6	42.6	55.0
2	11.6	0.43	60	118.3	56.7	61.6
						\bar{x} 54.56
						s^{\pm} 7.88
12	14.6	0.79	80	82.4	41.0	41.4
11	14.8	0.79	94	103.3	57.9	45.4
13	15.0	0.79	93	93.5	45.3	48.2
						\bar{x} 45.00
						s^{\pm} 3.42
4	17.4	0.71	70	90.8	68.5	22.3
8	17.6	0.89	89	71.7	39.5	32.2
7	24.2	0.77	62	86.7	67.3	19.4
1	31.5	0.64	48	81.7	57.7	24.0
						\bar{x} 24.48
						s^{\pm} 5.49

Tab. 5

IDV: Düngervariante $N_2K_2P_2$ bei KartoffelnBeziehung: Stickstoffentzug (y) - NH_4 -Fix.-Vermögen, AK, V-Wert (x_1)

Regr. Nr.	Abhängige Variable y	Regressionskoeffizienten						Bestimmtheitsmaß		B-Verlust
		x_1		x_2		x_3		B %	Sich.	
		NH_4 -Fix.-Verm. mval %		AK mval %		V-Wert %				
		b_1	Sich.	b_2	Sich.	b_3	Sich.			
I	N-Entzug kg/ha	-50.12	+	-0.37	0	+0.32	(+)	55.9	+	
II		-26.70	(+)	-0.67	0	-	-	42.4	+	13.5
III		-58.40	++	-	-	+0.35	+	54.6	++	1.3
IV		-	-	-1.17	+	+0.04	0	31.3	0	24.6
V		-	-	-	-	-0.01	0	0.02	0	55.9
VI		-	-	-1.15	+	-	-	31.0	+	24.9
VII		-37.8	+	-	-	-	-	36.3	+	19.6
VIII	NH_4 -Fix.	/	/	+0.017	+	/	/	29.7	+	
IX	NH_4 -Fix.	/	/	/	/	+0.006	/	35.1	+	
X	V-Wert	/	/	+0.407	0	/	/	1.6	0	

Signifikanz

+++	Irrtumswahrscheinlichkeit (P)	< 0.1 %
++	- " -	< 1 %
+	- " -	< 5 %
(+)	- " -	< 10 %
((+))	- " -	< 20 %
0	- " -	> 20 %

Tab. 6

IDV: Stickstoff-Ausnützung durch Kartoffeln
 Beziehung: N-Mehrentzug (y) - NH_4 -Fix.-Vermögen, AK, V-Wert (x_1)

Regr. Nr.	Abhängige Variable y	Regressionskoeffizienten						Bestimmtheitsmaß		B-Verlust
		x_1 NH ₄ -Fix.-Verm. mval %		x_2 AK mval %		x_3 V-Wert %		B %	Sich.	
		b_1	Sich.	b_2	Sich.	b_3	Sich.			
XI		-19.64	0	-1.39	++	+0.05	0	70.9	++	
XII	N-Mehrentzug ($\text{N}_2 - \text{N}_0$) kg/ha	-15.68	((+))	-1.44	++	-	-	70.4	+++	0.4
XIII		-50.68	++	-	-	+0.19	0	43.5	+	27.3
XIV		-	-	-1.70	+++	-0.06	0	66.9	+++	3.9
XV		-	-	-	-	-0.12	0	3.4	0	67.4
XVI		-	-	-1.72	+++	-	-	66.2	+++	4.6
XVII		-39.48	+	-	-	-	-	38.1	+	32.7
XVIII	Knollenmehrertrag	- 7.45	0	-0.88	+	-	-	44.0	+	

Die Berechnung der Austauschkapazität der organischen und anorganischen Substanz von Böden von Manfred Renger

Die Bestimmung der Austauschkapazität (AK) der anorganischen Substanz des Bodens erfolgt gewöhnlich dadurch, daß man vorher die organische Substanz mit Wasserstoffperoxid zerstört. Die Austauschkapazität der organischen Substanz wird anschließend aus der Differenz der Werte des unbehandelten und des mit Wasserstoffperoxid behandelten Bodens unter Berücksichtigung des Gehaltes an organischer Substanz bestimmt. Bei diesem Verfahren können jedoch Fehlerquellen auftreten, die nur sehr schwer zu beseitigen sind.

Deshalb wurde der Versuch unternommen, die Austauschkapazität der organischen und anorganischen Substanz des Bodens mittels statistischer Analyse zu bestimmen.

Material

Das der statistischen Auswertung unterzogene Analysenmaterial stammt aus dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (Hannover) und dem Institut für Bodenkunde der Technischen Hochschule (Hannover). Es umfaßt insgesamt 1580 Böden und setzt sich wie folgt zusammen:

- 1) 91 Lößböden : ----
 - a) 18 Schwarzerden
 - b) 51 Parabraunerden
 - c) 22 Pseudogleye und Gleye

- 2) 86 Sandböden: ----
 - a) 18 Podsole
 - b) 68 Eschböden

- 3) 1400 Marschen:----
 - a) 605 Seemarschen
 - b) 112 Flußmarschen
 - c) 319 allgem.Brackmarschen
 - d) 330 Knickbrackmarschen

Statistische Auswertung

Die Berechnung der Austauschkapazität der organischen Substanz, der Ton- und Schlufffraktion erfolgte mittels der Ausgleichsrechnung, einem Verfahren, das der multiplen Regressionsanalyse nahesteht. Dabei geht man davon aus, daß die Austauschkapazität der Böden von den Komponenten organische Substanz, Ton und Schluff linear und additiv abhängig ist. Die dafür angewandte Gleichung lautet:

$$AK = b_1 (\% \text{ org. Subst.}) + b_2 (\% \text{ Ton}) + b_3 (\% \text{ Schluff})$$

Die Bestimmungsgleichungen für die Koeffizienten b_1 , b_2 , und b_3 lauten (4, S. 61):

$$b_1 S(x_1^2) + b_2 S(x_1 x_2) + b_3 S(x_1 x_3) = S(x_1 y)$$

$$b_1 S(x_1 x_2) + b_2 S(x_2^2) + b_3 S(x_2 x_3) = S(x_2 y)$$

$$b_1 S(x_1 x_3) + b_2 S(x_2 x_3) + b_3 S(x_3^2) = S(x_3 y)$$

$$S = \text{Summe}$$

$$x_1 = \text{Gehalt an organischer Substanz } (\%)$$

$$x_2 = \text{Tongehalt } (\%)$$

$$x_3 = \text{Schluffgehalt } (\%)$$

$$y = \text{AK des Bodens (mval/100 g)}$$

Die Koeffizienten b_1 , b_2 und b_3 entsprechen der mittleren Austauschkapazität in mval je g organische Substanz (b_1), Ton (b_2) und Schluff (b_3). Die für die Bestimmungsgleichungen erforderlichen Summenprodukte wurden mit dem Elektronenrechner berechnet.

Ergebnis

In Abb. 1 sind die statistisch ermittelten Werte für die Austauschkapazität der organischen Substanz von verschiedenen Oberböden dar-

gestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, schwanken die Werte zwischen 2,94 und 1,67 mval/g. Sie nehmen in der Reihenfolge ab:
Schwarzerden > Flußmarschen = Eschböden > Seemarschen > Parabraun-
erden > Pseudogleye + Gleye > Podsole > allgemeine Brackmarschen
> Knickbrackmarschen.

Die Ursache für die unterschiedliche Austauschkapazität der organischen Substanz zwischen den einzelnen Bodentypen kann mittels der statistischen Analyse nicht ergründet werden. Jedoch kann aus den Angaben in der Literatur (1) gefolgert werden, daß die Unterschiede der Austauschkapazität der organischen Substanz zwischen den einzelnen Bodentypen in erster Linie auf eine unterschiedliche Zusammensetzung der Huminstoffe und auf einen unterschiedlichen Humifizierungsgrad zurückzuführen sind. So ist z.B. der Anteil der Huminstoffe an der gesamten organischen Substanz bei den Schwarzerden besonders hoch, bei den Podsolen und Brackmarschen dagegen niedrig.

Innerhalb der Marschböden ist die Austauschkapazität der organischen Substanz nicht nur vom Bodentyp abhängig, sondern von einer Reihe zusätzlicher Faktoren. Mit Hilfe der Regressionsanalyse - auf die an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden kann - wurde nachgewiesen, daß die Austauschkapazität der organischen Substanz signifikant von folgenden Faktoren abhängig ist:

1. vom pH der Böden
2. von der Höhe des Gehaltes an organischer Substanz der Böden
3. vom Tongehalt der Böden

Um den Einfluß dieser Faktoren genauer zu erfassen, wurden die verschiedenen Marschböden wie folgt gruppiert:

1. nach pH-Bereichen
2. nach Bereichen des Gehaltes an organischer Substanz
3. nach Bereichen des Tongehaltes

Von den verschiedenen Gruppe wurde die Austauschkapazität der organischen und anorganischen Substanz des Bodens wiederum berechnet.

Die Abhängigkeit der Austauschkapazität der organischen Substanz vom pH der Böden geht aus Abb. 2 hervor.

Bei sämtlichen Marschböden nimmt die Austauschkapazität der organischen Substanz mit steigendem pH zu. Bei gleichem pH sinkt die Austauschkapazität in der Regel in der bereits in Abb. 1 festgestellten Reihenfolge:

Flußmarsch > Seemarsch > allgemeine Brackmarsch
> Knickbrackmarschen

Es ist zu erwarten, daß auch bei den übrigen Bodentypen eine Abhängigkeit der Austauschkapazität der organischen Substanz vom pH vorhanden ist. Da jedoch das Analysenmaterial der übrigen Bodentypen sehr gering und außerdem hinsichtlich des pH-Wertes sehr einheitlich ist, konnte die Gruppierung nach pH-Bereichen nur bei den Marschen erfolgen. Hallsworth und Wilkinson (2) haben die gleiche pH-Abhängigkeit auch bei anderen Böden festgestellt. Sie führen die Abnahme der Austauschkapazität der organischen Substanz mit abnehmendem pH des Bodens auf eine blockierende Wirkung der Aluminium- und Eisenoxide zurück. Außerdem nehmen sie an, daß die bei niedrigen pH-Werten gebildete organische Substanz einen geringeren Humifizierungsgrad besitzt als die bei höheren pH-Werten.

Wie bereits erwähnt, wurden die Marschböden auch nach Bereichen des Gehaltes an organischer Substanz gruppiert. Die Gruppierung erfolgte nach der folgenden Einteilung < 2, 2 - 4, 4 - 10 und > 10% gewählt.

Die berechneten Werte für die Austauschkapazität der organischen Substanz sind in Abb. 3 zu finden.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, nimmt die Austauschkapazität der organischen Substanz mit zunehmendem Gehalt an organischer Substanz ab. Die Austauschkapazität der organischen Substanz von Seemarschen liegt bei gleichem Gehalt an organischer Substanz deutlich über der allgemeinen Brack- und Knickbrackmarschen.

Die Flußmarschen wurden zu dieser Berechnung nicht herangezogen, weil das vorhandene Analysenmaterial hinsichtlich des Gehaltes an organischer Substanz zu einheitlich ist, d.h. bei einer Gruppierung nach Gehalten an organischer Substanz würde das gesamte Material der Flußmarschen bis auf wenige Ausnahmen in eine Gruppe fallen.

Um den Einfluß des Tongehaltes auf die Austauschkapazität der organischen Substanz festzustellen, wurden Seemarschen mit annähernd gleichem pH und gleichem Gehalt an organischer Substanz nach folgenden Tongehalten gruppiert:

- 1) < 30 % Ton
- 2) 30- 50 % Ton
- 3) > 50 % Ton

Die berechneten AK-Werte der organischen Substanz der nach diesen Tongehalten gruppierten Böden nehmen mit steigendem Tongehalt ab. Dies kommt in folgenden Zahlen zum Ausdruck:

< 30 % Ton	= 2,95 mval/g	organische Substanz	
30-50 % Ton	= 2,45 mval/g	"	"
> 50 % Ton	= 1,91 mval/g	"	"

Die Abnahme der Austauschkapazität der organischen Substanz mit steigendem Tongehalt kann wohl teilweise damit erklärt werden, daß mit steigendem Tongehalt der Prozeß der Humifizierung verlangsamt wird. Diese Abnahme wird auch durch finnische Untersuchungen (3) von Valdmaa gestützt. Er fand, daß die AK der aus Böden extrahierten Huminsäuren mit steigendem Tongehalt der Böden abnimmt.

Die Austauschkapazität der anorganischen Substanz geht aus Abb. 4 hervor. Da sich die Austauschkapazität der anorganischen Substanz von den einzelnen Bodentypen innerhalb der Löß-, Sand- und Marschböden nur geringfügig unterscheiden, sind in der Abb.4 nur die mittleren Werte für Löß-, Sand- und Marschböden angegeben.

Die Austauschkapazität der Tonfraktion ($< 2 \mu$) beträgt bei den Lößböden 0,52, bei den Sandböden 0,53 und bei den Marschen 0,45 mval/g.

Die Austauschkapazität der Fraktion 2 - 6 μ schwankt zwischen den einzelnen Böden sehr stark. Der hohe AK-Wert bei den Marschen kann einmal auf eine ungenügende Dispergierung bei der Korngrößenanalyse zurückzuführen sein. Als Dispergierungsmittel wurde eine 0,4 n-Natriumpyrophosphatlösung verwendet. Er kann aber auch auf Vermiculit zurückzuführen sein, der vorwiegend in der Fraktion 2 - 6 μ vorkommt.

Die Ak-Werte der Fraktion 6 - 20 μ betragen bei den Lößböden 0,05 und bei den Marschböden 0,10 mval/g. Bei den Sandböden konnte bei dieser Fraktion rechnerische keine Austauschkapazität festgestellt werden.

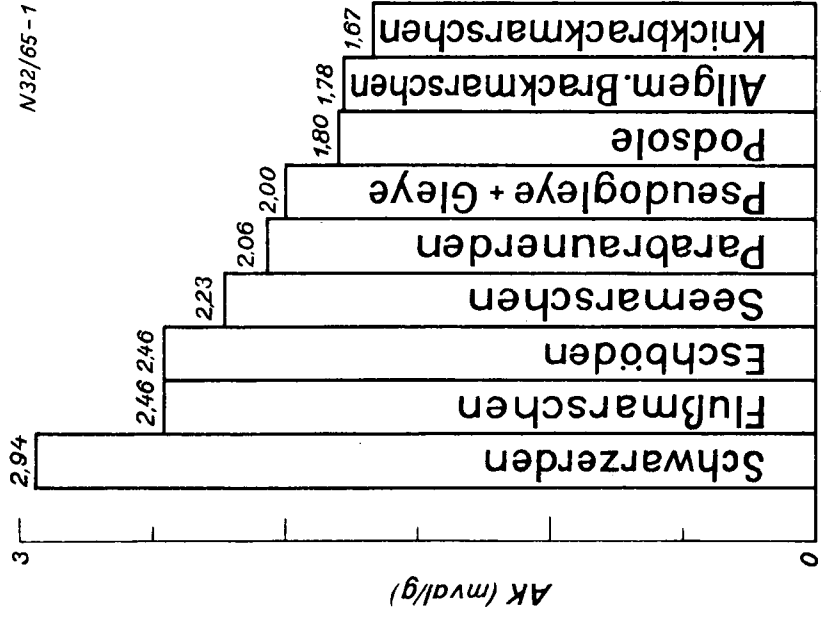
Zusammenfassung

1. Die mittlere Austauschkapazität der organischen Substanz von Oberböden schwankt zwischen 2,95 und 1,67 mval/g. Sie nimmt bei den verschiedenen Bodenarten in der folgenden Reihenfolge ab:
Schwarzerden > Flußmarschen = Eschböden > Seemarschen
Parabraunerden > Pseudogleye und Gleye > Podsole > allgemeine Brackmarschen > Knickbrackmarschen
2. Innerhalb der Marschen nimmt die Austauschkapazität der organischen Substanz mit steigendem pH des Bodens zu, mit steigendem Gehalt an organischer Substanz und Ton dagegen ab.
3. Die durchschnittliche Austauschkapazität der Tonfraktion liegt bei \sim 0,5 mval/g.
4. Innerhalb der Schlufffraktion nimmt mit zunehmender Korngröße die Austauschkapazität ab.

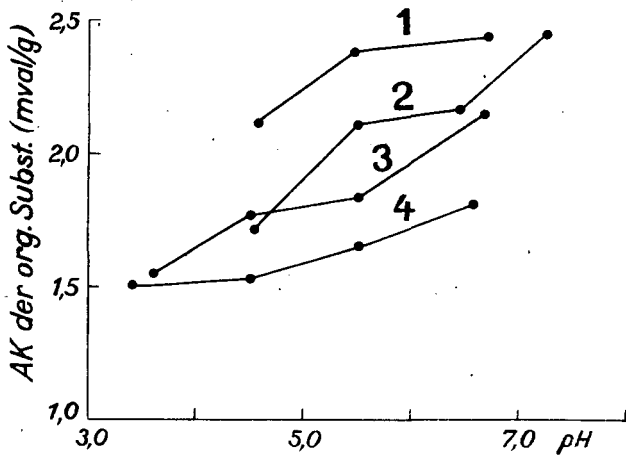
LITERATUR

1. Flaig, W. Söchtig, H. und Beutelspacher, H.:
Ländbauforschung Völkendorf 13, 13-20 (1963).
2. Hallsworth, E.G. and Wilkonson, G.K.:
J. Agr. Sci. 51, 1-3 (1958).
3. Heinonen, R.: Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 88, 49-59
(1960).
4. Linder, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler,
Mediziner und Ingenieure. 2. Aufl. Verlag Birk-
häuser, Basel (1951).

N 32/65-1



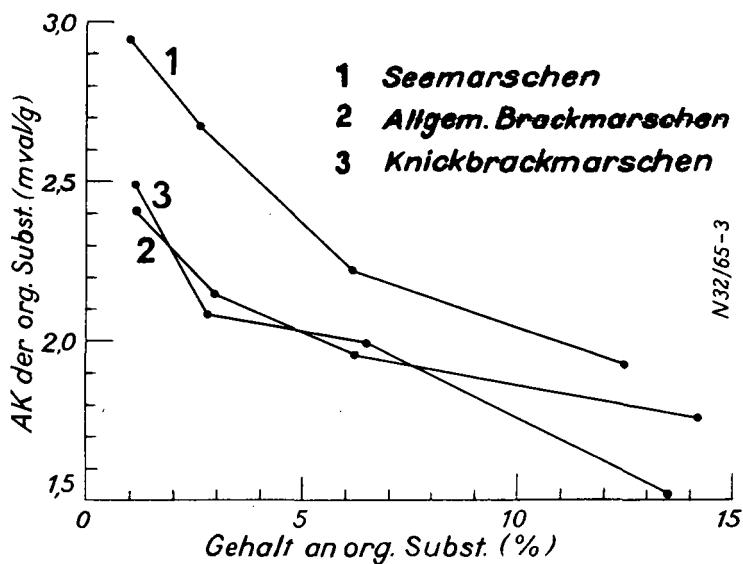
Mittlere Austauschkapazität der organischen Substanz verschiedener Oberböden



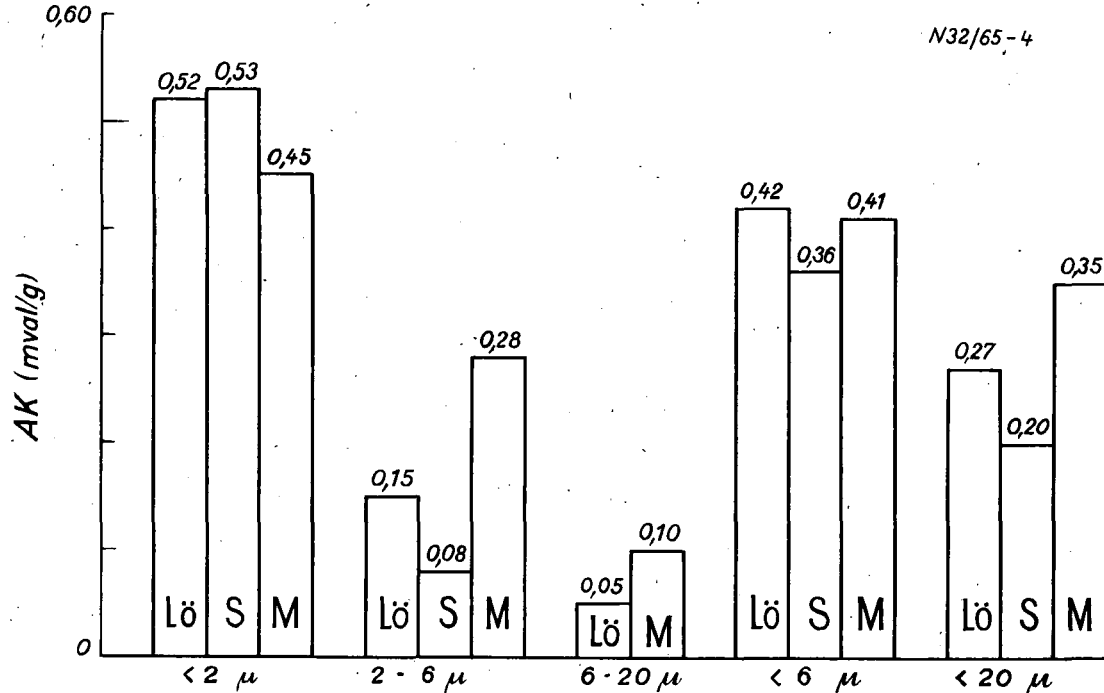
N 32/65-2

- 1 *Flußmarschen* 3 *Allgem. Brackmarschen*
 2 *Seemarschen* 4 *Knickbrackmarschen*

**Mittlere Austauschkapazität der organischen
 Substanz verschiedener Marschböden in
 Abhängigkeit vom pH.**



**Mittlere Austauschkapazität der organischen
 Substanz verschiedener Marschböden in
 Abhängigkeit vom Gehalt an organischer
 Substanz der Böden**



Lö - Lössböden

S - Sandböden

M - Marschböden

Mittlere Austauschkapazität verschiedener Fraktionen der
anorganischen Substanz von Böden

Die bodenkundliche Übersichtskarte für Raum- planungszwecke von G. Schaffer

Einleitung

Jede Raumordnung und Landesplanung muß von den natürlichen Gegebenheiten des Raumes ausgehen. Deshalb muß unter anderem auch der Boden als Standortfaktor schon am Beginn der Planung eine angemessene Berücksichtigung erfahren. Dies ist schon deshalb notwendig, um die oft entgegengesetzten Interessen am Boden von Seiten der Industrie, des Handels und Gewerbes sowie der Landwirtschaft zu koordinieren und damit eine organische Entwicklung des Raumes in planvoller Weise zu ermöglichen. Die neueste Gesetzgebung des Bundes kommt diesen Bestrebungen weitgehend entgegen. So heißt es in der Drucksache IV 3014 des Deutschen Bundestages gemäß eines Beschlusses vom 12.2. 1965 u.a. sinn- gemäß, daß die verschiedenen Planungsträger ihre Planungen und Maßnahmen aufeinander und untereinander abzustimmen haben. Wörtlich heißt es dort: " Das gilt vor allem für Maßnahmen zur Verbesserung der Agrarstruktur und die Bauleitplanung".

Eine Raumplanung wird in der Regel von einer Gruppe verschiedener Fachleute wie Geographen, Volkswirte, Soziologen, Städtebauer, Fachleute des Verkehrs, der Wirtschaft und Landwirtschaft, der Wasser- und Energiewirtschaft u.a.m. in enger Zusammenarbeit erstellt. Der Verfasser hatte als Mitglied der "Raumplanungsgemeinschaft Südostniedersachsen" mit ähnlicher personeller Zusammensetzung bei der Erstellung eines Raumplanungsgutachtens als Bodenkundler mitzuwirken. Dem Planerteam standen zwar großmaßstäbliche Bodenkarten, Schätzungskarten, geolog. Karten, Baugrundkarten u.a.m. zur Verfügung. Diese Karten sind jedoch für einen allgemeinen Überblick und eine umfassende Abschätzung aller Fakten nicht geeignet. Es ist nämlich nicht zugänglich, daß der Planer z.B. eine fast ausschließlich für Bodenkundler gedachte Bodenkarte mit oft

in spezifischer Fachsprache abgefaßter Legende benutzen muß. Ihm sollte die notwendige Auswertung nicht anheim gestellt sein, weil er damit oft auch fachlich überfordert ist, ein Umstand, auf den Mückenhausen (2) schon früher hingewiesen hat. Es muß deshalb das besondere Anliegen der angewandten Bodenkunde sein, besonders die Nutzung des Bodens als land- und forstwirtschaftlichen Standort und als Baugrund in der Karte und Karte entlegende herauszustellen. Eine bodenkundliche Übersichtskarte im Rahmen des oben gen. Gutachtens zu erarbeiten, die diese Vorteile der Übersichtlichkeit und größtmöglichen Information bietet, war deshalb u.a. die dem Verfasser gestellte Hauptaufgabe.

Einige Grundsatzbemerkungen zur bodenkundlichen Übersichtskarte

Der Boden hat unter dem Einfluß von Ausgangsgestein, Klima, Vegetation, Relief und Maßnahmen des Menschen eine bestimmte Entwicklung im Laufe der Zeit durchgemacht. Das Bodenprofil als senkrechter Abstieg bis zum unverwitterten Ausgangsmaterial zeigt den Einfluß dieser bodenbildenden Faktoren an, indem sich eine charakteristische Horizontierung einstellt. Man kann deshalb dieses heutige Erscheinungsbild als "summarischen Ausdruck" der natürlichen Faktoren bezeichnen und am Profil die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte des Bodens ablesen. Aufgrund der örtlich wechselnden Faktorenkonstellationen kommt es naturgemäß zu verschiedenen Bodenbildungen mit sehr unterschiedlichem Profilaufbau und Horizontausprägung. Jede bodenkundliche Übersichtskarte, die einen umfassenden Einblick in die Bodenverhältnisse vermitteln will, muß deshalb auf diesen grundlegenden Erkenntnissen fußen. Die bei einer Bodenaufnahme herauszustellenden Kartierungseinheiten werden deshalb neben dem geologischen Ausgangsmaterial und der Körnung, insbesondere die genetischen, d.h. entwicklungsgeschichtlichen Gegebenheiten, berücksichtigen. Hiermit sind dann auch jeder Kartierungseinheit zuzuordnende spezifische Bodeneigenschaften und Leistungspotenzen erfaßt. Deshalb können die bodenkundlichen Kartierungsergebnisse insbesondere von denjenigen Mitgliedern einer Raumplanungsgemeinschaft berücksichtigt werden, die sich mit dem Boden als land- oder forstwirtschaftlicher Nutzfläche oder zur Flächennutzung für Bauzwecke zu befassen haben. Jede andere Sparte der Raumplanung sollte jedoch -

wenn auch in sehr unterschiedlichem Maße - auf die natürlichen Bodeneigenschaften Bezug nehmen, weil sich dann eine zwar nicht meßbare, aber vom Menschen empfundene Harmonie von Natur und menschlicher Ansiedlung als künstliches Produkt einstellt.

Diese Grundsätze wurden bei der Erstellung der bodenkundlichen Übersichtskarte von Südost-Niedersachsen (1: 200 000) befolgt und in einer bislang noch sehr unkonventionellen Form verwirklicht (3). Ausgehend von den naturwissenschaftlich erfaßbaren Tatsachen wurde in der Kartenlegende eine Auswertung angeschossen, die den Ausgangspunkt für die Raumordnung, so z.B. auch für wirtschaftswissenschaftliche und wirtschaftspolitische Überlegungen darzustellen in der Lage ist. Außerdem kann die Karte für geographische und heimatkundliche Untersuchungen als Unterlage dienen.

Dem Bodenkundler, besonders demjenigen, der mehr der angewandten Seite dieser Fachdisziplin zuneigt, erwachsen hier verantwortungsvolle, aber auch dankbare Aufgaben, weil damit auch eine publikumswirksame Breitenwirkung seiner Arbeitsrichtung verbunden ist.

Bei der Erstellung der bodenkundlichen Übersichtskarte von Südost-Niedersachsen lag es nicht im Interesse der Auftraggeber, daß eine völlig neue Kartierung im Gelände vorgenommen wird. Deshalb wurden vorhandene Kartenunterlagen benutzt und für die speziellen Zwecke der Raumplanung modifiziert. Hierbei wurde auf die bodenkundlichen Aufnahmen, wie sie im bodenkundlichen Atlas von Niedersachsen (4) niedergelegt sind, zurückgegriffen. Ebenso dienten die Bodenkarten von Sellke (5) als weiteres Orientierungsmittel. Im Zuge der stürmischen Entwicklung, die die Bodensystematik in den letzten Jahrzehnten erfahren hat, sind jedoch die Bodenbezeichnungen in diesen Unterlagen völlig überholt und veraltet. Es mußten deshalb die neuen Bezeichnungen in Anlehnung an die Systematik von Mückenhausen (6) eingeführt werden. Dies erforderte eine intensive Geländearbeit, die eine "Übersetzung" der alten Bodenbezeichnungen zum Ziele hatte. Aus diesem Grund konnten deshalb lediglich nur die Grenzen der Kartierungseinheiten aus dem bodenkundlichen Atlas übernommen werden, mit der wichtigen Einschränkung, daß infolge einer Verkleinerung der hier zustellenden Karte auch eine Generalisierung und damit eine Zusammenlegung von ehemaligen Kartie-

rungseinheiten erfolgen mußte. Darüber hinaus war es notwendig, die frühere gesonderte Darstellung von Bodenart (Körnung), geologischem Ausgangsmaterial und Bodentyp fallen zu lassen. Durch diese Generalisierung sowie durch den Einbau der Bodenart und des Ausgangsgesteins in eine einzige Kartierungseinheit, dem Bodentyp neuer Prägung, war es möglich, von den früheren 50 Kartierungseinheiten im bodenkundlichen Atlas von Niedersachsen (nur Bodentyp; ohne die weiteren 56 Bezeichnungen für Bodenart und Ausgangsmaterial hinzugerechnet) auf 20 Einheiten zu kommen. Diese Vereinfachung bzw. das alleinige Herausstellen des Bodentyps als Kartierungseinheit ist gerechtfertigt, weil damit weitgehend die Bodenart und das bodenbildende Ausgangsgestein miterfaßt werden. Eine gesonderte Darstellung dieser Fakten würde eine Unübersichtlichkeit im Kartenbild nach sich ziehen, die insbesondere im Hinblick auf den Zweck, den diese Karte erfüllen soll, als störend betrachtet werden muß.

Grundsätzliche Bemerkungen zur Legende der bodenkundlichen Übersichtskarte

Um den Kartenbenutzer eine schnelle und ausreichende Orientierung über die Kartierungseinheiten, d.h. über die Bodentypen und ihre Eigenschaften zu ermöglichen, ohne daß ein besonderer Erläuterungstext zu Rate gezogen werden muß, ist die Kartenlegende sehr differenziert und breit anzulegen.

Sie soll neben den spezifischen bodensystematischen Angaben eine allgemein verständlich gehaltene Kennzeichnung der Böden, Angaben über die landwirtschaftliche Nutzungseignung mit Bewertung und Angaben über die Baugrundeignung der Böden enthalten.

Da die bodenkundliche Übersichtskarte nicht ausschließlich für Raumplanungszwecke Verwendung finden soll, sondern auch einem weiteren Kreis von Fachinteressenten am Boden als Unterlage und Orientierungsmittel dienen soll, muß - soweit als möglich - eine systematische Ordnung der Böden eingehalten werden. Hiermit kann nebenbei einem didaktischen Anliegen Rechnung getragen werden.

Im folgenden sollen nun einige Bemerkungen zu der Legende der bodenkundlichen Übersichtskarte von Südost-Niedersachsen gemacht werden.

Diese Legende weist nämlich einige Besonderheiten auf, die in den üblichen Kartenlegenden nicht gebräuchlich sind.

Die Kartenlegende beginnt mit dem sog. Leittyp. Es ist der jeweilige Bodentyp, der innerhalb der diese Flächen kennzeichnenden Kartierungseinheit den größten Flächenanteil einnimmt. Da jedoch innerhalb einer derartigen Fläche durch einen unterschiedlichen Einfluß der bodenbildenden Faktoren auch vom Leittyp abweichende Bodenbildungen möglich sind, wurde in einer besonderen Spalte der Kartenlegende die Vergesellschaftung angegeben. Damit wurde - wenn auch nicht bis zur letzten Vollständigkeit - die ungefähre Schwankungsbreite von niederen Kategorien angedeutet, die in der jeweiligen Fläche einer Kartierungseinheit vorkommen können.

Eine Spalte der Kartenlegende ist der landwirtschaftlichen Nutzungseignung und Bewertung gewidmet. Die Aussagen über die Nutzungseignung als Acker- oder Grünland basieren auf der Einschätzung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit. Die zahlenmäßige Angabe der Wertspannen der Boden- bzw. Grünlandzahlen konkretisieren und ergänzen diese Hinweise.

Die Angaben über die Baugrundeignung der Böden erforderte eine weitere Spalte, wobei noch eine Unterteilung in allgemeine Beurteilung und Beurteilung der Wasserverhältnisse zweckmäßig erschien. Gerade die Wasserverhältnisse spielen bei jedem Bauvorhaben eine ausschlaggebende Rolle für die Wahl der Konstruktion und der Gründung.

Die allgemeine Baugrundbeurteilung sollte nur einen orientierenden Hinweis auf den Baugrund geben, wobei folgende Abstufungen gemacht wurden: günstiger, mittlerer, mäßiger, ungünstiger und sehr ungünstiger Baugrund. Diese summarische Aussage umfaßt die Belastbarkeit, Standfestigkeit, die allgemeinen Wasserverhältnisse sowie die Bearbeitbarkeit und zielt im wesentlichen auf die Einschätzung der Baukosten bei einer Benutzung des Bodens als Baugrund ab. Der Raumordner soll nicht nur wertvolle Kulturböden schonen, sondern auch Einfluß auf die Auswahl zweckmäßiger Böden für die Bebauung nehmen. Deshalb ist eine zusätzliche Angabe über die ungefähre Belastbarkeit des Bodens notwendig. Wenn auch in vielen Fällen anderweitige Faktoren für eine Standortwahl ent-

scheidend sein können, so wird es dennoch zunächst im Bestreben eines Planers liegen, bei entsprechender Auswahlmöglichkeit diejenigen Böden zu bevorzugen, die eine entsprechende Belastung ohne besondere Gründungsmaßnahmen gestatten. Da eine Belastbarkeitsangaben nur für völlig gleichartig ausgebildete Böden möglich ist, diese in der Natur jedoch selten vorkommen, konnten für jede Kartierungseinheit nur ungefähre Grenzwerte angegeben werden, die außerdem nur grob-orientierenden Charakter haben können und auf keinen Fall ein Baugrundgutachten überflüssig machen. Die Kenntnisse über die jeweiligen geologischen Verhältnisse bei den einzelnen Kartierungseinheiten erlaubten es außerdem, die Belastbarkeit für eine Gründung auf festen Gesteinen bzw. unverfestigtem Gesteinsmaterial oder Solum (Verwitterungsdecke) gesondert anzugeben.

Ungeachtet dessen, daß in der allgemeinen Baugrundbeurteilung schon die Wasserverhältnisse mitberücksichtigt wurden, erschien es zweckmäßig, in einer gesonderten Teilspalte nochmals speziell auf diese Verhältnisse hinzuweisen. Hierbei wurde sowohl auf den Vernässerungsgrad und den Grundwasserstand als auch auf besondere Gründungsmaßnahmen, auf die Rutschungsgefahr und Frostgefährdung aufmerksam gemacht. Auch diese Angaben können nur als erinnernde Hinweise aufgefaßt werden, die eine Beachtung verdienen.

Zusammenfassung

1. Es wurde die Notwendigkeit für eine bodenkundliche Übersichtskarte zum Zwecke der Raumplanung aufgezeigt.
2. Diese bodenkundliche Übersichtskarte muß in einfacher, aber umfassender Form die wichtigsten Bodeneigenschaften und Leistungspotenzen aufzeigen, so daß der Benutzer der Karte in die Lage versetzt wird, deren Aussagen unmittelbar in die planerischen Überlegungen einbeziehen zu können.
3. Am Beispiel der bodenkundlichen Übersichtskarte von Südost-Niedersachsen wurde die Gestaltungsmöglichkeit einer solchen Karte und ihre umfangreiche Legende erläutert.

Literatur

1. Deutscher Bundestag, 4. Wahlperiode, Drucksache IV/ 3014,
Alleinvertreib: Dr. Hans Heger, 532 Bad Godes-
berg, Postfach 821
2. Mückenhausen, E. und E.H. Müller:
Geologisch-bodenkundliche Kartierung des
Stadtkreises Bottrop i.W. für Zwecke der Stadt-
planung.
Geol. Jahrbuch 66, 1951
3. Schaffer, G. und H.J. Altemüller:
Bodenkundliche Übersichtskarte von Südost-
Niedersachsen, 1 : 200000, Druck: Inst. f.
angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M.
Vertrieb: Dr. G. Schaffer, 33 Braunschweig,
Pockelsstraße 4
4. Bodenkundlicher Atlas von Niedersachsen,
Veröffentl.d.Wirtschaftswiss.Ges.z.Studium
Niedersachsen e.V.
Teil A und B, Oldenburg i.O., 1937-1940
5. Sellke, M.:
Bodenkundliche Karte von Südniedersachsen,
Veröffentl.d.Wirtschaftswiss.Ges.z.Studium Nie-
dersachsens e.V., Reihe C, Kartenwerk Nr. 12,
1934
6. Mückenhausen, E.:
Entstehung, Eigenschaften und Systematik der
Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG-
Verlag, Frankfurt a.M., 1962



Bericht über die Vorexkursion zum 8. Internationalen Bodenkundlichen Kongress durch Rußland

J. Breburda ⁺⁾

Die Vorexkursion zum 8. Internationalen Bodenkundlichen Kongreß durch Rußland hat in sehr eindrucksvoller Weise die Möglichkeit geboten, einen größeren Einblick in das großflächige Nebeneinander und die kontinuierlichen Übergänge der Bodentypen der Sowjetunion zu erhalten.

Die Reiseroute führte von Moskau über Tula - das ehemalige Landgut Tolstojs Jasnaja Poljana - Orel - Kursk - Char'kov - Zaporoz'je - Melitopol - Novaja Kachovka nach Cherson. In Moskau wurde die permanente Ausstellung der volkswirtschaftlichen Errungenschaften der Sowjetunion, das Dokučajev-Institut, das Viljams-Museum, die Lomonosov-Universität und der Kreml besichtigt -

Das Gebiet der Sowjetunion umfaßt Klimate vom feucht-kalten arktischen bis zum feucht-warmen subtropischen Bereich südlich des Kaukasus einerseits und bis zum semiarid-warmen Bereich Innerasiens andererseits. Von Nord nach Süd reihen sich folgende Bodentypen, unter Einschaltung von Übergangstypen, die als Subtypen gelten, aneinander: Tundraböden, insbesondere Tundragleye, d.h. oberflächenvergleyte Tundraböden, Podsole aus sandigem und sandig-lehmigem Substrat, Der-no-Podsole, Graue Waldböden, Schwarzerden, kastanienfarbene Böden, Sieroseme, Buroseme und Salzböden. Im subtropischen Klima kommen Gelberden und Roterden hinzu. Im unteren und mittleren Höhengürtel der Gebirge herrschen Gebirgssteppenböden, wie Gebirgs-Tschernosjomböden und eigenartige Braune Gebirgsböden unter trockenen Gebüschern, sog. Zimtfarbene Böden, vor, die den Böden der Trockengebiete des Mittelmeerraumes sehr ähnlich sind. Höhere vertikale Bodentypenzonen bilden Braune Gebirgswaldböden und Wiesengebirgsböden.

+) Institut für kontinentale Agrar- und Wirtschaftsforschung, Sektion Bodenkunde und Bodenerhaltung, der Justus Liebig-Universität Gießen, Schloßgasse 7

Rund 100 verschiedene Bodentypen sind gegenwärtig im russischen Klassifikationssystem aufgestellt und abgegrenzt worden. Der Bodentyp umfaßt jedoch nicht alle individuellen Eigenschaften konkreter Böden. Hierfür werden Subtypen ausgeschieden. Im Subtyp können Besonderheiten, z.B. durch die Eigenschaften der Gesteine (Karbonatgehalt, Reichtum an primären Mineralen) oder Relikteigenschaften (Reliktisolodierung, -solonzierung, -podsolierung) auftreten. Sie finden ihren Ausdruck in der Gattung des Bodens. Ferner werden Entwicklungsstufen des Typs und Subtyps unterschieden, die sich z.B. durch schwache, mittlere und starke Entwicklung des Podsolierungsprozesses, Profilmächtigkeit, Ansammlung von organischer Substanz u.a. manifestieren. Die kleinste Einheit bildet die Art zur Kennzeichnung der mechanischen Zusammensetzung.

Verschiedene, aber in bestimmten Merkmalen noch übereinstimmende Bodentypen, werden zu höheren Kategorien zusammengefaßt und kennzeichnen in ihrer geographischen Verbreitung die grundlegenden bioklimatischen Zonen. In jeder solchen Zone existieren besondere Gesellschaften von Typen, von denen einer die weiteste Verbreitung in der Zone hat und die Bezeichnung "zonaler Typ" trägt, die anderen begleitenden Typen werden als intrazonale Typen bezeichnet (z.B. hydromorphe Typen oder Typen auf besonderen Gesteinen). Außer einer Breitenzonalität unterscheidet man noch eine vertikale Zonalität. Innerhalb dieser Zonen werden Subzonen und örtliche Gruppen unterschieden. Neuerdings unterscheidet man in der Sowjetunion auch eine meridionale Zonalität. Bereiche mit stärksten Unterschieden der bioklimatischen Verhältnisse bilden Bodengebiete. Es gibt ozeanische und kontinentale Bodengebiete. Für jedes Gebiet ist eine Gesellschaft von ozeanischen und kontinentalen Zonen mit den entsprechenden Bodentypen und einer bestimmten Ausprägung der Zonen kennzeichnend. Innerhalb der Gebiete werden engere meridionale Sektoren, die Fazies unterschieden. Ein Teil der Fazies innerhalb der Zone heißt Provinz und innerhalb der Subzone Subprovinz.

Die Böden der besuchten Gebiete

In der Umgebung von Moskau wurde ein Derno-Podsol vorgeführt. Die Derno- oder Rasenpodsole sind die verbreitetste Bodenbildung der Mischwaldzone. Sie unterscheiden sich vom eigentlichen Podsol der

Taiga unter Nadelwald mit Grünmoos und Halbsträuchern und von den Torf-Podsol-Gleyböden unter versumpften Nadelwald der Tundra, d.h. von den oberflächenvergleyten Tundraböden, vor allem dadurch, daß sie einen deutlich ausgeprägten Humusakkumulationshorizont A_1 haben, der dem eigentlichen Podsol fehlt. Es wird angenommen, daß die Derno-Podsole durch den gleichzeitigen Ablauf des Schwarzerde- bzw. Rasenprozesses mit Bildung einer mächtigen humosen Schicht einerseits und des Podsolierungsprozesses andererseits gebildet wurden. Das heißt, die fällbaren Humin- und Fulvosäurefraktionen werden in der oberen Schicht ausgeflockt, wodurch ein Humusanreicherungshorizont entsteht, die freien Fulvosäuren werden in tiefere Schichten ausgewaschen und leiten dort den Podsolprozeß ein. Der russische Bodenkundler Fridland gelangte zu der Auffassung, daß die Rasenpodsole durch gemeinsame Wirkung von Tondurchschlammung und Podsolierung entstanden sind, nach unserer Nomenklatur handelt es sich um Pseudogleye.

Ein in der russischen Waldsteppe weit verbreiteter und für die landwirtschaftliche Nutzung wichtiger Bodentyp ist der Graue Waldboden. Unter Waldsteppe wird der Übergangsstreifen zwischen Mischwaldzone und Steppezone verstanden.

Über die Bodenbildung der Grauen Waldböden herrschen auch heute noch verschiedene Ansichten. Die alten Theorien sprechen von einer Degradation von Steppenböden unter Waldeinfluß, andere sehen die Grauen Waldböden als eine Progradation von podsolierten Böden an. Der B-Horizont der Grauen Waldböden enthält im allgemeinen zwei bis dreimal soviel Ton wie der A_1 - und A_2 -Horizont. Dieses Tonmaximum im B-Horizont ist, wie auch einige russische Untersuchungen aus allerletzter Zeit ergeben haben, das Ergebnis einer Tondurchspülung einschließlich Humuswanderung durch die abwärts gerichtete Wasserbewegung und einer Tonausscheidung an den Stellen, wo durch die Wurzelwirkung das Sickerwasser verbraucht ist. Aus den oberen Horizonten werden dadurch die Tonhüllen der Bodenteilchen fortgespült und es kommt zu einer oberflächlichen Bestreuung mit weißlichem Schluff. Im B-Horizont bilden sich filmartige Hüllen aus eingewaschenen orientierten Tonteilchen. Außerdem können jedoch auch Flocken von nicht orientierten Tonteilchen, d.h. von am Ort durch Verwitterung gebildeten Tonteilchen festgestellt werden. Diese und andere Merkmale der Grauen Waldböden, z.B. die Sorptionsverhältnisse

und das Gefüge, weisen auf eine gewisse genetische Verwandtschaft zu unseren Parabraunerden hin. Eine Parabraunerde ist bei uns aus Braunerde entstanden. Die Grauen Waldböden sind aber eine besondere Form des sols lessivé aus Schwarzerde. Demgegenüber ist die Mehrzahl der russischen Bodenkundler der Ansicht, daß das Tonmaximum im Unterboden der Grauen Waldböden nur zu einem geringfügigen Teil durch Illuviation von fertigen Tonmineralen, überwiegend aber durch eine Tonsynthese, d.h. eine Tonneubildung aus Lösungen, die aus den oberen ausgelaugten Schichten zuströmten, oder aber durch Verwitterung von primären Mineralen am Ort, bedingt wird.

Einen ebenso interessanten Bodentyp stellt die Schwarzerde dar. Als Hauptkriterium für die Unterteilung der russischen Schwarzerden in Subtypen dient die Humusanreicherung. Bei der zentralen Provinz werden folgende Subtypen unterschieden: Podsolige, ausgelaugte, typische, gewöhnliche und südliche Schwarzerde.

Die typische Schwarzerde besitzt den höchsten Humusgehalt, ist nicht ausgelaugt, besitzt keine Anzeichen von Solonzierung bzw. Solodierung und zeigt im Humushorizont unter natürlicher Steppe eine feinkrümelige Struktur und keine deutliche Verdichtung im Übergangshorizont. Die Karbonate befinden sich in Form eines Karbonathorizonts im unteren Teil des Humushorizonts.

Die südliche Schwarzerde hat einen geringeren Humusgehalt und die Tendenz zu schwacher Solonzierung, d.h. einer starken Verdichtung, Blockig- und Scholligkeit des Übergangshorizonts bei einer adsorbierten Natriummenge von 5 % vom T-Wert. In 150 - 250 cm Tiefe befindet sich der Gipshorizont. Auf schweren Böden reichen die Karbonate mitunter bis zur Oberfläche infolge geringer Auslaugung des ursprünglichen Karbonatgehalts.

Bei den jungfräulichen Böden schuf die Gegenwart des Schwarzerdehumus in inniger Vermengung mit dem tonreichen mineralischen Bodenanteil eine lockere Aggregatstruktur, durch die sich die russische Schwarzerde besonders auszeichnet. Durch die unzulängliche Pflege der Schwarzerden nach ihrem Umbruch, die unangemessene Fruchtfolge durch starken Getreidebau, die unzureichende Bearbeitung und

Stallmistdüngung trat aber eine grundlegende Verschlechterung ihres natürlichen Strukturzustandes mit zunehmender Zerstäubung, Verdichtung und Verkrustung ein. Es hat sich gezeigt, daß bei Zerstörung von Schwarzerdeaggregaten, die durch stabile Humine verkittet sind, keine Aggregatneubildung eintritt. Hierzu ist die Zufuhr frischer organischer Substanz erforderlich.

Insbesondere in den Lößgebieten des Südens der europäischen Sowjetunion, die bevorzugte Ackerflächen darstellen, mit ihrem kontinentalen Klima und häufigen Starkergen, können entsprechend den Geländeverhältnissen erhebliche Veränderungen der Bodenoberfläche durch die Bodenerosion auftreten. Die flachwelligen Hochflächen des südrussischen Raumes sind von Erosionsschluchten stark zerschnitten. Die schluchtartigen jungen Gebilde nennt man Ovragi, die langen Schluchten mit breiter Sohle werden Balki genannt. In extremen Fällen kann ein zunächst ebenes Gelände in ein System steiler Rücken und tiefer Gräben zerschnitten werden. Die landwirtschaftliche Nutzung wird dadurch immer mehr erschwert und schließlich sinkt der landwirtschaftliche Wert des Landes auf Null. Die durch Wassererosion geschädigten Flächen werden im Gesamtgebiet der Sowjetunion in einer sowjetischen Veröffentlichung aus dem Jahre 1963 mit 200 Millionen ha beziffert. Hiervon entfallen 7 Millionen ha (dies entspricht der Größe Bayerns) auf Ovragi und vollständig erodierte Böden, 40 Millionen ha auf sehr stark erodierte Böden, 53 Millionen ha auf mäßig und 100 Millionen ha auf schwach erodierte Böden.

Askanija Nova liegt im Bereich der kastanienfarbenen Böden, die auf einer mächtigen Lößdecke entstanden sind. Diese gehen nach Norden in südliche Schwarzerde über, in Richtung nach Süden treten mehr und mehr Salzböden auf. Vom Tschernosjom unterscheidet sich der kastanienfarbene Boden durch seine kastanienartige Färbung durch das geringere Ausmaß des maximal erreichbaren Humusgehaltes, die geringere Intensität des Bodenlebens und den stärker xerophytischen Charakter der Pflanzendecke. Nach Tjurin nimmt der relative Huminsäuregehalt im Humus von Schwarzerden gegen die kastanienbraunen Böden hin ab, der relative Gehalt an Fulvosäuren nimmt gegen Süden hin zu. Auch der Humingehalt erfährt eine Zunahme. Die Zunahme der Humingruppe und die Abnahme des Humus- und Huminsäuregehaltes von der Schwarzerde nach dem kastanienfarbenen Boden hin bedingen Strukturverschlechterung.

Im Gegensatz zu den dunkelkastanienfarbenen Böden im Süden der ukrainischen Steppe, im unteren Wolgagebiet und im östlichen Vorkaukasus sind im nördlichen Kazachstan, also im Neulandgebiet, solche mit deutslichem Solonezcharakter verbreitet mit 8-15 % Na^+ vom T-Wert. Ihr B-Horizont ist stark verdichtet, bei Kultivierung ist Tieflockung erforderlich.

In zahlreichen flachen Senken der südlichen Ukraine findet man im Sommer trotz der Trockenheit des Klimas große, mitunter tausende Hektar bedeckende Wassertümpel, die sog. Pods oder Steppenpfannen mit Solodi-Böden. Die Entstehung dieser Pods ist nicht einheitlich. Sie werden als Reste alter Flußtäler, als von Löß überdecktes hydrographisches Netz der Risszeit, als alte Meeresbuchten oder als durch Lössuffosion, Deflation, Setzung entstanden, angesehen. Die in den Pods verbreiteten solodierten Böden entstehen durch Degradierung solonzierter Böden unter dem Einfluß von abwechselnd ansteigendem und abfallendem, schwach mineralisiertem und alkalisch reagierendem Grundwasser. Durchschnittlich einmal in zehn Jahren werden die Pods drei bis vier Monate von Wasser überstaut. Es kommt zur Auslaugung des in alkalischer Lösung peptisiereten Humus und einer Zerstörung des mineralischen Bodenanteils. Die N-Ionen im Sorptionskomplex werden zunehmend durch H-Ionen ersetzt. Das freigewordene SiO_2 reichert sich im A-Horizont als amorphe Kieselsäure an und überzieht als weißliche Schicht die Säulen des im vorhergegangenen Stadium solonzierten Horizonts. Diese Kieselsäureanreicherung im Humushorizont wird auch durch biologische Vorgänge erklärt. Hiernach handelt es sich um eine Ansammlung von biogenen Formen amorpher Kieselsäure, d.h. um Phytolithen der Gräser trotz abwärts gerichteter Migration. Während Solonezböden wegen ihres iluvialen, verdichteten, wasserundurchlässigen, säulig bis prismatisch bereits in 10 - 20 cm Tiefe ausgebildeten B-Horizonts als pflanzenfeindlich anzusehen sind - ihr Wasservorrat befindet sich lediglich im wenige Zentimeter mächtigen eluvialen strukturlosen aschfarbigen Humushorizont - sind Solodiböden vor allem für den Anbau von Sudangras, aber auch für Reisbau geeignet, weil ihr Salzgehalt mäßig ist.

In Askanija-Nova, das im Jahre 1898 von dem deutschen Kolonisten Falz-Fein als Tierpark mit Waldanpflanzungen und künstlichen Teichen mitten in der südukrainischen Trockensteppe bei 340-360 mm Jahresniederschlägen angelegt und mit zahlreichen Tieren aus aller Welt bevölkert wurde, befindet sich heute auf einer Fläche von 33 000 ha das ukrainische Ivanov-Forschungsinstitut für Tierzucht der Steppengebiete. Man befaßt sich dort mit Züchtung, Akklimatisierung und Domestizierung von Schalenwild, Straussen, Federwild und Ziervögeln. Man befaßt sich mit Wiederaufzuchtversuchen des Wisents durch Kreuzungen mit amerikanischem Bison, es werden Watussirinder, Zebus, Büffel u.a. gehalten. Für uns Bodenkundler interessant war vor allem die dort noch auf großen Flächen erhaltene gebliebene natürliche Steppe.

Von Cherson aus fuhren wir mit einem Schwarzmeerdampfer nach Konstanza, bzw. Mamaia, wo ein zweitägiger Badeaufenthalt eingeschaltet wurde, und von dort mit einem Sonderzug zum 8. Internationalen Bodenkundlichen Kongress nach Bukarest.