

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

22

Bodenwasser-Haushalt
der Löss-Schwarzerde/Griserde-Landschaft
bei Hildesheim

1973

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung

Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Rabatt)

Selbstkostenpreis

DM

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

22

Bodenwasser-Haushalt
der Löss-Schwarzerde/Griserde-Landschaft
bei Hildesheim

1973

I N H A L T

Sammelthema:

Der Wasser-Haushalt von Feucht-Schwarzerde- und Griserde-Landschaften im niedersächsischen LÖB-Vorland der mitteldeutschen Schwelle.

- I. Hydrologische Abgrenzung repräsentativer Landschafts-Ausschnitte, Stratigraphie und Hydrorelief als Faktoren der Boden-Vergesellschaftung, LÖB-Schwarzerde/Griserde-Börde bei Hildesheim. 1
- II. Poren-Raum und -Verteilung in Beziehung zum Bodentyp als Grundlage für die Kalkulation der Speicherkapazität der Bodendecke in der Landschaft. 47
- III. Die Hydrobilanz des Feuchtschwarzerde-Repräsentativgebietes Borsum bei Hildesheim. 83
- IV. Wasserhaushalt der Bodentypen und Vegetations-Standorte in Beziehung zur Bodengenese. 137
- V. Lateraler Wasser-Transport in der Bodendecke als potentieller Faktor der Landschafts-Stoffbilanz (Messungen mit Tritium-markiertem Wasser). 197

Bartels, G., Beese, F., und Meyer, B.:

**DER WASSER-HAUSHALT VON FEUCHT-
SCHWARZERDE - UND GRISERDE-LAND-
SCHAFTEN IM NIEDERSÄCHSISCHEN LÖSS-
VORLAND DER MITTELDEUTSCHEN
SCHWELLE**

I

HYDROLOGISCHE ABGRENZUNG
REPRÄSENTATIVER LANDSCHAFTS-
AUSSCHNITTE,

STRATIGRAPHIE UND HYDRORELIEF
ALS FAKTOREN DER BODEN-VERGE-
SELLSCHAFTUNG,

LÖSS-SCHWARZERDE/GRISERDE-BÜRDE
BEI HILDESHEIM

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 22, 1-46
(1973)**

G L I E D E R U N G

| | Seite |
|---|-------|
| 1 <u>FRAGESTELLUNG UND AUSWAHL - KRITERIEN</u> | 3 |
| 1.1 <u>MORPHOLOGISCH-STRATIGRAPHISCHER LANDSCHAFTSAUFBAU</u> | 4 |
| 1.1.1 <u>Die Feucht-Schwarzerde-Landschaft (A)</u> | 5 |
| 1.1.2 <u>Die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft (B)</u> | 6 |
| 1.2 <u>AUSWAHLKRITERIEN</u> | 7 |
| 2 <u>DER FEUCHT-SCHWARZERDE-LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT BEI BORSUM - HÖNNERSUM (A)</u> | 8 |
| 2.1 <u>SEDIMENT- UND PEDOSTRATIGRAPHISCHER AUFBAU, HYDROLOGISCHE FOLGERUNGEN</u> | 11 |
| 2.2 <u>MESS-STRECKEN UND QUERPROFILE</u> | 22 |
| 2.3 <u>GELÄNDE-QUERSCHNITT-PROFILE</u> | 22 |
| 3 <u>DER FEUCHT-SCHWARZERDE/GRISERDE-LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT BEI ALGERMISSEN</u> | 31 |
| 4 <u>DAS PEDOHYDROLOGISCHE UNTERSCHIEDUNGS-MERKMAL</u> | 42 |
| 5 <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | 43 |
| 6 <u>LITERATUR-UND KARTEN-VERZEICHNIS</u> | 45 |

1 FRAGESTELLUNG UND AUSWAHL -
KRITERIEN

Das Hydroregime des obersten Mantels der Erdkruste ist einer der Faktoren für die typologische Differenzierung der Boden-Decke. Im Gegensatz zu anderen "pedogenetischen Faktoren" ist aber die Charakterisierung des spezifischen Hydroregimes eines bestimmten Bodens mittels einfacher Parameter nicht durchzuführen. Sie setzt eine nach Zahl der anzulegenden Maßstäbe und nach Länge der Beobachtungs- und Meß-Dauer umfangreiche Methodik voraus, die sich im wesentlichen erst in den letzten beiden Jahrzehnten entwickelt hat. Deshalb ist — abgesehen von noch wenigen Modell-Beispielen — die pedohydrologische Deutung der meisten Boden-Typen und der morphologischen Ergebnisse von boden-genetischen Teil-Prozessen ein noch weitgehend ungeklärtes Problem.

Dessen Lösung erscheint um so dringlicher, als umgekehrt die heutige landschafts-hydrologische Forschung ihrerseits aus der Verbreitung und der Vergesellschaftung bestimmter Boden-Typen und pedogenetisch-morphologischer Boden-Phänomene Rückschlüsse und Parameter für die quantitative Erfassung des Wasser-Haushaltes ableiten muß.

Im Rahmen dieser allgemeinen Fragestellung befaßt sich die vorliegende Arbeit mit der pedohydrologischen Charakterisierung zweier typischer Boden-Klein- oder Teil-Landschaften. Diese sind in dem der deutschen Mittelgebirgs-Schwelle vorgelagerten Löß-Gürtel zwischen Weser und Elbe relativ häufig und erlangen im Raum Hannover-Hildesheim-Braunschweig einen beherrschenden Anteil an der Löß-Börde-Landschaft. Eine Karten-Übersicht wird am Schluß dieser Arbeit gegeben.

1.1 MORPHOLOGISCH-STRATIGRAPHISCHER LANDSCHAFTS- AUFBAU

Der gemeinsame morphologisch-stratigraphische Grund-Aufbau dieser Boden-Teillandschafts-Typen kann anhand der hier untersuchten Beispiele wie folgt charakterisiert werden:

Das Oberflächen-Relief ist durch flache Rücken und breite Senken gekennzeichnet. Bei einer Distanz von 700 - 1000 m zwischen Tal-Boden und Kamm-Linie der Höhenrücken beträgt die Höhen-Differenz nur ca. 5 - 8 m. Die Neigung der Hang-Flanken liegt somit unter 1 %. Das Oberflächen-Relief ist weitgehend dem Untergrunds-Relief des über große Flächen verbreiteten Unterkreide-Tons angepaßt, der mehrere 100 m Mächtigkeit besitzt und als wasser-undurchlässige "Sohle" der Landschaft fungiert.

Über dieser welligen Sohle liegen in meist nur geringer Mächtigkeit pleistozäne Sedimente. Das Relief ist von einer fast geschlossenen, in der Regel 100 bis 150 cm starken Löß-Decke überzogen, die in Senken-Lage stellenweise bis zu 220 cm Mächtigkeit erlangen kann. Der überwiegende Teil dieser kalkhaltigen Löß-Decke hat jung-würmzeitliches Alter.

Entscheidenden Einfluß auf die Landschafts-Hydrologie haben die geringmächtigen, meist nur wenige Dezimeter starken, glazigen, glazifluvialen und periglazialen Ab- und Umlagerungs-Produkte, die lokal zwischen den Kreide-Ton und die Löß-Decke eingeschaltet sind. Dabei handelt es sich um unregelmäßig in die heutige Landschaft eingebettete, d.h. in allen Relief-Positionen auftretende Rinnen-Füllungen und Decken-Reste, die nur lokale Zusammenhänge aufweisen. Als oberflächennahe unterirdische Drän-Rinnen können sie jedoch entscheidenden Einfluß auf die Boden- und Grundwasser-Dynamik der Landschaft erlangen. Neben Resten der Drenthe-Grundmoräne handelt es sich um glazifluviale, periglazial-solifluidale und fluviale Umlagerungs- und Auswaschungs-Produkte dieser Moränen, die aus Kiesen und Sanden bestehen und häufig in löß-überdeckten Rinnen des

tonigen Untergrundes angeordnet sind. Altersmäßig gehören sie der Saale-, Warthe- und Weichsel(Würm)-Vereisung an. Es treten äolische Rotsande hinzu, die während der Initial-Phase der letzten kaltzeitlichen Löß-Anwehungs-Periode in geringer Mächtigkeit abgesetzt wurden und das präsedimentär im Ton angelegte Eiskeil-Netz sowie flache Entwässerungs-Rinnen ausfüllen und zum Teil planieren.

Große Flächen-Anteile dieses Boden-Teillandschafts-Typs sind jedoch völlig frei von solchen Zwischen-Sedimenten und werden lediglich durch die Sediment-Folge Kreide-Ton/Lößdecke charakterisiert. Offenbar hat der wasser-undurchlässige Untergrund die solifluidale Ab- und Ausräumung älterer pleistozäner Sediment-Decken während der weichselzeitlichen feucht-kalten Periglazial-Phasen in dieser Landschaft stark begünstigt.

Bodentypologisch lassen sich bei dieser stratigraphischen Anordnung der Schichten im wesentlichen zwei Teillandschafts-Typen unterscheiden: Die "Feucht-Schwarzerde-Landschaft" und die "Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft".

1.1.1 Die Feucht-Schwarzerde-Landschaft (A)

Sie ist oberflächlich gesehen durch einen geschlossenen Mantel von ca. 50 - 60 - 80 cm mächtigen "Schwarzerde"-A-Horizonten gekennzeichnet, der aus der kalkhaltigen Löß-Decke hervorgegangen ist. Der allgemeine Begriff "Schwarzerde" umfaßt hier folgende Typ-Differenzierung: 1) Die "feuchten" Schwarzerden in Plateau- und Hanglage, die im kalkhaltigen CS-Horizont nur eine schwache Marmorierung aufweisen und deren A-Horizont in der Regel 40 bis 60 cm tief, d.h. bis zur Grenze A/C, entkalkt ist. Innerhalb des A-Horizontes ist Ton/Schluff-Segregation und zum Teil -Migration nachzuweisen. Die Ackerkrumen zeigen dementsprechend im Wechsel von Austrocknung und Befeuchtung nach der MUNSELL-Tafel bei einem Hue 10 YR und einem Chroma von 2 einen Schattierungs-(Value)-Umschlag zwischen 2 und 4. Kalk-Konkretionen an der Grenze A/C kommen häufig, aber nicht

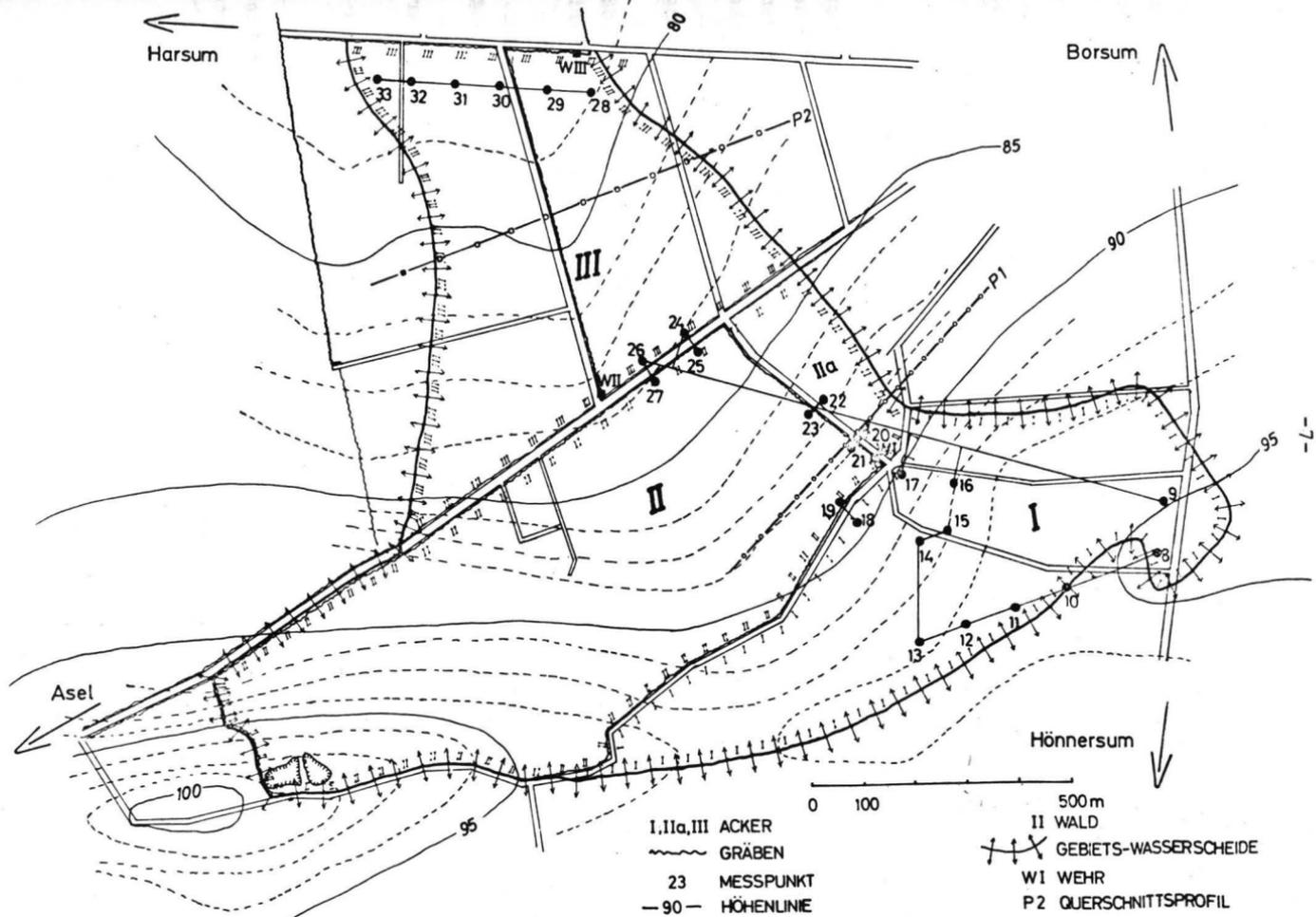
immer vor. Sie zeigen die typische Form der sog. "Naß-Kindl".
2) Die "nassen" Schwarzerden in Hangfuß- und Senken-Lage, aber auch in Plateau-Depressionen, deren kalkhaltiger Löß-Unterboden als marmorierter CS- oder auch schwach entwickelter CGo-Horizont ausgebildet ist. Stark entwickelte Kalkkonkretions-Horizonte begleiten die Grenze A/C. Die A-Horizonte sind durch Schwemm-Akkumulation häufig verstärkt (bis 80 cm), gelegentlich bis an die Oberfläche kalkhaltig und zeigen bei Austrocknung nur einen geringen Umschlag des MUNSELL-Values von 2 nach 3. Kursorische Kartierungen ließen vermuten, daß dieser Bodenlandschaftstypus besonders an solche Landschaftsteile gebunden ist, in denen zusammenhängende, entwässernde Grobsediment-Rinnen zwischen Löß und Tonfehlen oder nur in insulärer Anordnung auftreten. Das hydrologische Geschehen in dieser Teillandschaft scheint sich auf den ersten Blick fast ausschließlich auf die Wasser-Bewegungsvorgänge innerhalb der geringmächtigen Löß-Decke und den Wasser-Austausch Löß-Decke ↔ Atmosphäre zu beschränken.

1.1.2 Die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft (B)

Sie enthält zusätzlich zu den unter A beschriebenen Bodentypen noch den Typus der Griserde und dessen morphologische Übergangsstufen zur Schwarzerde. Griserden sind im Zuge der holozänen Bodenentwicklung aus Löß überall dort entstanden, wo die Entkalkung der Löß-Decke frühzeitig in größere Tiefen und die Boden-Entwicklung über das Schwarzerde-Stadium hinaus fortschreiten konnte. Unter dem A-Horizont ist ein kalkfreier, brauner B_t-Horizont entwickelt. In ihn hinein ist aus dem A-Horizont schwarze, von Humus umhüllte Ton-Substanz eingewandert. Die ehemaligen, tonverarmten Schwarzerde-A-Horizonte, jetzt A_t-Horizonte, erscheinen im feuchten Zustand dunkel gelblich-braun (10 YR 4/3 - 4), im trockenen Zustand blaß grau-braun (10 YR 6/3 - 4). Sie zeigen also einen erheblichen Value-Umschlag, der im Frühjahr bei Austrocknung der Bodendecke eine deutliche farbliche Abhebung der Griserde-Fläche von der Schwarzerde-Fläche bewirkt. Dies zeigt das Luftbild Algermissen (Karte 9).

FEUCHT-SCHWARZERDE - LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT bei BORSUM

KARTE I



Harsum

Borsum

Aasel

Hönnersum

- I, IIa, III ACKER
- GRÄBEN
- 23 MESSPUNKT
- 90 - HÖHENLINIE

- II WALD
- GEBIETS-WASSERSCHIED
- W1 WEHR
- P2 QUERSCHNITTSPROFIL

0 100 500m

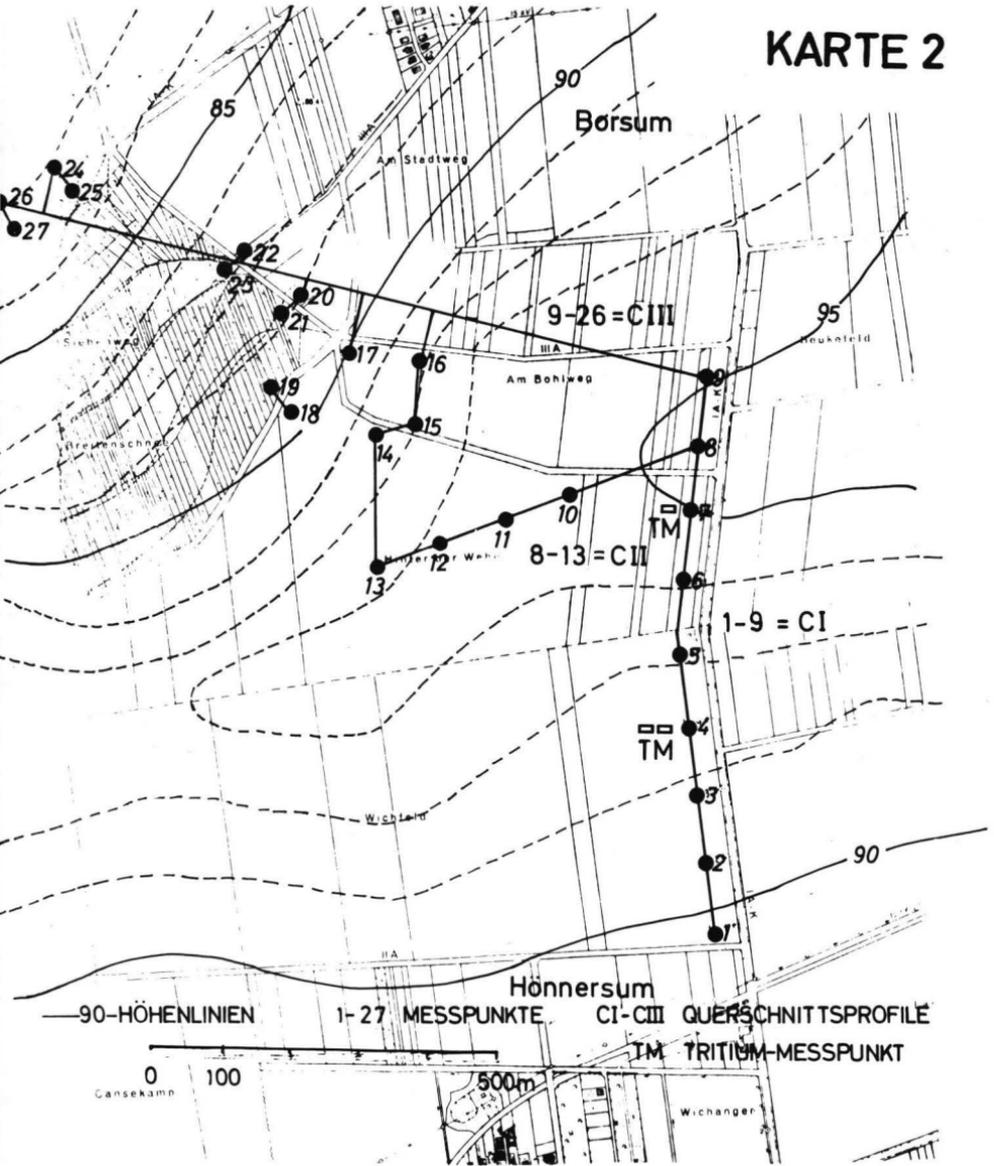
Vorläufige kursorische Bohr-Aufnahmen ließen vermuten, daß Griserden an solchen Stellen in die Schwarzerde-Landschaft eingeschachtelt sind, wo aufgrund hydrologischer Bedingungen die Durchsickerung der Löß-Decke und damit die Kalk-Abfuhr gefördert wurden. Das scheint besonders dann der Fall zu sein, wenn in Hanglage breite, flache, mit Sand oder Kies gefüllte, in den Ton eingetiefte Abzugs-Rinnen die Löß-Decke unterlagern, die das ungespannte Sickerwasser schnell zur Senke hin abführen.

1.2 AUSWAHL-KRITERIEN

Der ausschlaggebende Gesichtspunkt für die Auswahl gerade dieser beiden Boden-Landschafts-Typen bestand darin, daß die oberflächennah anstehende Ton-Sohle der Landschaft die Möglichkeit bot, den hydrologisch im allgemeinen schwer zu fassenden Faktor "Versickerung und Grundwasser-Spende" zu eliminieren. Es schien relativ einfach, den Wasserhaushalt dieser Teil-Landschaften durch Messung der Niederschläge, der Vorratsänderungen in der Löß-Decke, des Oberflächen-Abflusses und des Hangwasser-Zuges innerhalb der Lößdecken und in den Kies/Sand-Rinnen zu erfassen und zu charakterisieren, ferner auch die differenzierenden hydrologischen Standorts-Bedingungen der einzelnen Bodentypen herauszuarbeiten und zu einer generellen modellmäßig boden-hydrologischen Typisierung bestimmter repräsentativer Landschafts-Ausschnitte zu gelangen. Die Möglichkeit der Abgrenzung bestimmter hydrologisch autonomer Landschafts-Teile durch oberflächennahe "hydrologische Wasserscheiden" des Ton-Reliefs schien für dieses Vorhaben günstig zu sein.

Als Grundlage der Abgrenzung solcher repräsentativer Landschafts-Ausschnitte diente die von ROESCHMANN (3) aufgenommene Bodenkarte 1:25 000, Blatt Sarstedt, die mit ihrem südlichen Teil in das Zentrum des Hildesheimer Schwarzerde-Gebietes reicht. Durch detaillierte Bohrnetz-Kartierungen wurden die beiden folgenden Areale ausgeschieden:

KARTE 2



A Das Gebiet zwischen Hönnersum und Borsum als Ausschnitt einer typischen Feucht-Schwarzerde-Boden-Landschaft.

B Das Gebiet südlich Algermissen als Ausschnitt einer typischen Feuchtschwarzerde/Griserde-Landschaft.

2 DER FEUCHT - SCHWARZERDE - LANDSCHAFT SAUSSCHNITT BEI BORSUM - HÖNNERSUM (A)

Aa BORSUM

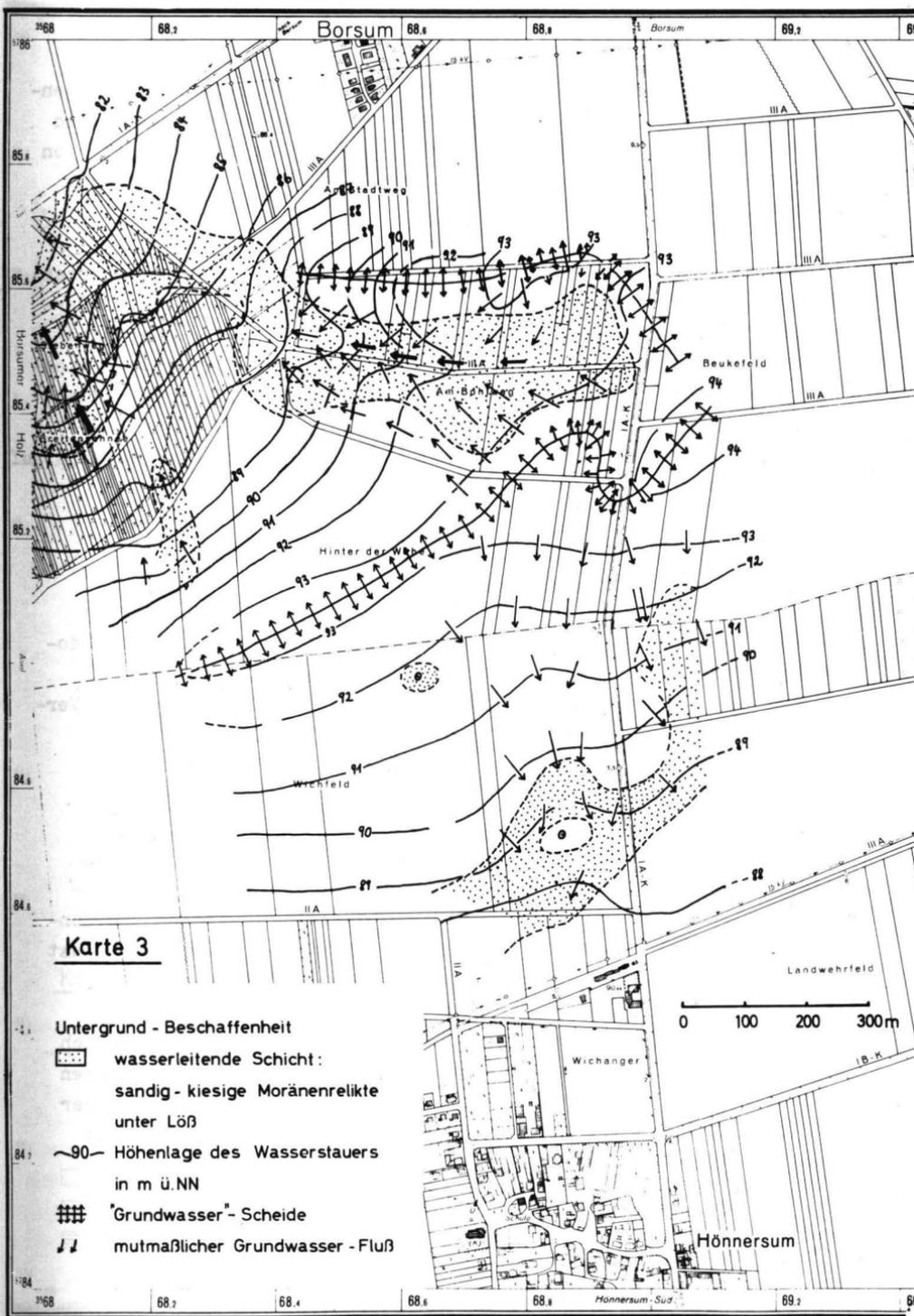
Karte 1 stellt das 142 ha große, durch oberflächennahe Wasser-scheiden des Ton-Untergrundes umgrenzte hydrologisch autonome Schwarzerde-Areal bei Borsum dar. Es liegt auf dem flachen Nordhang eines breiten Hügel-Rückens und reicht von dessen Kamm-Linie oder Plateau bis in die nördlich angrenzende breite Löß-Senke. Die Entwässerung erfolgt nach N in Richtung zum Bruchgraben.

Das Gesamt-Areal ist in die Teil-Areale I bis III unterteilt, von denen I und III aus Ackerflächen bestehen. Das Teil-Areal II trägt — außer einer kleinen Ackerfläche IIa östlich des eingezeichneten Grabens — einen Buchen-Misch-Hochwald.

Die mittlere Hang-Neigung der Gesamt-Fläche nach N beträgt etwa 1 %. Die Messung des Graben-Abflusses erfolgte an den Meß-Wehren WI bis WIII. Ferner sind die Boden-Meß-Punkte 8 bis 33 eingetragen, an denen die Messung der Änderung der Boden-Wasser-Vorräte und die Messung der Grundwasser-Stände erfolgten. Die Verbindungs-Linien zwischen diesen Punkten geben die Lage der später dargestellten Querschnitts-Profile an.

Ab HÖNNERSUM

Als Ergänzung zu Aa wurde auf dem ungegliederten Süd-Flach-Hang desselben Hügel-Rückens eine weitere Bohr-Meßpunkt-Catena angelegt, vgl. Karte 2, welche neben den Meß-Punkten 9 und 8 aus dem



Karte 3

- Untergrund - Beschaffenheit**
-  wasserleitende Schicht:
sandig - kiesige Moränenrelikte
unter Löß
 -  ~90- Höhenlage des Wasserstauers
in m ü.NN
 -  "Grundwasser" - Scheide
 -  // mutmaßlicher Grundwasser - Fluß

0 100 200 300 m

Areal Aa die zusätzlichen Meß-Punkte 1 bis 7 umfaßt. Die Notwendigkeit zu dieser Erweiterung ergab sich daraus, daß bei hohen Bodenwasser-Ständen in Areal I ein gelegentlicher Übertritt von Boden-Wasser über die Ton-Wasserscheide in südlicher Richtung möglich schien.

Die Gleichförmigkeit des Südhanges und seiner stratigraphischen Querschnitt-Profile erübrigte hier die Ausgliederung von Wasserscheiden und Zug-Rinnen-Bereichen. Es war mit einer gleichförmigen Hangwasser-Bewegung zu rechnen, die sich durch ein linienhaft angeordnetes Meß-System erfassen ließ. Aus diesem Grunde wurde auch die Mess-Stelle für die Ermittlung des Hangwasser-Zuges innerhalb der Löß-Decke mit Hilfe TOH-markierten Wassers auf den Süd-Hang gelegt (TM in Karte 2).

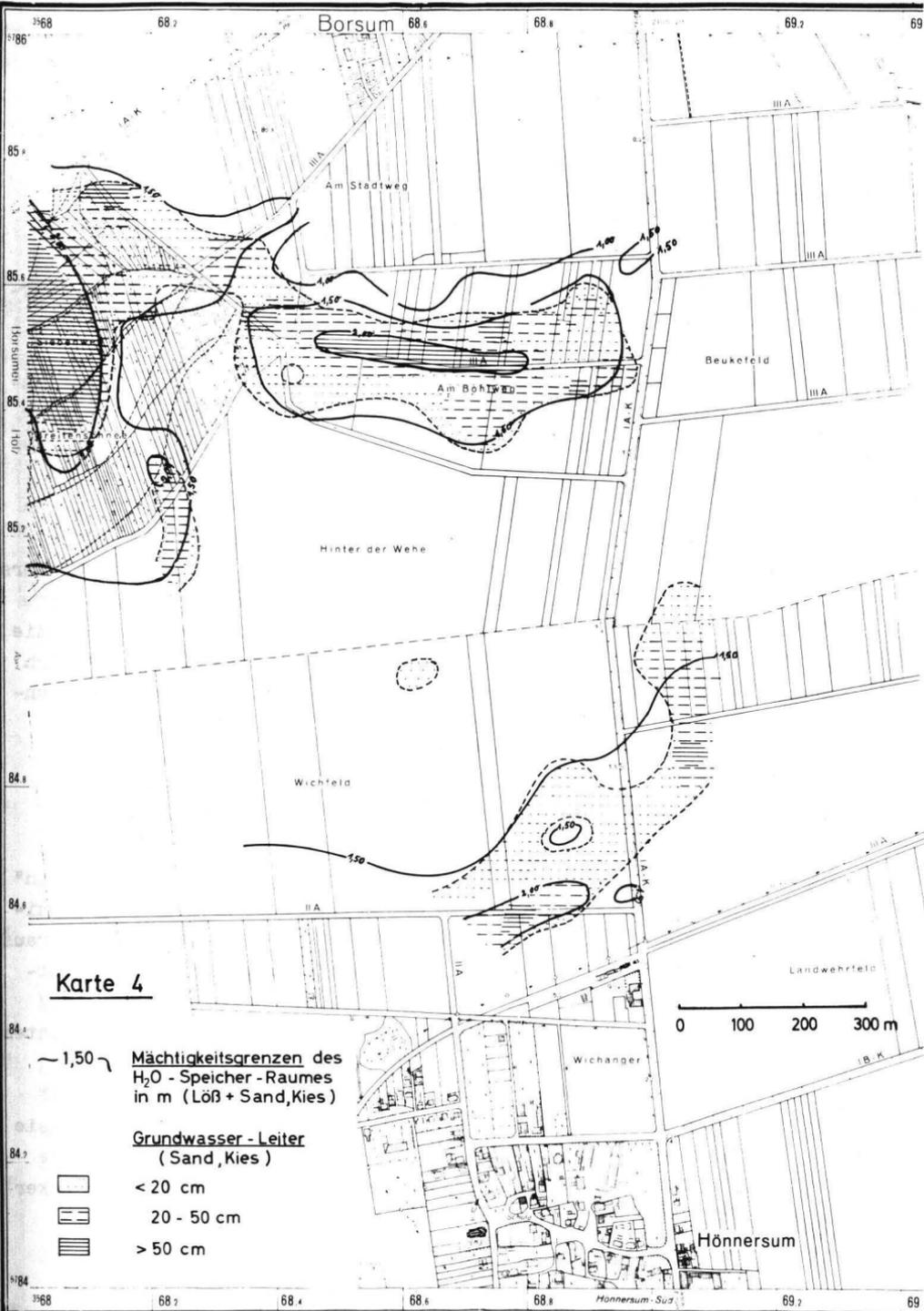
2.1 SEDIMENT- und PEDOSTRATIGRAPHISCHER-AUFBAU, HYDROLOGISCHE FOLGERUNGEN

Die Karten 3 bis 5 geben Aufschluß über den sediment- und pedostratigraphischen Aufbau des Gesamt-Areals südlich Borsum. Sie wurden aufgrund einer Bohrnetz-Kartierung mit gezielter Verteilung der Bohrpunkte im 50- bis 100-m Abstand erstellt.

KARTE 3

Hier ist die Löß-Decke mit den Schwarzerden als abgeräumt zu denken. Die Höhen-Linien geben das Relief des wasser-undurchlässigen Kreide-Tons wieder. Kamm- und Plateau-Bereich des Ton-Rückens sind — abgesehen von der abgeräumten Löß-Decke — fast völlig frei von anderen pleistozänen Sediment-Decken.

Schräg über die Fuß-Zone des Süd-Hanges zieht sich von NE nach SW eine sehr flache, mit gut wasserleitenden Kiesen und Sanden gefüllte verdeckte Hang-Rinne, die das vom Oberhang her in der Löß-Decke hangabwärts drängende Boden-Wasser sammeln und zum Senken-Tiefsten am Nordrand von Hönnersum ableiten könnte.

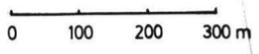


Karte 4

~ 1,50 ~ Mächtigkeitsgrenzen des H₂O - Speicher - Raumes in m (Löß + Sand, Kies)

Grundwasser - Leiter (Sand, Kies)

-  < 20 cm
-  20 - 50 cm
-  > 50 cm



Honnersum

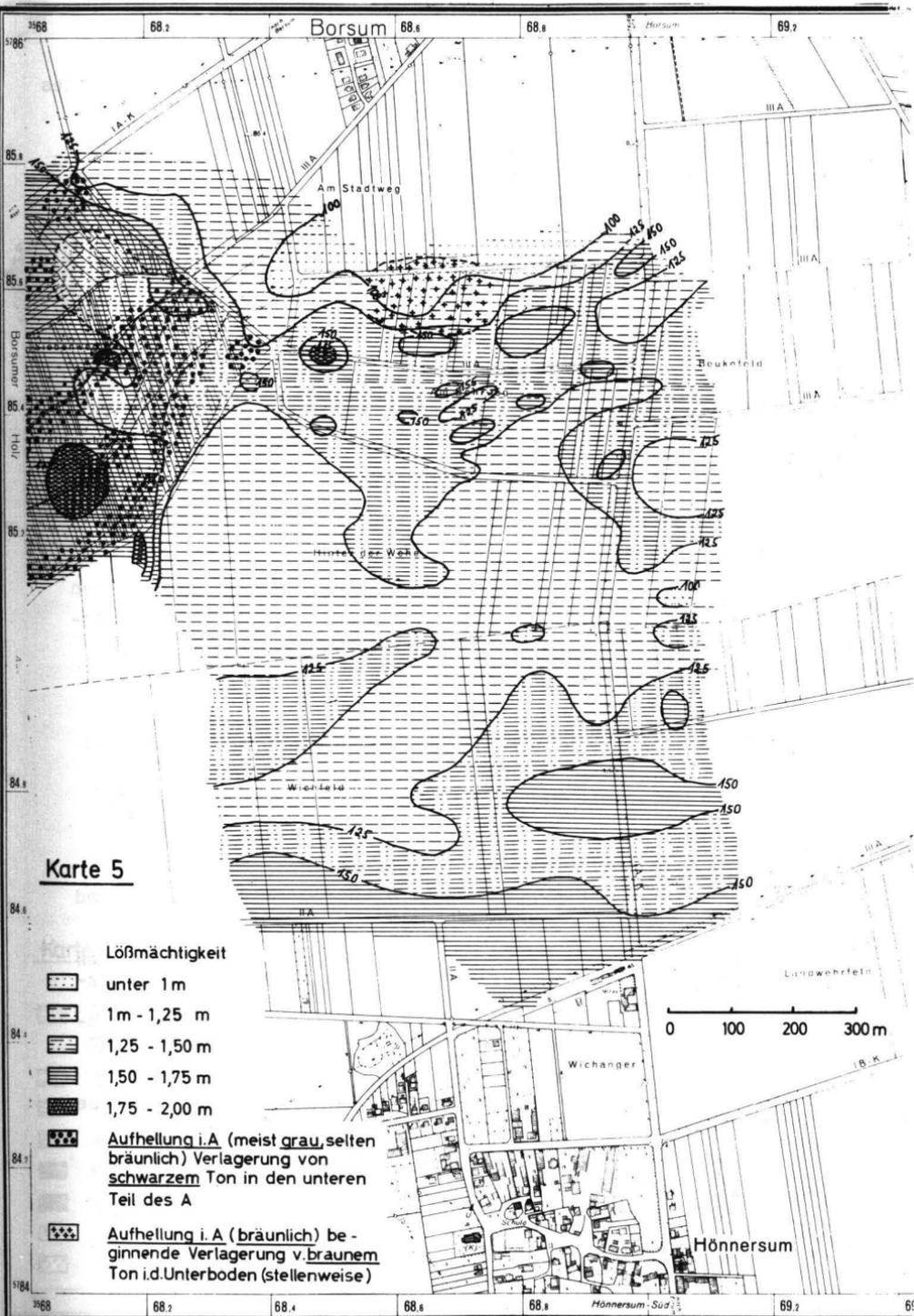
KARTE 4

Sie gibt die Mächtigkeit der über dem Kreide-Ton liegenden quartären Deck-Sedimente an, die den "Wasser-Speicherraum" über der Ton-Sohle bilden. Ihre Mächtigkeit übersteigt nicht 2 m. Im überwiegenden Teil der Fläche besteht die Decke ausschließlich aus Löß von 100 bis 150 cm Mächtigkeit. In Ergänzung zu Karte 3 ist die Dicke der "wasserleitenden" Sand- und Kies-Rinnen-Füllungen angegeben. Am Südhang übersteigt deren Mächtigkeit nicht 50 cm. Diese Flachrinne muß also wohl in ihrer Hang-Entwässerungs-Funktion unter Berücksichtigung des Untergrund-Fein-Reliefs und der Mächtigkeits-Schwankungen des Sandes als relativ unbedeutend angesehen werden. Betrachtet man die Mächtigkeit von Kies und Sand in der Ton-Mulde des Nordhanges, so wird deren "Bassin-Charakter" deutlich. Es besteht offenbar nur bei hohen Ständen des ungespannten im Sand und Löß angestauten Boden-Wassers die Möglichkeit einer Entwässerung dieser Mulde durch die sehr dünne Sand-Lage am NW-Ausgang. Zudem dünnt in diesem "Auslaß" die Sand-Schicht stellenweise auf wenige cm aus. Die Mulde läßt sich eher als ein leicht geneigter Topf auffassen, aus dessen nach unten geneigtem Rand gelegentlich Wasser in die hangabwärts liegenden Löß-Decken hineindrücken könnte.

KARTE 5

Die alles überziehende Löß-Decke hat bis auf sehr kleine "Inseln" mit größerer und geringerer Mächtigkeit im allgemeinen eine Minimal-Dicke von 100 cm und eine Maximal-Dicke von 175 cm. Der daraus entstandene holozäne Boden ist die Feucht-Schwarzerde, gelegentlich mit Aufhellung im oberen A-Horizont in Verbindung mit Ton/Schluff-Segregation und Ton-Verlagerung innerhalb des A-Horizontes

Graue Aufhellung des A-Horizontes ist auf die Wald-Fläche im NW der Karte beschränkt. In den Ackerflächen östlich davon fehlt sie — obwohl diese vor wenigen Jahrzehnten z. T. noch Wald trugen. Offenbar ist dies ein wald-spezifisches Phänomen, das unter Acker-nutzung teilweise wieder aufgehoben wird.



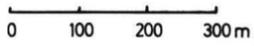
Karte 5

Lößmächtigkeit

-  unter 1 m
-  1 m - 1,25 m
-  1,25 - 1,50 m
-  1,50 - 1,75 m
-  1,75 - 2,00 m

Aufhellung i. A. (meist grau, selten bräunlich) Verlagerung von schwarzem Ton in den unteren Teil des A

Aufhellung i. A. (bräunlich) beginnende Verlagerung v. braunem Ton i.d. Unterboden (stellenweise)



Aufhellung mit bräunlicher Farbe des oberen A-Horizont-Abschnittes tritt nur am nördlichen Rand der Nordhang-Wanne auf. Hier sind bei nur geringer Löß-Mächtigkeit und größerer Neigung des Ton-Untergrundes offenbar günstige Bedingungen für eine tiefere Entkalkung als Folge eines besseren Hangwasser-Zuges und damit für eine Ton-Migration gegeben gewesen (s. Karte 6).

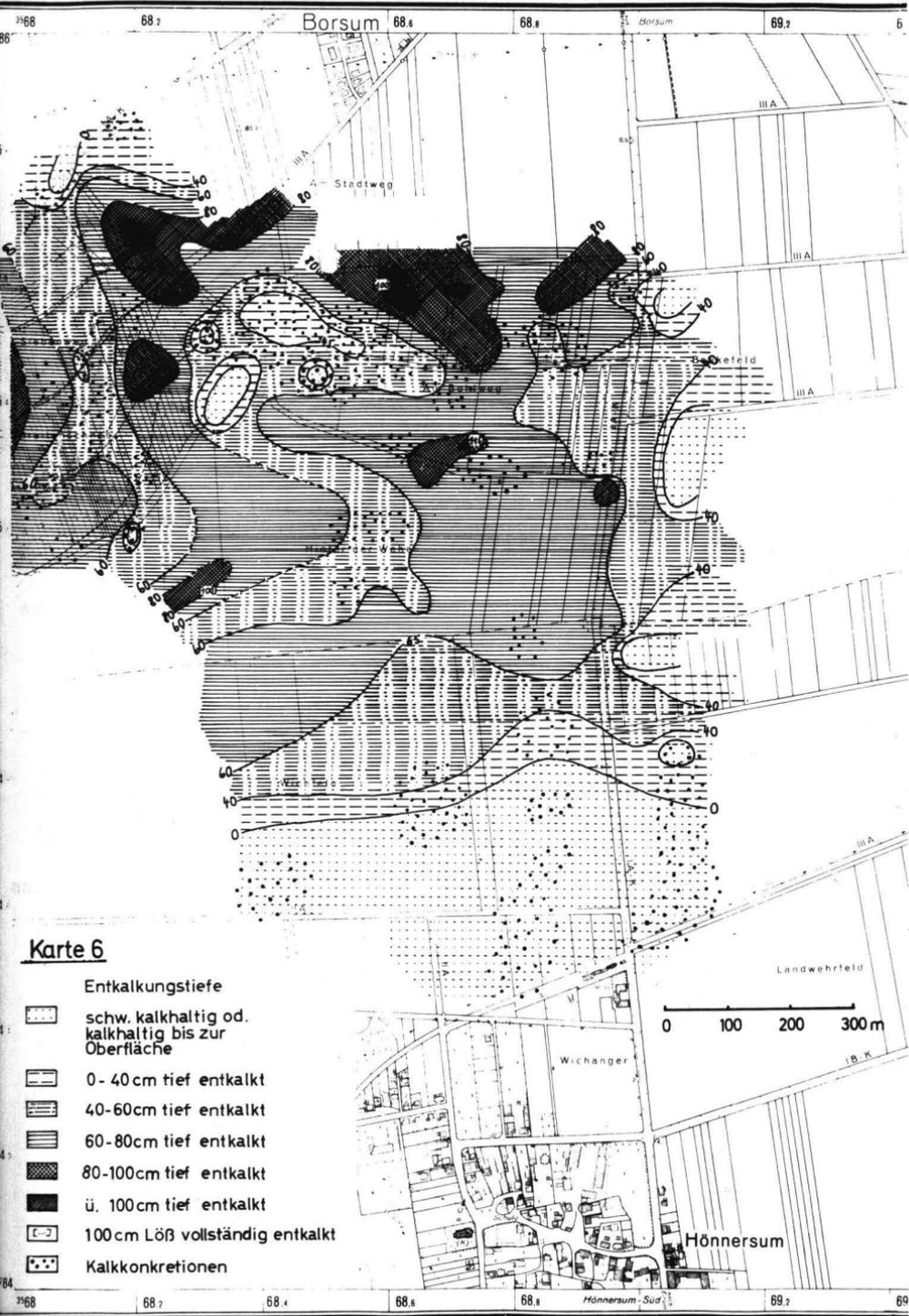
KARTE 6

Entkalkungs-Tiefe und Kalk-Anreicherungs-Formen in der Boden-Decke einer Landschaft müssen als Ergebnis und als Zeiger der hydrologischen Bedingungen gewertet werden. Der Kalk ist eine der wasserlöslichsten geochemischen Komponenten der Landschaft. Die Disproportionierung der ursprünglich gleichmäßig im Löß verteilten Kalk-Gehalte in der gegenwärtigen Boden-Decke sollte daher Hinweise auf die Strömungs-Richtungen und -Intensitäten des Boden-Wassers geben können. Allerdings sind die tatsächlichen Abhängigkeiten noch weitgehend ungeklärt.

In dieser Karte sind die von der Boden-Oberfläche her gemessenen Entkalkungs-Tiefen der Löß-Decke sowie das Auftreten der finger- oder "kränenfuß"-förmigen Calcium-Carbonat-Konkretionen oder "Naß-Kindel" dargestellt.

Große Schwarzerde-Flächen-Anteile in Plateau- und Oberhang-Lage sind nur bis zur Untergrenze des A-Horizontes, d.h. bis 60 cm bzw. bis 20 cm unterhalb des A-Horizontes, d.h. insgesamt bis 80 cm Tiefe entkalkt.

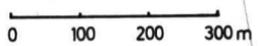
Im letzten Falle ist der 20 cm starke B_v-Horizont zwischen A und C in der Regel nicht verbraunt und nie von schwarzem Ton infiltriert. Er besitzt meist noch die typische Löß-Färbung. In früheren Arbeiten von uns wurde dieses Phänomen so gedeutet, daß die Entkalkung des oberen C-Horizontes ein sehr junger und kurzfristiger Vorgang gewesen sein muß. Dieser mag erst im Zuge der Besiedlung der Landschaft in der zweiten Hälfte des ersten nachchristlichen Jahrtausends eingesetzt haben. Die Verbraunung des entkalkten Lösses, d.h. die Freisetzung und Umverteilung von Eisen in oxidischer Form sowie die gleichzeitige Ton-Bildung sind gegenüber der Entkalkung langsamer ablaufende Folgeprozesse, die sich vermutlich noch nicht recht entfalten konnten.



Karte 6

Entkalkungstiefe

-  schw. kalkhaltig od. kalkhaltig bis zur Oberfläche
-  0-40cm tief entkalkt
-  40-60cm tief entkalkt
-  60-80cm tief entkalkt
-  80-100cm tief entkalkt
-  ü. 100cm tief entkalkt
-  100cm Löß vollständig entkalkt
-  Kalkkonkretionen



Landwehrfeld

Wichanger

Hönersum

Hönersum-Süd

68 68.2 Borsum 68.4 68.6 Borsum 68.8 69.2 6

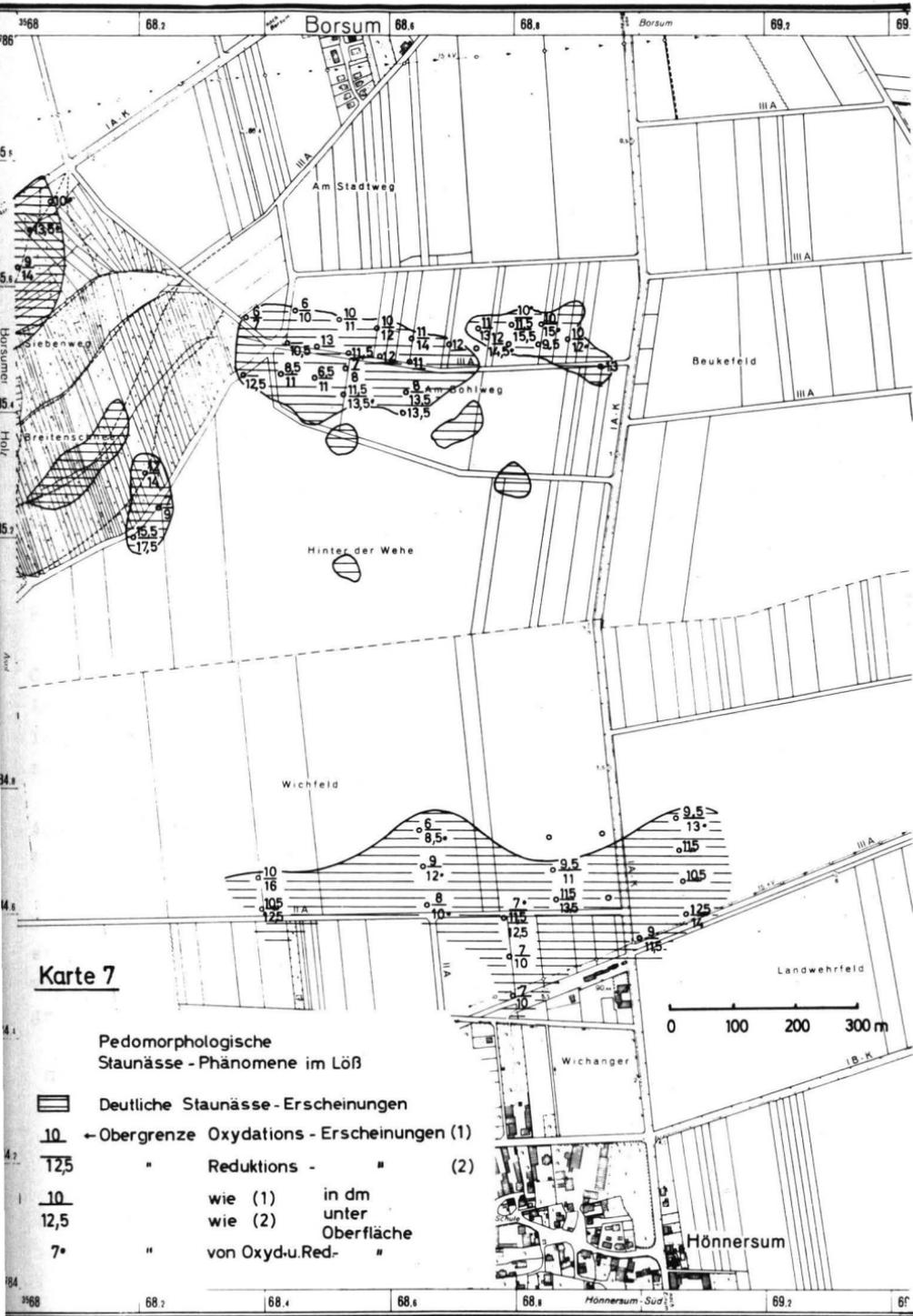
68 68.2 68.4 68.6 68.8 Hönersum-Süd 69.2 69

Löß-Schwarzerde Areale mit Entkalkungs-Tiefen > 80 cm sowie Areale mit vollständiger Entkalkung der Löß-Decke finden sich am Nord-Hang des Hügel-Rückens auf oder dicht unterhalb der Wasser-Scheiden und zwar meist dort, wo sich hangabwärts eine wasserleitende Dellen-Füllung unter dem Löß anschließt. Dabei sind besonders solche Stellen für eine tiefe Entkalkung prädestiniert, an denen der Löß über dem stärker geneigten Ton-Untergrund nur eine geringe Mächtigkeit besitzt.

Dieser Befund deckt sich mit den kursorisch gewonnenen Bohr-Befunden aus der Umgebung des Karten-Ausschnittes. Kuppel- oder rückenartige Erhebungen des Kreide-Tons mit dünner Löß-Decke zeigen — vermutlich infolge eines stärkeren, mehrseitig gerichteten Decken-Wasser-Abzuges — in der Regel eine tiefere bis vollständige Entkalkung der dem Ton auflagernden Löß-Decke (vergleiche Profil Aseler Holz-West in (2)). Diese auf lokal schwankenden Relief-Gegebenheiten des Ton-Untergrundes beruhenden kleinräumigen pedohydrologischen Differenzierungen sind eine der wesentlichen Ursachen für das Typen-Mosaik der verschiedenen Schwarzerde-Formen in der Landschaft.

Die gleichförmige Süd-Flanke des Hügel-Rückens zeigt die typische Entkalkungs-Tiefen-Catena der Feucht-Schwarzerde-Landschaft. Hangabwärts nimmt die Entkalkungs-Tiefe der Feucht-Schwarzerden kontinuierlich von 80 auf 0 cm ab. Dies scheint zunächst darauf zurückzuführen zu sein, daß 1.) im Unterhang-Bereich der zunehmende Einfluß der Hangwasser-Akkumulation eine im Sommer länger anhaltende Nässe-Phase mit höher stehenden Grundwasser-Ständen bewirkt und dadurch die Entkalkung behindert, vgl. HASE und MEYER, (1) und daß 2.) eine Kalk-Zufuhr durch das Hangwasser stattfinden kann. Eine ähnliche Situation ist auch innerhalb des Flach-Bassins auf der Nord-Flanke gegeben, innerhalb dessen die Schwarzerden ebenfalls noch bis zur Oberfläche kalkhaltig sein können.

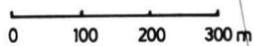
KALK-KINDEL sind einerseits als Neubildungen aus ausgewaschenem Kalk des Ober-Bodens, andererseits aber weit häufiger als Anreicherungs-Neubildungen aus dem kalkhaltigen Grund- und Hangwasser zu betrachten, die besonders im Übergangs-Bereich zwischen A- und C-Horizont der Feucht-Schwarzerden abgeschieden werden. Ursache dafür mag der in dieser Zone auftretende, auf dem Wechsel des



Karte 7

Pedomorphologische
Stauflüsse - Phänomene im Löß

-  Deutliche Stauflüsse - Erscheinungen
- 10 + Obergrenze Oxydations - Erscheinungen (1)
- 12,5 " Reduktions - " (2)
- 10 wie (1) in dm
- 12,5 wie (2) unter
- 7° " von Oxyd- u. Red- " Oberfläche



Hönnersum

Boden-Gefüges beruhende Sprung des CO_2 -Partial-Druckes und der Boden-Temperatur sein. Besonders bei einer Akkumulation dieser Konkretionen aus dem Grundwasser entstehen Kindel-Horizonte mit einem so dichten Konkretions-Besatz (sog. "Gnatz-Horizonte"), daß diese beim Aufgraben wie Kies-Lager anmuten.

Das Karten-Bild gibt nur im Nord-Teil einen einigermaßen vollständigen Überblick über die Verbreitung solcher Konkretions-Horizonte. Ihren Entstehungs-Bedingungen entsprechend finden sie sich in erster Linie dort, wo die Entkalkungstiefe 60 bis 80 cm nicht unterschreitet, d.h. dicht unterhalb des A-Horizontes liegt. Die Häufung im Bereich der Nord-Hang-Sandmulde weist wie am Südhang auf den Einfluß des Hangwasser-Zuzuges hin. Auch bei Entkalkungs-Tiefen > 80 cm sind Kindel-Horizonte möglich, wenn der Löß von Sand unterlagert wird und dieser während des Sommers bei fortschreitender Entwässerung Luft führt.

Das Verteilungs-Bild der Kindel-Horizonte ist am Süd-Hang unvollständig, da hier die Bohrnetz-Maschen für die Detail-Kartierung zu weit gewählt wurden. Im Unterhang-Bereich ist der Kindel-Horizont in Wirklichkeit nahezu geschlossen verbreitet, im Oberhang-Bereich löst er sich in Zungen auf.

KARTE 7

Die auf der Carbonat-Verteilung basierenden hydrologischen Aussagen der Karte 6 werden durch die in Karte 7 kartierten Verlässungs-Phänomene der Löß-Decke gestützt.

Als solche dienen die Marmorierungs-Horizonte innerhalb des noch kalkhaltigen Lösses. Das Farb-Bild solcher in Profil-Gruben angeschnittenen Horizonte wird durch das mosaikhafte Nebeneinander von rostfarbenen Oxidations-, schmutzig-blaugrauen Reduktions- und unverändert gelbbraunen Flecken (Sektoren) des ursprünglichen Löß-Materials geprägt. Es beruht auf dem Oxidations-Zustand des freien Eisens, der im wesentlichen vom Wasser-Luft-Verhältnis im Poren-Raum der Löß-Matrix bestimmt wird. Bei häufigem Wechsel des Wasser-Sättigungs-Grades resultiert eine einfache Rost-Fleckung des gelbbraunen Löß-Materials (in Karte 7 die sog. "Oxydations-Erscheinungen"), bei zunehmender annueller Länge der Wasser-Sättigungs-Phase nimmt der Anteil schmutzig-grauer Reduk-

tionsflecken zu, der Anteil von Rost- und Löss-Flecken ab (sog. "Reduktions-Erscheinungen" in Karte 7). Kalkhaltige Löss-C-Horizonte von Feucht-Schwarzerden in denen entweder nur Oxydations-Flecken-Zonen oder untereinander mit kontinuierlichem Übergang Oxidations- und Reduktions-Flecken-Zonen auftreten, bezeichnen wir im Folgenden als CS-Horizonte. In den nördlich und südlich angrenzenden Feucht-Schwarzerde-Senken können unterhalb des permanenten Grundwasserspiegels, besser: des geschlossenen Kapillar-Saumes, auch echte blaugraue G₂-Horizonte auftreten. Im engeren Untersuchungsgebiet fehlen sie jedoch.

In der Fuß-Hang-Zone der Süd-Flanke zeichnet sich ein geschlossenes Gebiet von Feucht-Schwarzerden mit ausgeprägten CS-Horizonten ab. Hangabwärts folgen nacheinander Zonen mit zunehmender Differenzierung der CS-Subhorizonte: Zunächst einfache Rostflecken-CS-Horizont-Profile, dann in Rostflecken- und Redox-Flecken-Subhorizonte gegliederte Profile, dann durch Rostflecken-, Redox-Flecken und darunter zunehmend Reduktions-Flecken geprägte CS-Horizont-Profile. Mit zunehmender Differenzierung des CS-Horizontes hangabwärts nähert sich die Obergrenze der Marmorierungs-Zone dem A-Horizont.

Gleiches gilt etwa für die Profil-Sequenz in Richtung der Längs-Achse der Mulde auf der Nord-Flanke von E nach W. Im westlichen Teil am Austritts-Engpaß treten die stärksten Vernässungs-Erscheinungen innerhalb des Kartier-Gebietes auf.

Auch die wassersammelnden Flach-Mulden im Wald-Gebiet enthalten Feucht-Schwarzerden mit CS-Horizonten.

Daneben kommen auch innerhalb der Plateau- und Oberhang-Schwarzerde-Areale Inseln mit stärker oxidations-fleckigem C-Horizont vor, die auf lokale, linsenförmige Eindellungen des Ton-Untergrundes zurückzuführen sind.

2.2. MESS-STRECKEN UND QUERPROFILE

Das in den Karten 2 bis 7 dargestellte Kartier-Gebiet umfaßt nur den einen — wenn auch wesentlichen, da stärker differenzierten — Teil des Bilanz-Gebietes von Karte 1. Zur Darstellung von Querschnitten dieses Raumes wurden die ausgewählten hydrologischen Beobachtungspunkte der Karte 2 in Form von Mess-Linien zusammengefaßt. Sie sollen dazu dienen, den Wasser-Umsatz der einzelnen Flächen-Anteile, gegliedert nach ihrer hydrographischen Situation, darzustellen. Zur Charakterisierung weiterer Teile des Bilanzierungs-Gebietes (Karte 1) wurden ferner zwei Bohr-Querschnitts-Profile (P1 und P2) durch den Nordteil des Gebietes gelegt.

2.3 GELÄNDE-QUERSCHNITT-PROFILE

Nachfolgend werden die in der Karte 2 eingetragenen Gelände-Querschnitt-Profile oder Boden-Catenen CI, CII, CIII und die in Karte 1 vermerkten Catenen P1 und P2 dargestellt.

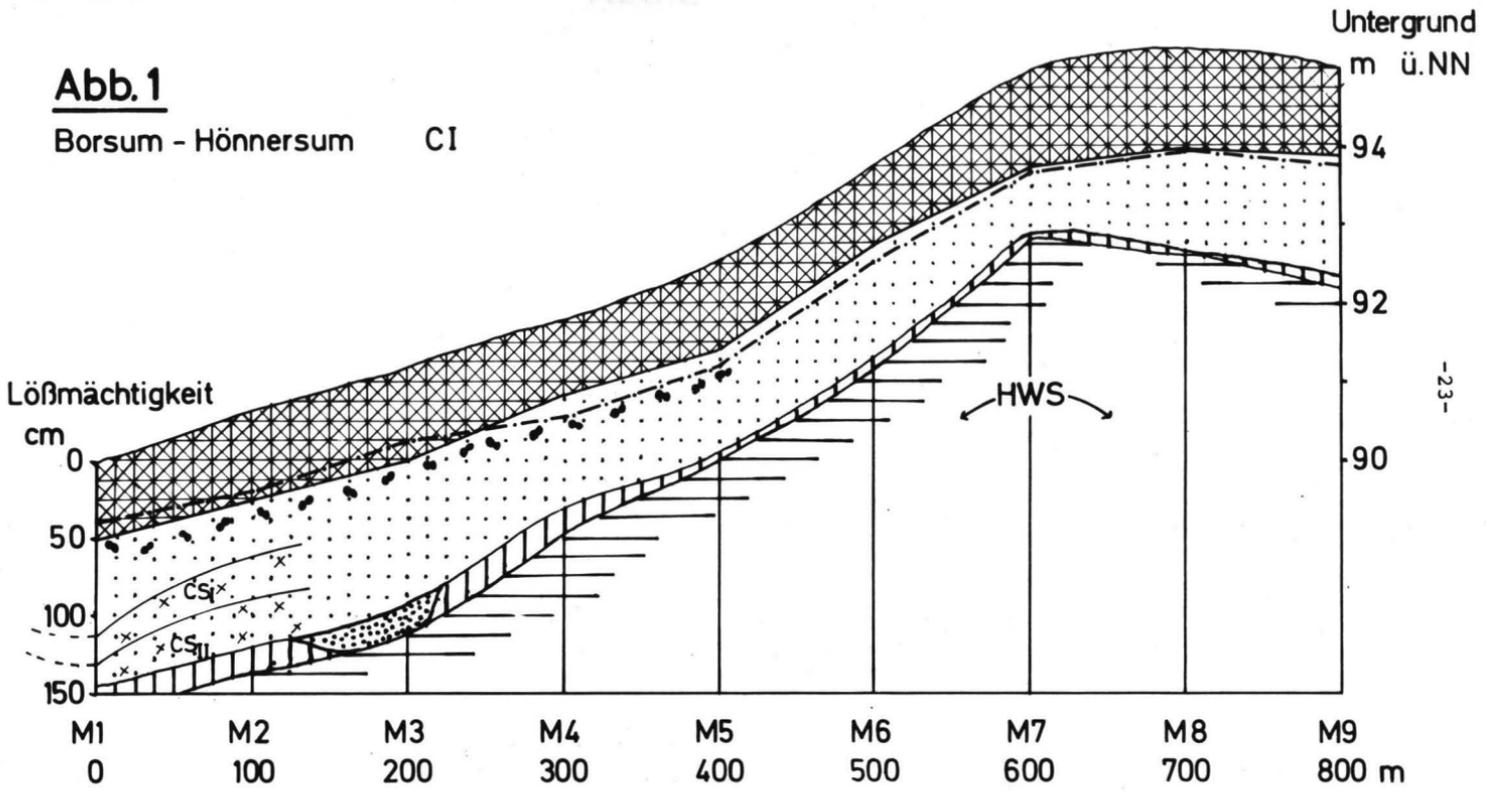
Die Ordinate an der rechten Seite der Profile gibt die Höhenlage in m NN für das Relief des Ton-Untergrundes an. Die überlagernde quartäre Decke ist aus Gründen der Darstellungs-Technik noch einmal überhöht worden. Die Ordinate für ihre Mächtigkeit befindet sich auf der linken Seite.

CI, Südhang des Hügel-Rückens zwischen Borsum und Hönnersum, Abb. 1

Über dem bei M7 die hydrologische Wasserscheide bildenden Kreide-Ton folgt eine maximal 20 cm starke — bis auf die sandige Einlage der bei M3 geschnittenen Flach-Rinne — wasser-undurchlässige Schicht von solifluidal mit Ton verknetetem und schwach rotsandhaltigem Grundmoränen-Material. Darüber liegt die annähernd gleich mächtige LÖB-Decke von maximal 150 cm Dicke. Ihre oberen 50 bis 65 cm sind zu Schwarzerde-A-Horizonten umgewandelt. Es handelt sich um die "typische Hildesheimer Schwarzerde" (nach ROESCHMANN) mit sehr geringer Ton-Verlagerung innerhalb des A,

Abb. 1

Borsum - Hönnersum CI



aber schwacher bräunlicher Aufhellung des Ap. Die bodentypologische Hang-Zonierung kommt in der Tiefenlage der Entkalkungsgrenze zum Ausdruck, die in Plateau-Lage an der Grenze A/C liegt, in Ober- und Mittelhang-Lage bis zu 15 cm unter den A sinkt und am Hangfuß wieder in den A hinein ansteigt. Vom Mittelhang an abwärts treten Kalk-Konkretionen auf, am Unterhang stärkere Marmorierungs-Erscheinungen im Löß (CS-Horizonte).

CII, Kammlinie bzw. 93,75 m — Plateau des Hügel-Rückens zwischen Borsum und Hönnersum, Abb. 2

Dieses Querschnitt-Profil liegt etwa auf der hydrologischen Ton-Wasserscheide bzw. schneidet diese zwischen M8 und M10 in spitzem Winkel. Die Schichtungs-Verhältnisse sind uniform, Grundmoränen-Reste über dem Ton fehlen, die Kalkgrenze liegt im unteren Teil des A-Horizontes der typischen "Hildesheimer-Schwarzerde". Die Löß-Mächtigkeit ist mit 110 bis 130 cm etwas geringer als am Süd-Hang.

CIII, Plateau des Rückens zwischen Borsum und Hönnersum, durch die Nordhang-Mulde bis in die nördliche Bach-Senke, Abb. 3

Das Querschnitts-Profil führt in der auf Karte 3 dargestellten, mit Sand ausgekleideten Nordhang-Mulde und der nach unten anschließenden Sand-Zunge entlang bis in die Bach-Senke nördlich der Straße Borsum-Asel.

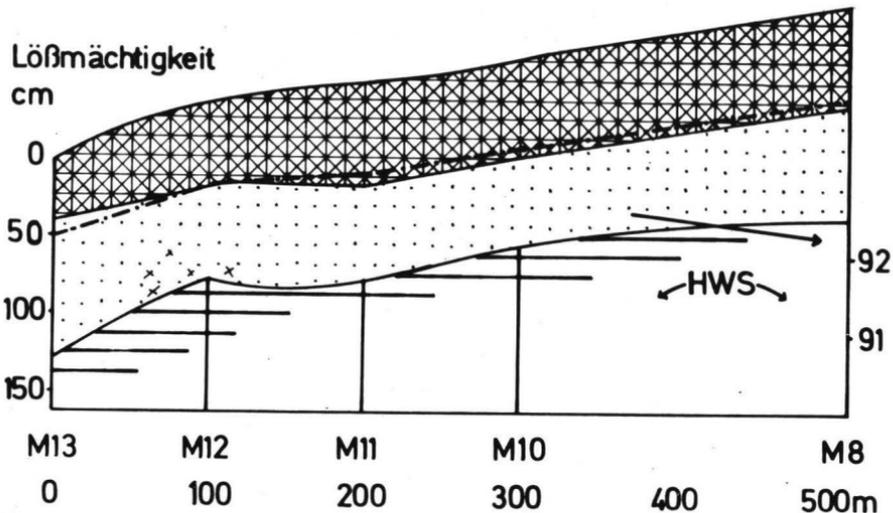
In Abb. 3 erscheint die Schwemmsand-Decke über dem Ton im Querschnitt-Profil nicht geschlossen. Die Ursache liegt darin, daß das Verbreitungs-Areal des Sandes zwar zusammenhängend ist, aber einen lappigen Umriß mit stark schwankenden Mächtigkeiten aufweist und das Querprofil diese Ausbuchtungen schneidet. Eine geregelte und zügige Entwässerung der Löß-Decke durch die Sand-Unterlage kann also kaum erwartet werden.

Der obere Teil des Profils, der die Nordhang-Mulde schneidet, wurde oben mit einem geneigten Topf oder Bassin verglichen.

Abb.2

Borsum - Plateau CIII

Untergrund
m ü. NN



LEGENDE

| | | | |
|--|---------------------------|--------|--------------------------|
| | Kies | | Feucht-Schwarzerde(FS) |
| | Sand | | degradierte Formen d. FS |
| | Löß | | Griserde |
| | tonige Fließerde | M 36 | Meßpunkt |
| | Kreidetone | HWS | hydrol. Wasserscheide |
| | Kalkgrenze | Graben | Graben |
| | Kalk-Konkretionen | | Red-Ox Erscheinungen |
| | Ton-Infiltration(schwarz) | | |

Sein nach unten geneigter Rand liegt bei M17.

Auch die Sand-Zunge im Unterhang-Bereich kann bei ihrer Diskontinuität und ihrer im Vergleich zu den Relief-Schwankungen des Ton-Untergrundes zu geringen Mächtigkeit nicht eigentlich als Entwässerungs-Schicht angesprochen werden.

Die Löß-Decke besitzt wieder eine annähernd gleich bleibende Mächtigkeit von 120 - 150 cm. Die Entkalkungs-Grenze liegt meist noch im unteren Abschnitt des A-Horizontes. Sie steigt dort an, wo auch die Nässe-Phänomene im kalkhaltigen Löß am ausgeprägtesten sind: am unteren Rand der Nordhang-Mulde und in der Hangfuß-Zone. Das Auftreten von CS-Horizonten wird hier deutlich von Kalk-Kindel-Horizonten im Grenz-Bereich A/C begleitet. Die Sand-Mulden bewirken im Oberhang- und Mulden-Bereich jeweils ein Absinken der Obergrenzen der CS-Horizonte. Dies ist — wie später gezeigt wird — eine Folge des kleinräumigen Abzuges von ungespanntem Bodenwasser in den Sand-Rinnen. Doch leiten diese offenbar das abfließende Wasser nicht direkt in die Bach-Senke ab, sondern lassen ihr Hang-Wasser in die am Knick des Ton-Hanges liegende Löß-Decke hineindrücken. Solch eine Grundwasser-Druckstelle ist z. B. bei M17 gegeben.

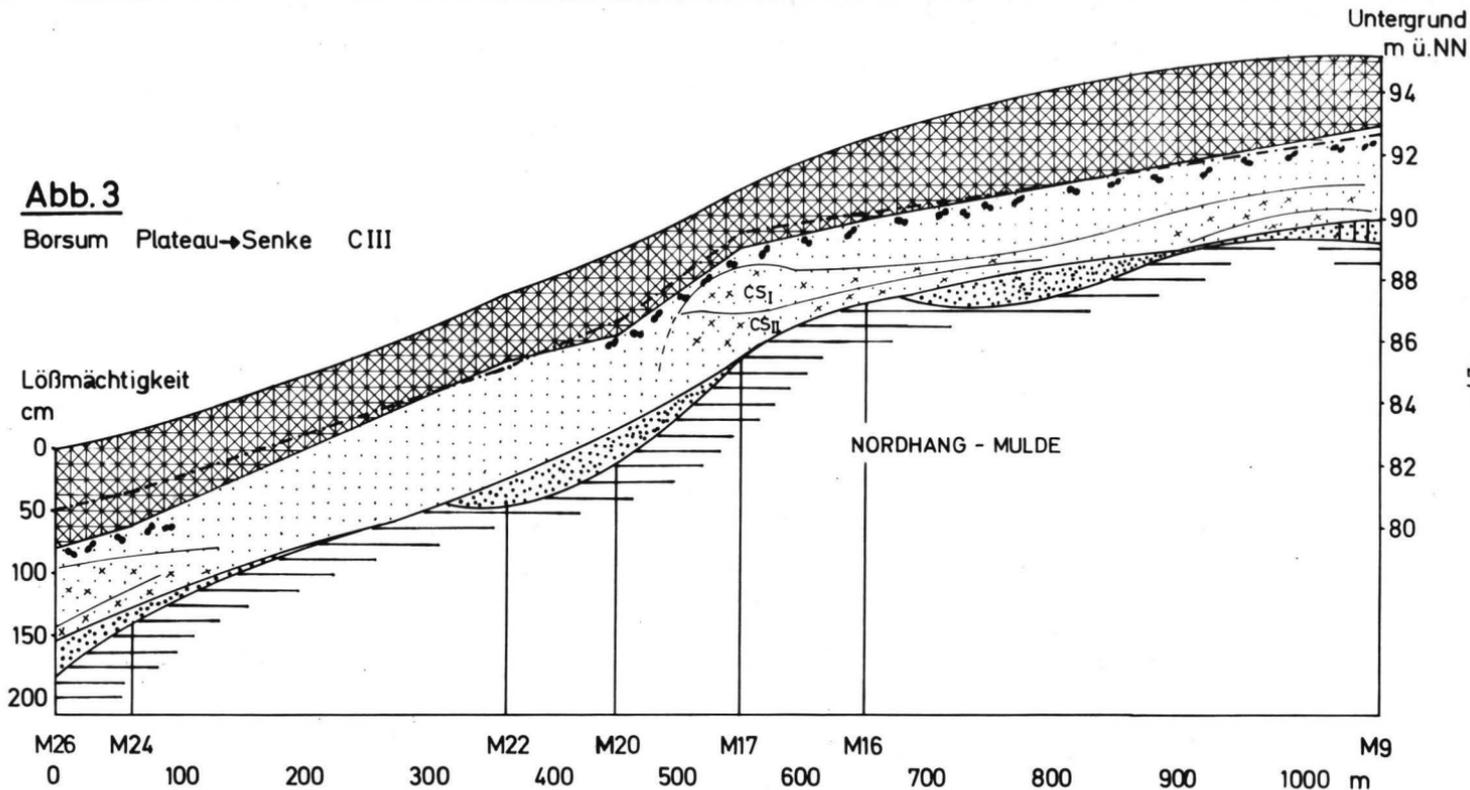
P1, Engpaß der Sand-Rinne von Profil CIII im Meß-Kreuz-Punkt 20, Abb. 4

Dieses Querprofil schneidet das Profil CIII im Meßpunkt 20 im Winkel von 60° . Es wurde durch diesen Punkt gelegt, weil sich hier der mögliche unterirdische Entwässerungs-Strom der Hang-Mulde in der Sand-Füllung auf einen sehr schmalen Engpaß zu konzentrieren schien und weil hier auch ein Entwässerungs-Graben ansetzt, der als Sammel-Vorfluter für das Dränrohr-System und Oberflächen-Entwässerungs-System ab Fläche I dient. Der Schnittpunkt schien daher für Gebiets-Gesamtabfluß-Messungen besonders geeignet.

Profil P1 zeigt den Querschnitt des Grabens, der zur Oberflächen-

Abb. 3

Borsum Plateau → Senke CIII



Entwässerung des Areals I dient. Er schneidet nur bis zur Untergrenze des A-Horizontes ein und führt in der Regel nur in den Frühjahrs-Monaten — etwa bis Mai — Wasser, das als ungespanntes Wasser aus den Schwarzerde-A-Horizonten und den oberen 20 cm des LÖB-C-Horizontes abgegeben wird. Die Drainage-Stränge, die in ihn einmünden, liegen maximal nur 20 cm unter der Grenze A/C. Der Entwässerungs-Effekt des Grabens und des an ihn angeschlossenen, heute fast durchgehend in Verfall befindlichen Drainage-Systems besteht also nur darin, den im Frühjahr in der LÖB-Decke ansteigenden Spiegel ungespannten Boden-Wassers in Höhe der A-Horizont-Unterkante lokal zu "köpfen" und dadurch den A_p ackerfähig zu halten.

Die löß-begrabene Sand-Rinne hat hier keinen Kontakt mit dem Oberflächen-Entwässerungs-Graben. Erst 200 m unterhalb des Querprofil-Schnittpunktes wurde an einer Stelle der Austritt artesisch gespannten Wassers von unten durch die Graben-Sohle beobachtet.

P2, Sammel-Mulde im Unterhang-Bereich, Abb. 5

Durch die auf Karte 1 als Areal III ausgeschiedene Unterhang-Mulde entwässert das gesamte von hydrologischen Wasserscheiden eingegrenzte Plateau und Oberhang-Areal zur nördlich anschließenden Senke hin. Der Querschnitt durch diese Mulde in Abb. 5 läßt ein völliges Fehlen gut wasserleitender Sand- oder Kies-Lagen unterhalb des Lösses erkennen, d.h., das in den Sandrinnen der Oberhang-Mulden abziehende Sickerwasser stößt in der Unterhang-Flachmulde gegen den wenig durchlässigen Löß im Untergrund und wird hier angestaut. Auf einen solchen Gegenstau ist schon der Austritt von Druck-Wasser im Entwässerungs-Graben zwischen den Arealen II und IIa (Karte 1) zurückzuführen. Die in feuchten Wintern eintretende Überflutung des Waldes bei den Meßstellen 25 und 27 erfolgt ebenfalls aufgrund des Durchtritts von hochgestautem Grundwasser. In Abb. 5 ist nur der grobe stratigraphische Aufbau der quartären Decke dargestellt. Auf die Angabe nässe-anzeigender Boden-Phänomene ist verzichtet.

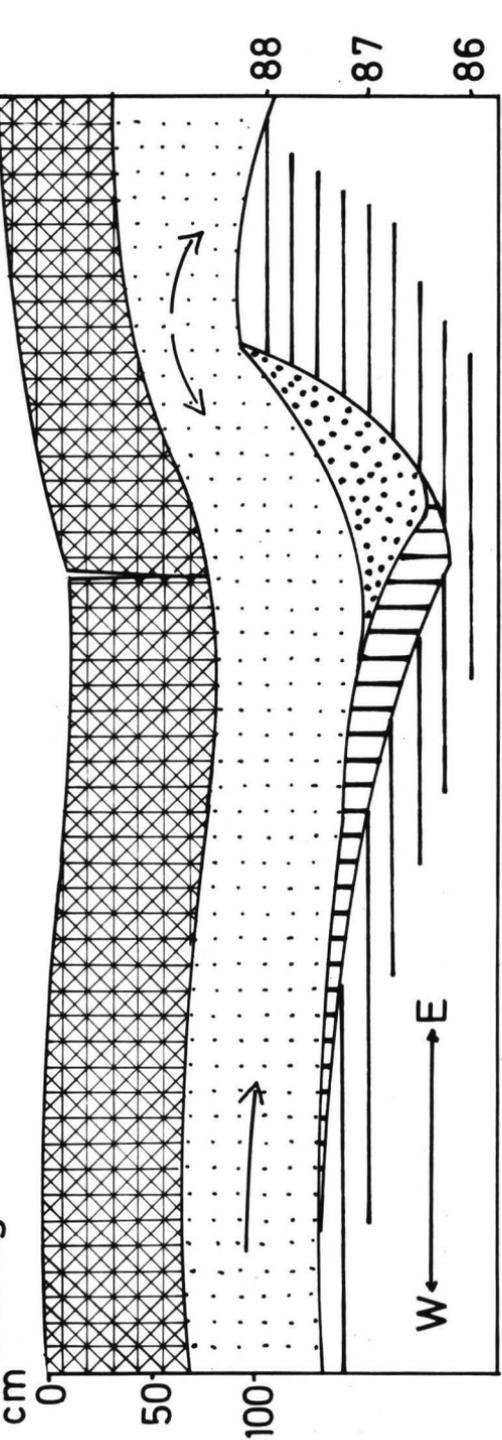
Abb. 4

Querprofil P1 Borsum

Lößmächtigkeit
cm

Untergrund
m.ü.NN

HWS



0 100 200 300 400 500 m

Mehr oder weniger dichte Kalk-Konkretionen im oberen Teil des CS-Horizontes und eine durchgehende Red-Ox-Marmorierung des Löß-Materials ist hier überall vorhanden.

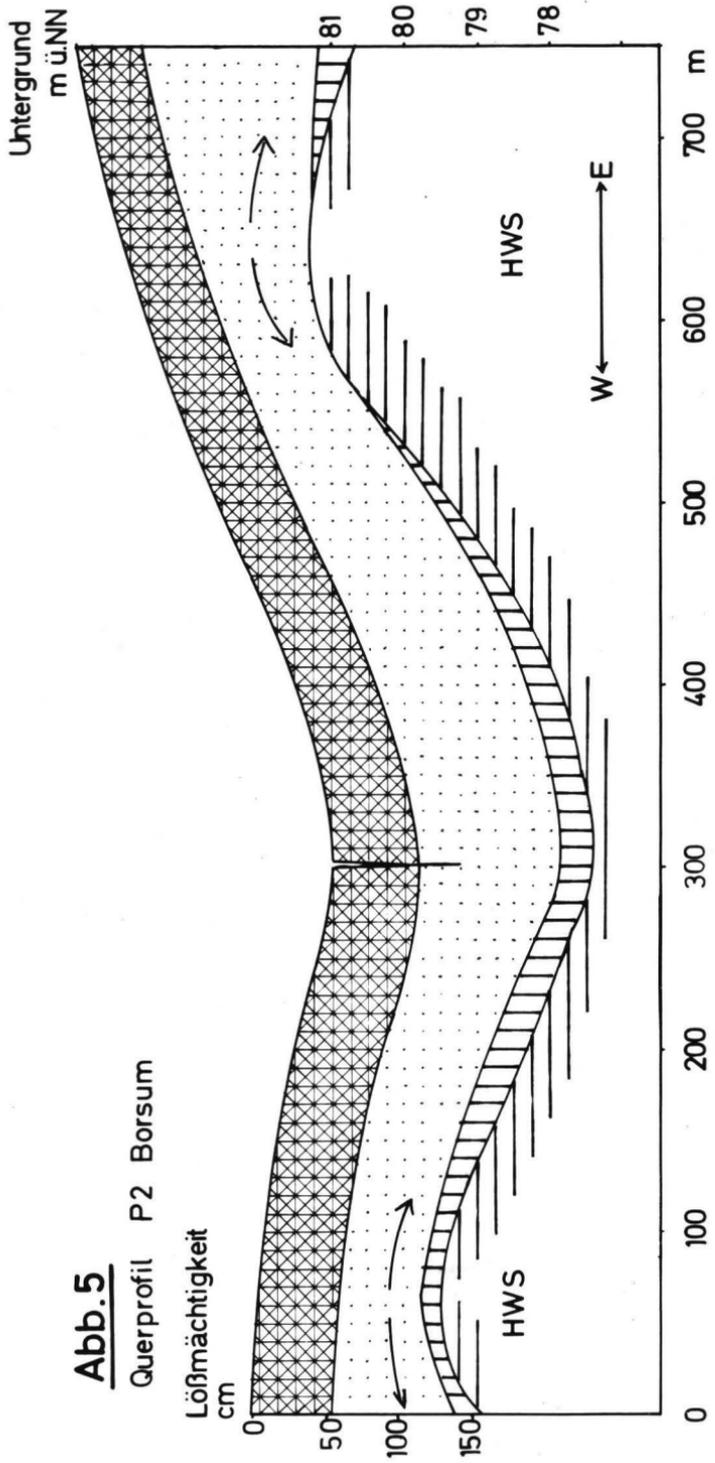
Durch den Haupt-Sammelgraben in P2 kann also zusätzlich zu dem Oberflächen- und Dränage-Wasser aus dem Oberhang-Bereich nur noch angestautes ungespanntes Grundwasser der Löß-Decke abgeführt werden, wenn dieses — jahreszeitlich bedingt — die Höhe der Grabensohle erreicht.

Die Straße Borsum-Harsum stellt den hydrologischen Abschluß des gesamten 142 ha großen Feucht-Schwarzerde-Bilanz-Gebietes dar. In dem höchstens 100 bis 130 cm dicken Löß-Paket zwischen Straßen-Packlage und Ton-Untergrund können nur unbedeutende Wasser-Mengen das Gebiet verlassen, weil a) die hydraulische Leitfähigkeit des Lösses zu gering und die hydrostatischen Druck-Differenzen zu klein sind und b) die Grabensohle des straßenbegleitenden Haupt-Entwässerungs-Grabens bis in die Mitte des Löß-Paketes einschneidet. Somit ist an der Meßstelle W III (Karte 1, Straßen-Unterführung des Entwässerungs-Grabens) durch eine einfache Messung des Graben-Abflusses mittels eines Meß-Wehres der Gesamt-Abfluß des Bilanz-Gebietes zu erfassen.

3 FEUCHT - SCHWARZERDE / GRISERDE - LANDSCHAFTS - AUSSCHNITT BEI ALGERMISSEN (B)

Karte 8 gibt einen topographischen Überblick. Die Gelände-Gestalt ist der bei Borsum ähnlich: Ein flacher vom Ton gebildeter annähernd W-E-streichender Hügel-Rücken geht nach N und S in breite Löß-Schwarzerde-Senken über. Auch hier ist das vom Ton-Untergrund geprägte Relief der Landschaft von einer annähernd gleich starken Löß-Decke überzogen, die in die Ton-Sohle lokal eingebettete pleistozäne Sediment-Reste überdeckt.

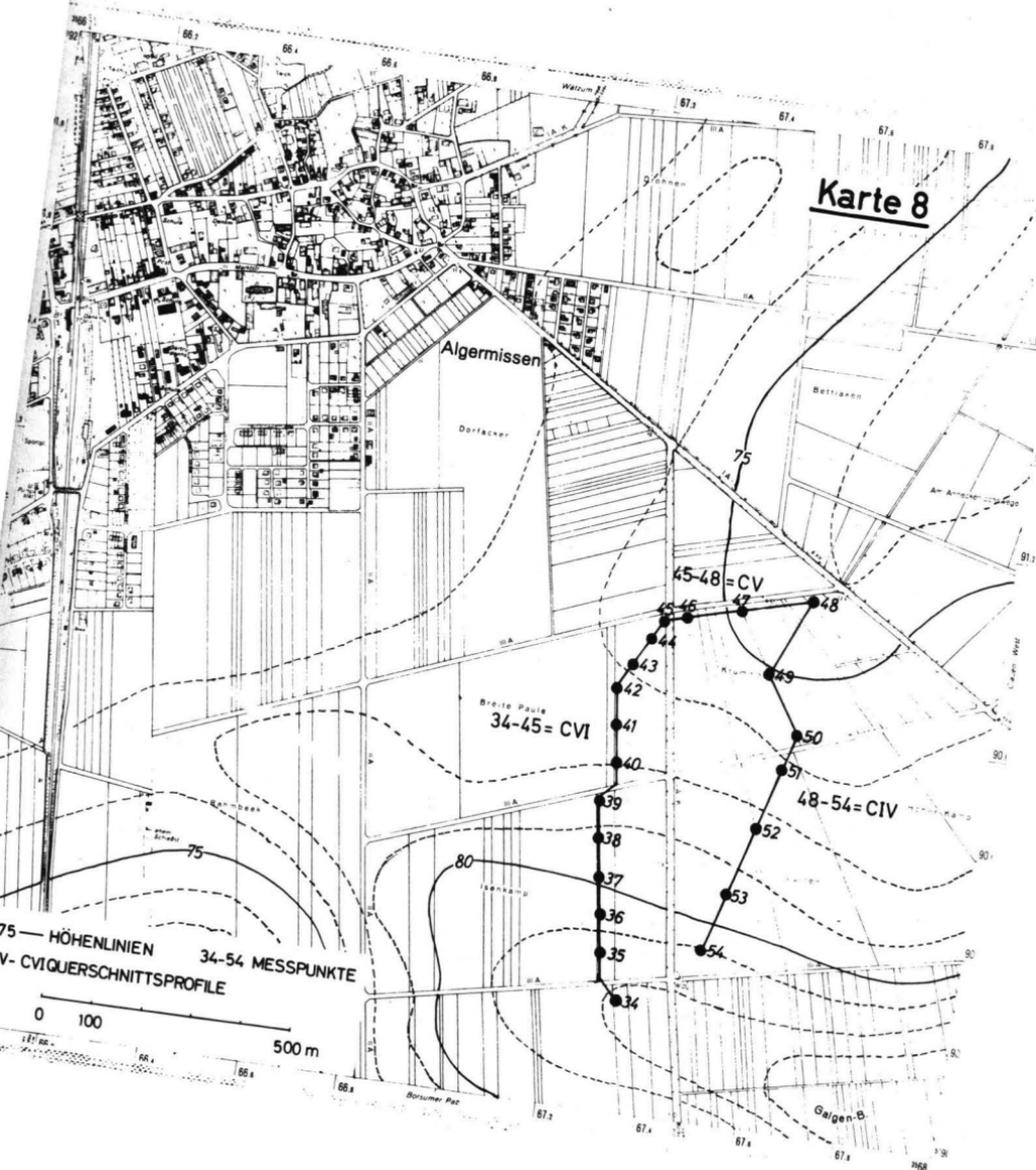
Abweichend von der unter A analysierten Feucht-Schwarzerde-Landschaft besteht die aus dem Löß hervorgegangene holozäne Boden-



Decke im Kamm-Bereich des Hügel-Rückens nicht aus Feucht-Schwarzerden, sondern aus Griserden mit Übergängen zu Parabraunerden. Karte 9 bringt ein Luftbild dieses Landschafts-Ausschnittes. Die eingezeichneten Linien grenzen die auf der Bodenkarte 1:25 000, Blatt Sarstedt (3) eingetragenen Bodentypen-Areale gegeneinander ab. Tabelle 1 gibt dazu die Erläuterungen:

Aus der Senken-Region im NE und S zieht sich nach der Bodenkarte die Schwarzerde-Decke an den Hügel-Flanken aufwärts bis nahe an den Kamm-Bereich des Hügel-Rückens heran. Die A-Horizonte dieser Feucht-Schwarzerden sind durchweg entkalkt. Nur im Senken-Tiefsten kommen lokal primär kalkhaltige oder sekundär aufgecalcite A-Horizonte vor. Die Entkalkungs-Tiefen sinken im Unter- und Mittelhänge-Bereich unter den A-Horizont ab. Die Boden-Zonierung innerhalb des die Hänge bedeckenden Schwarzerde-Areals ist vom Kartierer (3) im wesentlichen aufgrund des "Degradierungs-Zustandes" der A-Horizonte vorgenommen worden. Die hangaufwärts zunehmende "Degradation" der Schwarzerde A-Horizonte äußert sich danach zunächst in einem Farb-Umschlag nach Dunkel-Graubraun im A_p , meist schon in Verbindung mit einer "Vergrauung" (Vergrisierung) des tieferen A_n -Horizontes. Ursache hierfür ist die nach frühzeitiger Entkalkung unter Wald eingetretene Schluff-Ton-Segregation. Die Mächtigkeit der im unteren Teil des A-Horizontes konservierten "Schwarzerde-Reste" nimmt ab. Die Filtrations-Verlagerung von schwarzem, humus-umhüllten A-Horizont-Ton, die zunächst nur innerhalb des A-Horizontes erfolgte, greift auf den B-Horizont über.

Endglied dieser "Degradations-Folge" oder Genosequenz ist die "Griserde", deren ehemaliger Schwarzerde-A-Horizont mehr oder weniger vollständig zu einem graubraunen, tonarmen Al-Horizont umgewandelt ist. Solche Griserden lassen pedo-morphologisch ihre Schwarzerde-Vergangenheit dadurch erkennen, daß an der Grenze Al/Bt sporadisch dunkle A-Horizont-Reste erhalten geblieben sind und der in den Poren des Bt-Horizontes akkumulierte Ton schwarz gefärbt ist. Zwischen dem schwarzerdebürtigen Typus der Griserde und dem braunerdebürtigen Typus der eigentlichen Para-



braunerde ohne sichtbare Schwarzerde-Vergangenheit, d.h. ausschließlich brauner Ton-Infiltration im Bt, existieren mehrere "morphosequente" Zwischenstufen, die in Karte 9 unter dem Buchstaben E zusammengefaßt sind. Mit zunehmendem Degradations-Grad des A-Horizontes verstärkt sich der Farb-Umschlag der Ackerkrume bei Austrocknung im Frühjahr, wie in Absatz 1.1.2 beschrieben wurde.

Das am 12.5.1964 aufgenommene Luftbild läßt die Degradations-Zonierung anhand der Frühjahrs-Farbdifferenz der Boden-Oberfläche deutlich erkennen. Zwar decken sich die kartierten Areal-Grenzen der kleinmaßstäblichen Bodenkarte nicht genau mit den tatsächlichen Boden-Areal-Grenzen der großmaßstäblichen Detail-Kartierung, doch wird folgendes deutlich:

Die Aufhellung der Boden-Oberfläche ist nicht nur auf den Gris- und Parabraunerde-Bereich beschränkt, sondern dehnt sich abschwächend in die Zonen D und C, d.h. die Zonen mit stärker degradierten Schwarzerden hinein aus.

Das Verbreitungs-Gebiet der Löß-Griserden und Löß-Parabraunerden erstreckt sich unter fächerartiger Erweiterung aus der Kamm-Zone des Hügel-Rückens nach NW hangabwärts in Richtung Algermissen und breitet sich hier erneut ansteigend über eine andere Flach-Kuppe aus. Nach der Bodenkarte 1:25 000 zu schließen, ist das Griserde/Parabraunerde-Verbreitungs-Gebiet an die Anwesenheit einer breiten mit pleistozänen Sand-Kies und Grundmoränen-Resten gefüllten Flach-Rinne gebunden, welche in den unterlagernden Ton eingetieft ist und welche die Löß-Decke entwässert. Darin ist die Ursache für die rasche und tiefreichende Entkalkung des überlagernden Lösses während des Holozäns zu suchen. Der Wasserzug scheint diesem kohärenten, gut wasserleitenden Rinnen-System auf Algermissen zu gerichtet zu sein.

Beispiele für ähnliche hydrologische Gegebenheiten mit oberflächennahen Drän-Systemen unterhalb der Löß-Decke in Plateau-, Kamm- und Oberhang-Lage sind in der Hildesheimer Börde-Landschaft häufiger anzutreffen. So zeigte zum Beispiel der Durch-

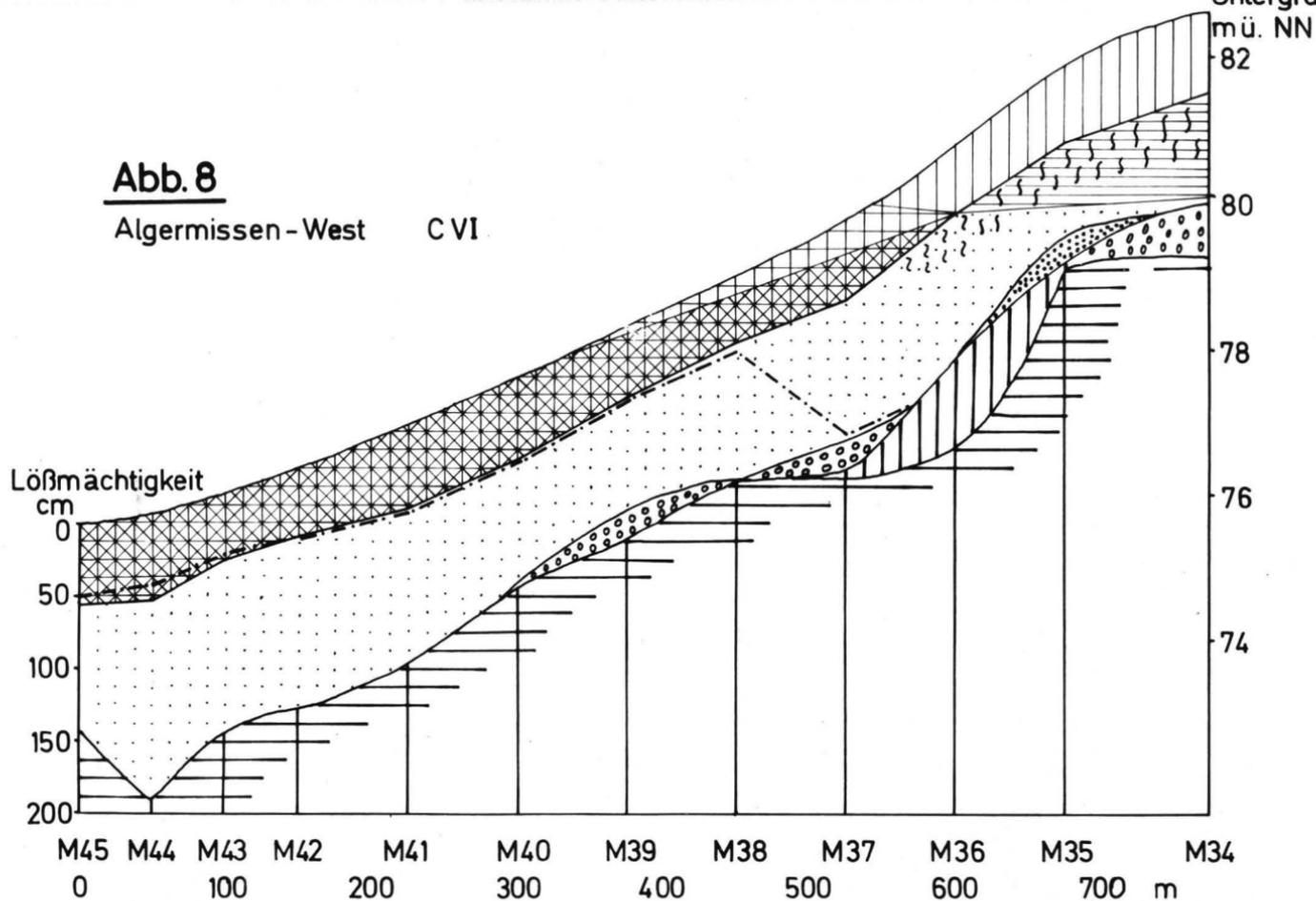


Tabelle 1 : Bodenzonen-Abfolge von Norden nach Süden aus der Bodenkarte 1:25000 Blatt Sarstedt nach ROESCHMANN (3) mit eigenen Angaben in Klammern
 Untersuchungs-Gebiet Algermissen (als Legende zu Karte 9)

| Buchstabe | Kartier-Einheit | Bodentyp | A-Horizont | Nässe-Grad | Mächtigkeit und Kalkzustand des A-bzw. B _t -Horizontes | Entkalkungstiefe der Löss-Decke | Löss-Unterlage |
|-----------|-----------------|---------------------------|---|------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| A | Ts 2 | Schwarzerde | Krumendegradation | schwach-mäßig pseudovergleyt | A kalkfrei 4-7 dm | über kalkhaltigem Löss | Ton |
| B | Tsb' 3 | Schwarzerde | schwach, örtlich mäßig degradiert | mäßig pseudovergleyt | A kalkfrei 4-7 dm | kalkfrei bis 5 dm unter A | Ton |
| C | Tsb 2 | Schwarzerde | mäßig degradiert | mäßig pseudovergleyt | A kalkfrei 3-7 dm i.o. Teil dunkelbraun | kalkfrei bis 5 dm unter A | Ton |
| Db | Tb1s | Schwarzerde | stark degradiert mit Tondurchschlämzung | mäßig-stark pseudovergleyt | A kalkfrei 4-6 dm dunkelbraun schwach toniger B _t | kalkfrei bis 5 dm unter A | Ton |
| Ea | Lbt 3 | Para-braunerde (Griserde) | oft mit Resten stark degradiert erde im Profil | schwach pseudovergleyt | schwach bis mäßig toniger B _t ab 5-8 dm Tiefe | (Entkalkung meist bis zur Löss-Basis) | pleist. Sand, Kies u. Schotter |
| Eb | Lbt 2 | wie Ea | wie Ea | wie Ea | wie Ea | wie Ea | Grundmoräne, Fließerde |
| Ec | Lb 1 | Para-braunerde | keine Schwarzerde-Reste vorhanden | ----- | mäßig toniger B _t -Horizont ab 5-8 dm Tiefe | (Entkalkung meist bis zur Löss-Basis) | pleist. Sand, Kies Schotter |
| Db | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. |
| Da | Tbs 2 | Schwarzerde | stark-degradiert selten mit schwarz-braunem Bodenrest | mäßig-stark pseudovergleyt | A kalkfrei 4-6 dm dunkelbraun | kalkfrei bis 5 dm unter A | Ton |
| B | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. |
| A | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. | s.o. |

Abb. 8

Algermissen - West C VI



stich des Höhen-Rückens Borsum/Asel bei der Anlage der neuen Umgehungsstraße Asel-Harsum-Bründeln, daß hier eine die Kamm- und Plateau-Zone bildende, tief in den Ton-Flachrücken einschneidende pleistozäne Schotter-Rinne die Entwässerung ausgedehnter Plateau- und Oberhang-Bereiche des Kreide-Ton-Rückens übernimmt. Beim Anschneiden erzeugte sie eine stark fließende Quelle. Die Entwässerung der Löß-Schwarzerde-Decke auf dem Plateau und am Oberhang erfolgte demgemäß hier nicht in Form eines dem Oberflächen-Gefälle entsprechenden Hangwasser-Abzuges, sondern in Form eines nach innen auf die Rücken-Achse zu gerichteten Sickerwasser-Stromes. Dieser wurde von der leicht geneigten Kies-Füllung aufgenommen und in der Streich-Achse des Rückens abgeführt.

Die hydrostratigraphische Situation des Untersuchungs-Areals Algermissen geht aus den Querschnitt-Profilen CIV und CVI (Abb. 6 und 8) hervor, die annähernd in der Gefälls-Linie des Nordhanges quer durch die auf der Bodenkarte ausgeschiedenen Boden-Zonen-Folge gelegt wurden.

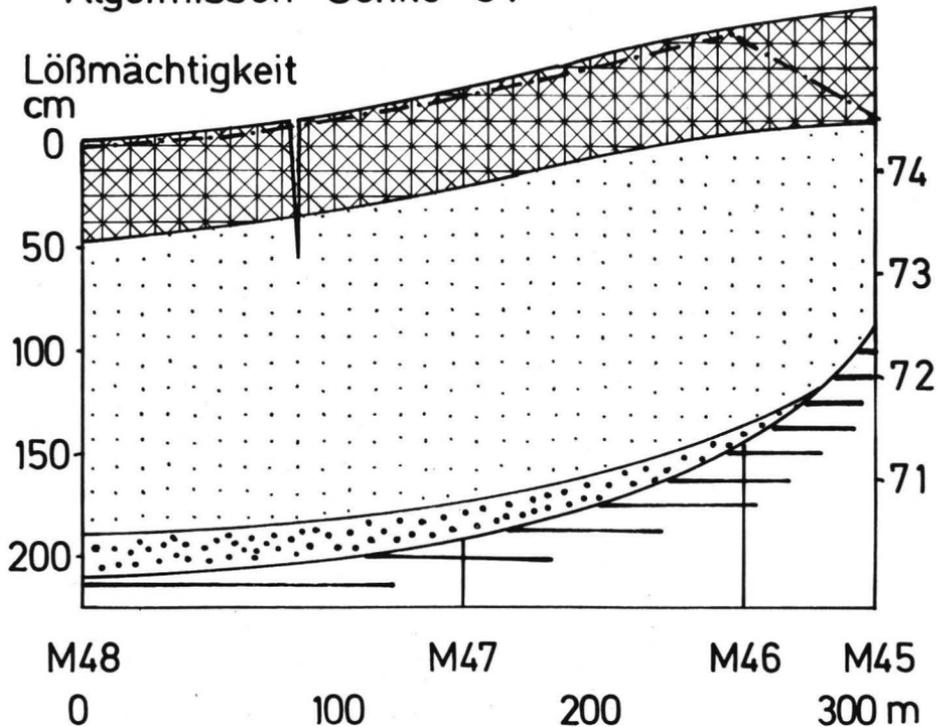
Abb. 8 (Hangprofil VI) läßt die Entwässerungs-Wirkung erkennen, welche die unterhalb der Löß-Decke in den Ton-Untergrund eingebetteten oder dem Ton-Untergrund auflagernden pleistozänen Sand- und Kies-Lagen auf die Löß-Böden im Oberhang-Bereich ausüben. Die einzelnen Kies- und Sand-Drän-Körper sind senkrecht oder schräg geschnitten. Die Zug-Richtung des von ihnen aufgenommenen ungespannten Wassers ist auf den Betrachter zu gerichtet. Als "Grundwasser-Sohle" fungieren neben dem mesozoischen Ton auch Reste der tonigen, solifluidal überformten saalezeitlichen Grundmoräne.

Soweit, wie die Kies-Rinnen-Entwässerung wirkt, ist die Löß-Decke heute vollständig entkalkt. Als Folge der Entkalkung hat sich die Bildung von Bt-Horizonten vollzogen. Sie besteht in der Verbraunung und Ton-Bildung (brauner Ton) sowie Infiltration von schwarzem A-Horizont-Ton. Die tonverarmten Al-Horizonte sind aufgehellt. Das Maximum der Bodenentwicklung findet sich in den obersten Hang-Abschnitten, in denen die unterirdische Entwässerung der Löß-Decke am wirksamsten ist und die Entkalkung am wenigsten behindert wurde. Hangabwärts nimmt mit abnehmender Löß-Entwässerung der Konservierungs-Grad der Feucht-Schwarzerde zu; die Kalkgrenze steigt bis an die Unterkante des A-Horizontes an. Von Meßpunkt 38 an abwärts stellt sich im Mittel- und Unterhang-Bereich

Abb.7

Algermissen - Senke CV

Untergrund
m ü. NN



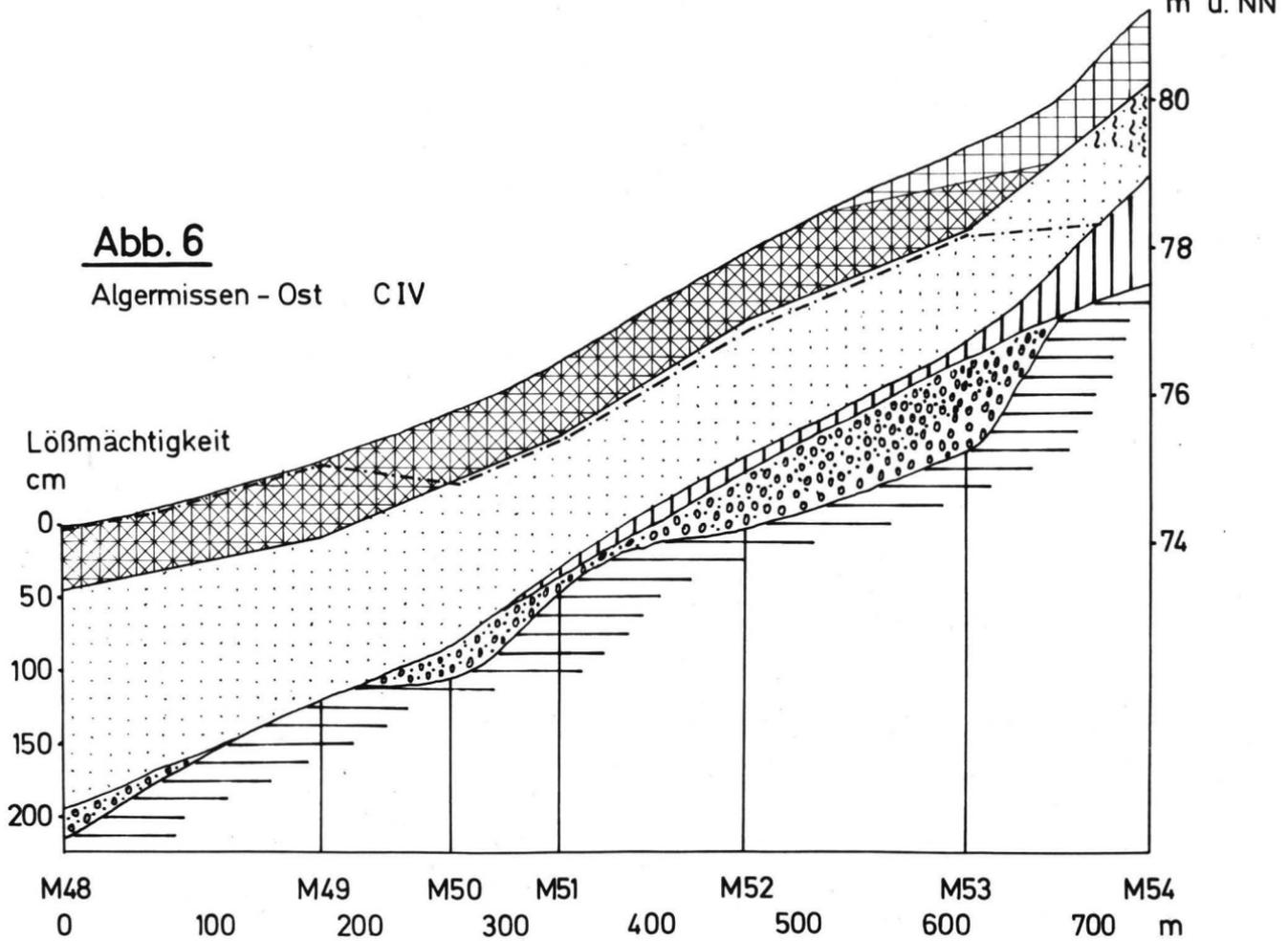
offenbar ein autonomes Hang-Hydroregime ein, daß vom hydrologischen Geschehen im Oberhang-Bereich nicht oder nur sehr geringfügig beeinflusst wird. Es dürfte dem in der gesamten Feucht-Schwarzerde-Landschaft von Borsum gegebenen ähnlich sein. Die Anordnung und Verbreitung von Kalk-Konkretions-Horizonten und Marmorierungs-Horizonten ist ähnlich der in Abb. 1 für das Querprofil CI angegebenen. Auf eine detaillierte Darstellung kann daher verzichtet werden.

Das parallele Hang-Profil CIV, Abb. 6, weicht insofern von Profil CVI ab, als hier die obere Kies-Rinne durch eine jüngere, evtl. weichselzeitliche Solifluktions-Decke aus tonigem Grundmoränen-Kreideton-Gemisch überzogen und abgedichtet wird. Vermutlich kann die Löß-Decke nur durch einige bei den Bohrungen nicht erfaßte Fenster in den Kies hinein entwässern. Die Entkalkung des Lösses ist dadurch deutlich gegenüber CVI gehemmt und erreicht nur im obersten Hang-Abschnitt und in der Kamm-Zone ein stärkeres Ausmaß. Profil CV (Abb. 7) folgt etwa der Tiefen-Linie der nördlich anschließenden Schwarzerde-Senke und stellt die Quer-Verbindung zwischen den Hang-Profilen CIV und CVI dar. Die hydrologische Situation gleicht der in der Entwässerungs-Mulde der Feucht-Schwarzerde-Landschaft bei Borsum. Die dünne basale Sand-Auskleidung der Mulde ist für die unterirdische Gebiets-Entwässerung bedeutungslos, da sie unzusammenhängend ist und nördlich der Straße unter dem Löß auskeilt. Wie bei Borsum erfolgt der Gebiets-Wasser-Abfluß ausschließlich in dem offenen, nach NE führenden Graben. Dieser führt lediglich im Frühjahr Wasser. Er wird aus dem Rohr-Dränage-System einiger Ackerflächen und dem episodisch über das Niveau der Grabensohle angestauten, ungespannten Bodenwasser gespeist.

Ohne eingehende hydrologische Messungen legt die pedo-morphologische Gliederung der Löß-Boden-Decke in Verbindung mit der stratigraphischen Hang-Gliederung bereits folgende hydrologische Erklärung für den Unterschied zwischen der reinen Feucht-Schwarzerde- und der Feucht-Schwarzerde/Griserde-Teil-Landschaft nahe:

Abb. 6

Algermissen - Ost CIV



In seinen Mittel-, Unterhang- und Senken-Arealen ist der Wasser-Haushalt des Landschafts-Ausschnittes bei Algermissen als ein weitgehend autonomer, d.h. kaum von den höher gelegenen Arealen her beeinflusster separater Teil-Bezirk anzusehen. Er dürfte nach der Übereinstimmung seiner Boden-Decke mit dem der reinen Feucht-Schwarzerde-Teillandschaft bei Borsum identisch sein.

4 DAS PEDOHYDROLOGISCHE UNTERSCHIEDUNGS-MERKMAL

Die Erweiterung des Bodentypen-Spektrums in der Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft durch die Griserde und Parabraunerde ist lediglich der Einschaltung eines zusätzlichen hydrologischen Landschafts-Elementes zuzuschreiben, das ebenfalls als ein in sich autonomer hydrologischer Bezirk aufzufassen ist. Dieses Landschafts-Element besteht in der Einbettung von großflächigen, kohärenten unterirdischen Kies-Flach-Rinnen in den Ton-Untergrund, die einen relativ scharf begrenzten Einzugs- und Entwässerungs-Bereich besitzen. Landschafts-Ausschnitt A (Feucht-Schwarzerde-Landschaft bei Borsum) stellt somit in pedo-hydrologischer Sicht eine "Ein-Bezirks-Teillandschaft" dar. In ihr ist aufgrund der im Jahres-Rhythmus fluktuierenden hydrologischen Zonen-Grenzen keine weitergehende stationäre pedo-hydrologische Untergliederung denkbar. Sie dürfte vielmehr als Kontinuum zu charakterisieren sein. Der Landschafts-Ausschnitt B, die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft bei Algermissen, stellt dagegen eine "Zwei-Bezirks-Teillandschaft" mit stationären pedohydrologischen Trenn-Linien dar.

Leider ließ sich bei Algermissen keine eindeutige hydrologische Hang-Wasserscheide feststellen. Somit entfiel eine sichere Abgrenzung von bilanzfähigen Einzugs-Gebieten. Die boden-hydrologischen Messungen wurden daher auf die Erfassung der jahreszeitlichen Speicherwasser-Vorräte an den einzelnen bodentypologisch differenzierten Meß-Standorten beschränkt. Dies geschah in der Absicht, diese Meßpunkte mit den bei Borsum in ihrem Wasserhaushalt sicher bilanzmäßig zu erfassenden Böden zu vergleichen. Auf diesem Wege schien die Möglichkeit gegeben, zu Aussagen über die

Wechselbeziehungen zwischen pedo-morphologischer Profil-Ausprägung und standorts-spezifischem Wasserhaushalt zu gelangen.

5 Z U S A M M E N F A S S U N G

In der Hildesheimer Löß-Börde werden aufgrund von Bohr-Kartierungen zwei bodenkundlich und bodenhydrologisch repräsentative Landschafts-Ausschnitte ausgeschieden: Der eine repräsentiert die Feucht-Schwarzerde-Landschaft, der andere die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft. Beiden gemeinsam ist folgender sediment- und pedostratigraphischer Aufbau: Über wasserundurchlässigen Tonen der Unterkreide liegen geringmächtige Löß-Decken, deren holozäne Bodentypen der Morphosequenz Feucht-Schwarzerde

→ Griserde angehören. Der bodentypologisch differenzierende Faktor in diesen Landschaften besteht in der lokalen Einschaltung geringmächtiger, wasserleitender quartärer Grobsedimente zwischen Ton-Sohle und Löß. Die hydrologische Auswirkung dieser Drän-Körper auf die Boden-Entwicklung beruht auf der Entwässerung der Löß-Decke, der dadurch beschleunigten Entkalkung und der Ermöglichung bodengenetischer Folge-Prozesse wie Verbraunung, Tonbildung, Ton-Verlagerung und A-Horizont-"Degradation". Pedohydrologisch gesehen ist die Feucht-Schwarzerde-Landschaft eine "Ein-Bezirks", die Schwarzerde/Griserde-Landschaft eine "Zwei-Bezirks-Landschaft".

Aufgrund einer feinstratigraphisch-pedomorphologisch detaillierten Kartierung wird ein für die Ermittlung von Landschafts-Wasserhaushalts-Bilanzen geeignetes Bezugs-Gebiet in der Feucht-Schwarzerde-Landschaft ausgeschieden, untergliedert und durch Meßstrecken und Gelände-Querschnitts-Profile charakterisiert. In ihm sollen später Wasser-Haushalts-Bilanzierungen durchgeführt werden. Ziel ist, die Beziehungen zwischen Bodentyp und WasserhaushaltsTyp des Standortes zu klären. Dazu werden die Auswahl-Kriterien für Repräsentativ-Landschaften und Bezugsstandorte eingehend diskutiert.

In der Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft werden in Ermangelung geeigneter Bilanz-Objekte bodentypologisch differenzierte Stand-

orte ausgeschieden, die dem Vergleich mit den Standortstypen der Feucht-Schwarzerde-Landschaft dienen sollen.

Als Grundlage für spätere Flächen-Kalkulationen und Meß-Ansätze befaßt sich die vorliegende Arbeit in erster Linie mit der morphologischen Aufnahme bodentypologischer Phänomene und stratigraphischer Gegebenheiten im Hinblick auf die Korrelation mit hydrologischen Standorts-Eigenschaften.

6 L I T E R A T U R - U N D K A R T E N V E R Z E I C H N I S

1. HASE, D. und MEYER, B. (1969): Feuchte-Jahresgang, Wasser-Bewegungen und -Bilanzen in dicken Würmlöß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichem Grundwasserstand im Raum Niedersachsen. Göttinger Bodenkundl. Ber. 11, 85 - 183
2. MEYER, B. (1966): Biologische Probleme der A-Horizont-Verblässung entkalkter Schwarzerden. Colloquium-Dynamik der Bodenlebensgemeinschaft, Exkursionsführer 1 - 12
3. ROESCHMANN, G. (1968): Pseudogley-Tschernoseme und deren Übergangsbildungen zu Parabraunerden im Löß-Gebiet der Hildesheimer Börde. Geol. Jb. 85, S. 841 - 860 (1968)
1. GROTELÜSCHEN, W. und MUUSS (1967): Luftbildatlas Niedersachsen. K. Wachholtz-Verl. Neumünster, 200 S. Blatt 57, S. 128/29
2. HOYNINGEN-HUENE, v. (1936): Bodenkundlicher Atlas von Niedersachsen. Abt. A 56, Bodenkarte 1:100 000, Blatt 311, Hildesheim
3. EBERT, A. (1924): Geologische Übersichtskarte von Deutschland 1:200 000, Bl. 86 Hannover
4. KOENEN, A. v., SCHUCHT, F. und DAHLGRÜN, F. (1908 -1927): Geologische Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1:25 000, Blätter 3725 Sarstedt, 3825 Hildesheim, 3826 Dingelbe
5. NIEDERSÄCHS. LANDES-VERWALTUNGS-AMT (Hrsg.) (1950-1953): Deutsche Grundkarte 1:5 000, Blätter Harsum-Ost, Borsum, Asel-Ost, Hönnersum, Algermissen
6. NIEDERSÄCHS. LANDES-VERWALTUNGS-AMT (Hrsg.) (1958-1963): Topograph. Karte 1: 50 000, Blätter L 3724 Hannover, L 3726 Peine, L 3924 Hildesheim, L 3926 Salzdethfurth
7. NIEDERSÄCHS. LANDES-VERWALTUNGS-AMT (Hrsg.) (1961-1965): Topograph. Karte 1:25 000, Blätter 3725 Sarstedt, 2726 Hohenhameln, 3825 Hildesheim, 3826 Dingelbe
8. NIEDERSÄCHS. LANDES-VERWALTUNGS-AMT (Hrsg.) (1961-1965): Bodenkarte auf der Grundlage der Reichs-Bodenschätzung 1:5 000, Blätter Hönnersum und Algermissen

9. ROESCHMANN, G. (1962):
Bodenkarte von Niedersachsen
1:25 000, Blatt 3725 Sarstedt
10. ROESCHMANN, G. (1969):
Agrarstrukturelle Vorplanung im
Großraum Hannover, Bodenübersichts-
karte 1:100 000, Verband Großraum
Hannover 1969
11. SCHRADER, E. (1970):
Die Landschaften Niedersachsens,
topographischer Atlas, 4.Aufl.,
Verl. K. Wachholtz, Neumünster,
Blätter Nr. 95, 96. Hrsg.:Nieders.
Landesverwaltungsamt, Hannover
12. SELLKE, M. (1934):
Bodenkarte Niedersachsen-Süd
1:200 000, I. Bodenarten und -
Schichtung, II. Bodenentstehungs-
typen, III. Bodenklassen, Verl.
G.Stalling, Oldenburg
13. SELLKE, M. (1935):
Die Böden Süd-Niedersachsens, Textbd.
Wirtschaftswiss. Gesellschaft z.
Studium Niedersachsens eV., Reihe B
"Forschungen", H. 12, Verl. G.
Stalling, Oldenburg, 197 S.
14. WORTMANN, H. (1942):
Die Böden in der Umgebung von
Hannover
Jb. d. Geographischen Ges. zu Hannover
1940/41

Beese, F., und Meyer, B.:

**DER WASSER-HAUSHALT VON FEUCHT-
SCHWARZERDE - UND GRISERDE-LAND-
SCHAFTEN IM NIEDERSÄCHSISCHEN LÖSS-
VORLAND DER MITTELDEUTSCHEN
SCHWELLE**

II

POREN-RAUM UND -VERTEILUNG IN
BEZIEHUNG ZUM BODENTYP ALS
GRUNDLAGE FÜR DIE KALKULATION
DER SPEICHER - KAPAZITÄT
DER BODENDECKE IN DER LANDSCHAFT

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 22, 47-81
(1973)**

GLIEDERUNG

| | Seite |
|--|-------|
| 1 <u>PROBLEMSTELLUNG</u> | 49 |
| 2 <u>METHODIK</u> | 51 |
| 3 <u>BODENTYPOLOGISCHE ÜBERSICHT</u> | 52 |
| 4 <u>BODENPHYSIKALISCHE CHARAKTE - RISIERUNG DER TYPEN - GRUPPEN</u> | 55 |
| 4.1 <u>ACKER-FEUCHT-SCHWARZERDEN</u> | 55 |
| 4.2 <u>WALD-FEUCHT-SCHWARZERDEN</u> | 62 |
| 4.3 <u>VERGRISTE ACKER-FEUCHT-SCHWARZERDEN</u> | 67 |
| 4.4 <u>FEUCHTE BRAUNE GRIS-SCHWARZERDEN</u> | 67 |
| 4.5 <u>GRISERDEN</u> | 71 |
| 5 <u>KALKULATION DES WASSER - SPEICHER - VOLUMENS DER QUARTÄREN SEDIMENT / BODEN - DECKE</u> | 74 |
| 6 <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | 78 |
| 7 <u>LITERATUR</u> | 81 |

1 PROBLEMSTELLUNG

In Teil I dieser Publikations-Folge wurden zwei unter pedo-hydrologischen Gesichtspunkten abgegrenzte Teil-Landschaften des Hildesheimer-Raumes beschrieben. Die eine stellt ein geschlossenes Verbreitungs-Gebiet von Feucht-Schwarzerden dar, die andere enthält neben Feucht-Schwarzerden deren "Degradations-Formen" bis hin zum Typus der Griserde bzw. Parabraunerde. Beiden Landschaften ist folgender stratigraphischer Aufbau gemein: Über wasser-undurchlässigen Tonen der Unterkreide folgen geringmächtige, meist unzusammenhängende Reste pleistozäner Sedimente (Grundmoräne, Schotter, Sande, Fließerden), deren Mächtigkeit wenige dm nicht übersteigt. Die flachhügelige Landschaft ist von einer im Schnitt 140 cm starken würm/weichselzeitlichen Löß-Decke überzogen, aus der die oben genannten holozänen Bodentypen hervorgegangen sind. Griserden finden sich in dieser von Feucht-Schwarzerden beherrschten Landschaft nur dort, wo unter der Löß-Decke wasserzügige Kiese und Sande auftreten. Abgesehen von diesen Sonderfällen, läßt sich das hydrologische Geschehen innerhalb der Landschaft im wesentlichen auf den Wasser-Umsatz der ca. 1,1 bis 2,0 m mächtigen quartären Deckschicht über der Ton-Sohle limitieren.

Der vorliegenden Arbeit ist folgende Frage vorangestellt:
Wie läßt sich der Wasser-Speicherraum der quartären Sediment- und Boden-Decke solcher Teil-Landschaften quantitativ ermitteln und damit als Berechnungs-Grundlage für das "Vorrats-Änderungs-Glied (R)" der Wasser-Haushalts-Gleichung der Landschaft verwenden.

Ein Weg zur Lösung dieses Problems wäre die Untergliederung der gesamten Sediment- und Boden-Decke in Bezirke mit einheitlichem physikalischem Aufbau. Das wäre z.B. mit Hilfe zahlreicher Einzel-Bestimmungen des Poren-Raumes und der Poren-Verteilung an dicht über die Gesamt-Fläche gestreuten Meß-Profilen möglich. Wegen des damit verbundenen Arbeits-Aufwandes und der dennoch stets unscharf bleibenden Grenzziehung zwischen den Teil-Bezirken scheidet dieses Verfahren aus.

In Teil I wurde bereits die Beziehung zwischen der hydrologischen Gelände-Situation und der Verbreitung einzelner Boden-Subtypen dargestellt. Diese Beziehungen erlauben eine Untergliederung der Gesamt-Bodenfläche in bodentypologisch-morphologisch mehr oder weniger einheitliche Teil-Bezirke. Ähnlich der von ROESCHMANN (5) im kleineren Kartenmaßstab durchgeführten Gruppierung lassen sich solche boden- und sediment-morphologisch abgegrenzten Areale auch in unseren Repräsentativ-Landschaften im großen Maßstab durch eine bestimmte Kombination von Sediment-Körper (hier in erster Linie Löß) und Bodentyp charakterisieren.

Es ergibt sich daraus die zweite Frage, ob diese rein pedo-morphologisch abgegrenzten Bezirke auch pedo-physikalisch einheitliche Areale darstellen. Zur Beantwortung dieser Frage ist die Klärung der kausalen Beziehungen zwischen der Ausprägung pedogenetischer Profil-Merkmale und einer eventuell typspezifischen Poren-Verteilung herbeizuführen. Dabei sind die beiden folgenden Aspekte zu beachten: 1) Die pedomorphologische Profil-Ausprägung ist Folge eines vorgegebenen — im Laufe der Bodengeschichte unter Umständen wandelbaren — Hydroregimes des Standortes. 2) Das rezente Hydroregime ist teilweise durch die abgelaufenen pedo-morphologischen Prozesse beeinflusst. Unter beiden Aspekten ist das unterschiedliche Poren-

Volumen und die Poren-Verteilung innerhalb der quartären Deckschicht Produkt des pedomorphologischen Geschehens und des standörtlichen Hydroregimes.

2 M E T H O D I K

In Mitteilung I wurden aufgrund einer Bohrnetz-Kartierung bereits der stratigraphische Aufbau und die Bodentypen-Vergesellschaftung der beiden Landschafts-Ausschnitte dargestellt. Dabei wurden 54 Meß- und Beobachtungs-Punkte fixiert, die einerseits nach pedo-hydrologischen Gesichtspunkten entlang typischer hydrostratigraphischer Querschnitts-Profile ausgewählt worden waren, andererseits sämtliche morphologisch unterscheidbaren Boden-Subtypen der Landschaft umfaßten.

Zur Bestimmung des Poren-Volumens und der Porengrößen-Verteilung wurden im Herbst 1968 und 1969 jeweils nach der Ernte an allen 54 Meßpunkten Stechzylinder-Proben in den Tiefen 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120 und 140 cm mit jeweils zwei, unter Wald drei Entnahme-Parallelen entnommen. Der einheitliche Entnahme-Zeitpunkt bot hinreichende Gewähr für die Vergleichbarkeit der Proben untereinander. Dies ist im wesentlichen nur für den Vergleich der A_p -Horizonte von Bedeutung, die nach MEYER und SCHEFFER (4) stärkeren jahreszeitlichen Schwankungen des Poren-Volumens und der Poren-Verteilung ausgesetzt sind. In tieferen Bodenschichten ist der jahreszeitliche Einfluß als gering zu veranschlagen.

An den Stechzylindern wurden bestimmt:

- a) das Trockenraumgewicht (TRG) g/cm^3 nach Trocknung bei $105^\circ C$,
- b) das Gesamtporen-Volumen (GPV) in Vol %,
- c) die Poren-Verteilung und Wasserbindung.

Zur Ermittlung der Porengrößen-Verteilung wurden die Proben unter Luft-Vacuum völlig mit Wasser aufgesättigt und dann in der üblichen Weise nach HARTGE (2) mit verschiedenen Drucken ins Gleichgewicht gebracht. Die Auf sättigung im Vacuum zur Ermittlung der Grenz-Sättigungs-Desorptionskurve erwies sich als notwendig, da sich gezeigt hatte, daß bei der herkömmlichen kapillaren Aufsät-

tigung mit anschließender Überstauung noch 3 - 6 % Luft in den Poren enthalten war. Die Bestimmung erfolgte bei pF-Werten unter 3 in Niederdruck-Töpfen mit 2-bar-Keramikplatten (Keramische Masse P80, Staatliche Porzellan-Manufaktur Berlin) und bei pF-Werten von 3 bis 4,2 in Hochdrucktöpfen mit 15-bar-Platten der Fa. Soil Moisture Equipment, Davis/Californien.

Folgende pF-Stufen wurden bei der Druck-Entwässerung gewählt:

| pF-Wert | cm Wassersäule | Äquivalent-Porendurchmesser in μm |
|---------|----------------|--|
| 1,0 | 10 | 300 |
| 1,78 | 60 | 50 |
| 2,00 | 100 | 30 |
| 2,30 | 200 | 15 |
| 2,50 | 316 | 10 |
| 2,78 | 600 | 5 |
| 3,00 | 1000 | 3 |
| 3,30 | 2000 | 1,5 |
| 3,80 | 6000 | 0,5 |
| 4,20 | 15000 | 0,2 |

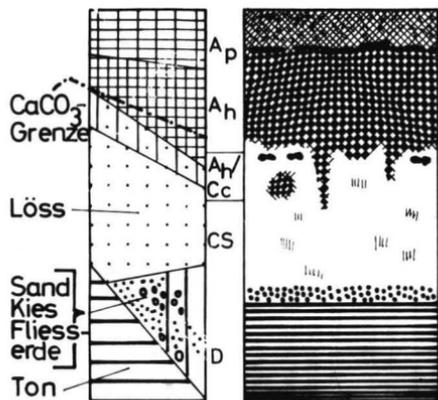
3 BODENTYPOLOGISCHE ÜBERSICHT

In Abb. 1 sind die Profile der sechs pedomorphologisch-bodenphysikalisch abgegrenzten Boden- oder Kartier-Grund-Einheiten zusammengestellt, die in den beiden Repräsentativ-Landschafts-Ausschnitten auftreten. Links von den Normal-Profilen sind jeweils die Toleranz-Diagramme für die Tiefen-Lage der einzelnen Sediment-Schichten und für die Löß-Bodenhorizonte dargestellt.

Die Zusammenfassung zu sechs Typ-Gruppen hält sich ungefähr an das von ROESCHMANN (5) gegebene Schema. Allerdings weichen die Toleranz-Grenzen in Abb. 1 von denen bei ROESCHMANN etwas ab. Unsere Zusammenfassung zu bestimmten Typen basiert auf einer detaillierteren Kartierung der kleineren Landschafts-Ausschnitte. Andererseits verlangten bestimmte bodenphysikalische Merkmale besonders bei Typen IV und V eine etwas andere Gruppierung und Grenzziehung als sie allein aufgrund einzelner pedomorphologischer Merkmale möglich war. Der zu Abb. 1 gegebene Namen-Vergleich stimmt also nur schwerpunktmäßig.

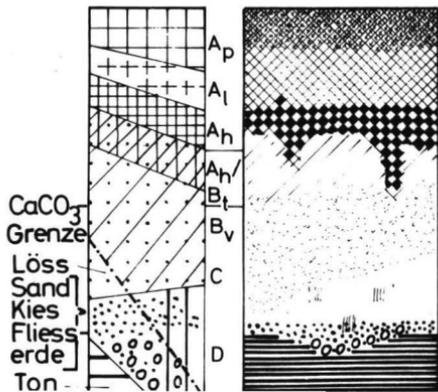
Abb. 1 Übersicht über die Boden- und Schichtungs-Typen

Typ I

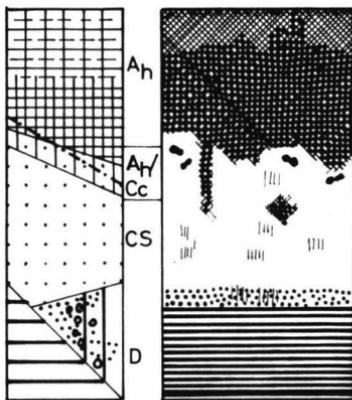


MARMORIERUNG

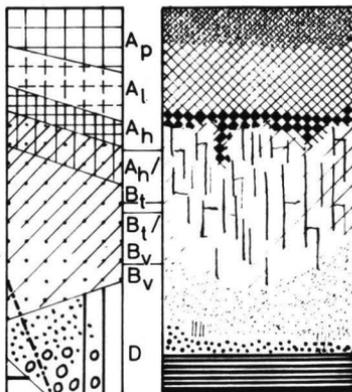
KALK-KONKRETIONEN Typ IVa



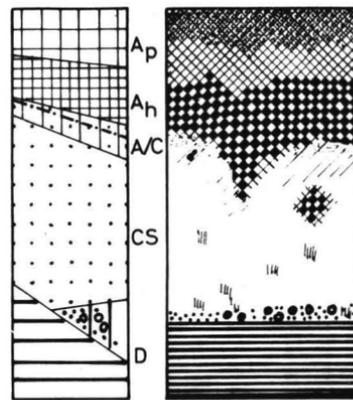
Typ II



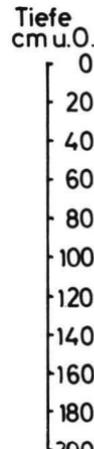
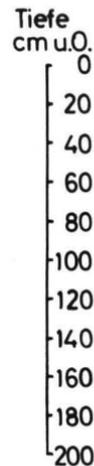
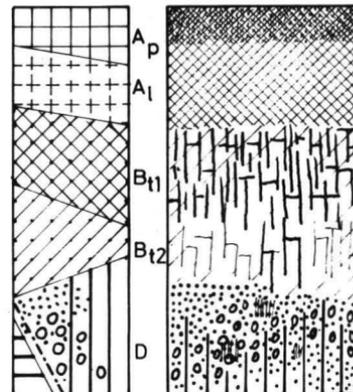
Typ IVb



Typ III



Typ V



In der Feucht-Schwarzerde-Landschaft Borsum (A) treten nur die Typen I und II auf. In der Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft bei Algermissen sind alle Typen außer II vertreten. Typ II ist auf Wald beschränkt, der bei Algermissen fehlt.

Die insgesamt untersuchten 54 Profile verteilen sich wie folgt:

| Typ | Zahl | Meß- und Beobachtungs-Punkte (vergl.Mitt. I) |
|-----|------|--|
| I | 38 | 1-18, 20, 22, 24, 26, 28-33, 43-52 |
| II | 5 | 19, 21, 23, 25, 27 |
| III | 6 | 38-42, 53 |
| IVa | 2 | 36, 37 |
| IVb | 1 | 54 |
| V | 2 | 34, 35 |

Die Zahl der zu den einzelnen Typen untersuchten Profile wurde etwa entsprechend ihrem Flächen-Anteil an der Gesamt-Fläche der Repräsentativ-Landschaften gewählt.

Abb. 1: Übersicht über die Profil-Typen (Boden-Einheiten) der beiden Repräsentativ-Landschaften

Schemata links: Toleranz-Diagramm der Schicht- und Horizont-Grenztiefen der betreffenden Boden-Einheit

Profil-Darstellungen rechts: Dominierendes "Normal-Profil" der betreffenden Boden-Einheit

| Kurz-Bezeichnung | Bezeichnung nach ROESCHMANN (5) |
|--|---|
| I) Acker-Feuchtschwarzerde | pseudovergleyte Acker-Schwarzerde mit Krumendegradation |
| II) Wald-Feuchtschwarzerde | pseudovergleyte Schwarzerde mit beginnender Filtrationsverlagerung im A_h -unter Wald |
| III) Vergriste Acker-Feuchtschwarzerde | schwach degradierte pseudovergleyte Acker-Schwarzerde |
| IVa) feuchte Gris-Schwarzerde | mäßig bis stark degradierte pseudovergleyte Ackerschwarzerde |
| IVb) braune Gris-Schwarzerde | stark degradierte Ackerschwarzerde mit Filtrations-Verlagerung |
| V) Griserde | Ackerparabraunerde mit Resten eines Schwarzerde-Stadiums im Profil |

4 BODENPHYSIKALISCHE CHARAKTERI-
SIERUNG DER TYPEN - GRUPPEN

4.1 ACKER-FEUCHTSCHWARZERDEN

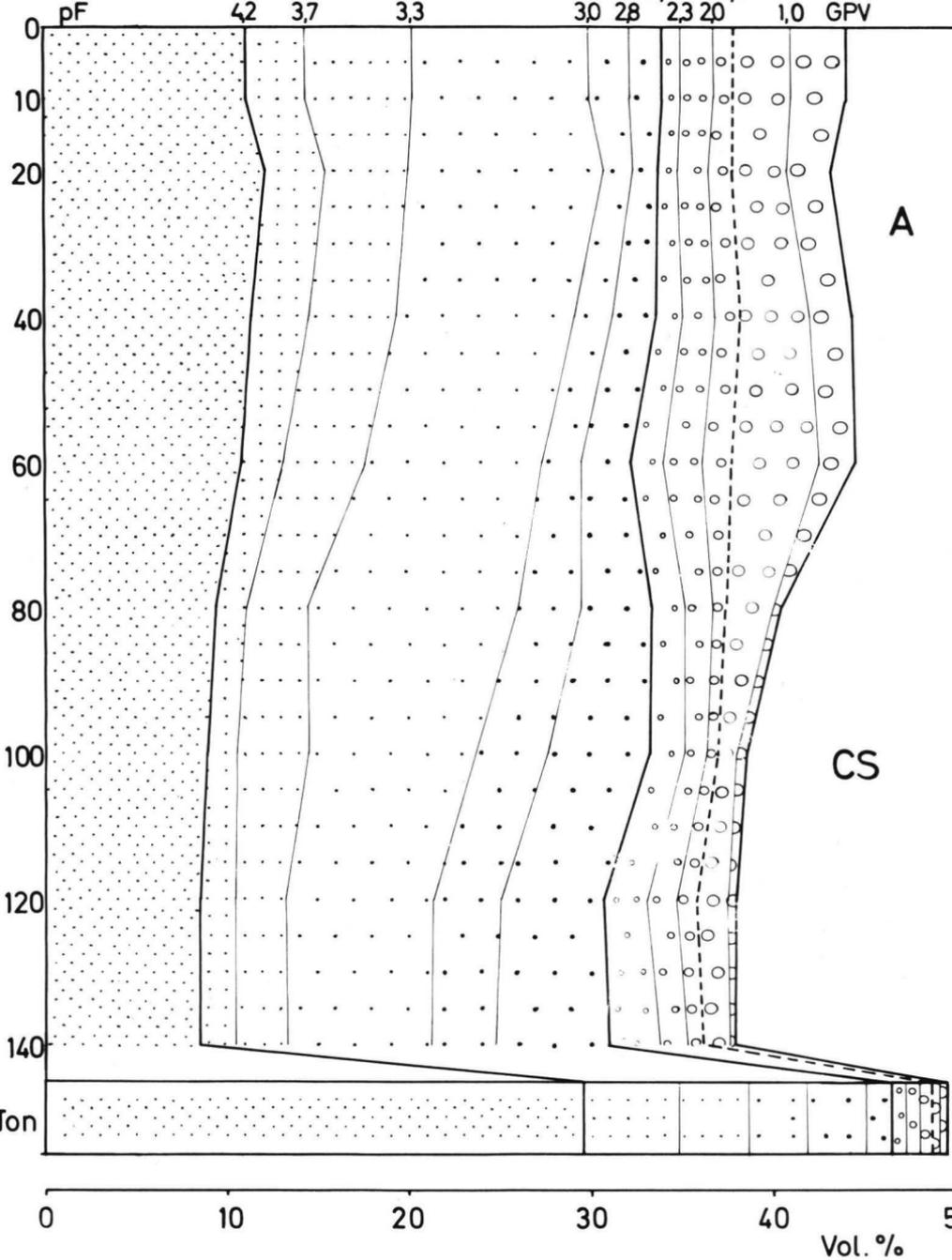
In Abb. 2 und in Tabelle 1 ist das Poren-Volumen und seine Verteilung auf die einzelnen Poren-Fractionen dargestellt. Jeder der angegebenen Durchschnitts-Werte stellt das Mittel aus 76 Meß-Werten dar.

Der Vergleich zwischen den in Tab. 1 angegebenen Mittelwerten und den zugehörigen 95 % Konfidenz-Grenzen zeigt, daß zwischen den 38 untersuchten Profilen dieser Gruppe eine auffallend gute Übereinstimmung besteht.

Zur Interpretation ist die Tabelle nach den Boden-Horizonten horizontal in die Abschnitte A (A-Horizont), AC (A-C Übergangshorizont) und CS (marmorierter kalkhaltiger Löss) unterteilt.

CS, LOSS: Im Gegensatz zu Lössen der Würm-/Weichsel-Vereisung in mächtigen Löss-Profilen mit tiefliegendem Grundwasser-Spiegel erscheinen die schwach marmorierten 60 bis 80 cm starken Löss-C-Horizonte der Hildesheimer Feucht-Schwarzerden kompaktiert. In Tab. 2 wird die Poren-Verteilung der von ROHDENBURG und MEYER (6) als "paraprimär" bezeichneten Lössen mit den CS-Horizonten der Feucht-Schwarzerden verglichen.

Tiefe cm u.O.



Typ I Acker - Feuchtschwarzerde

Abb 2

Tab. 1: ACKER-FEUCHTSCHWARZERDE (n=76)

| TRG, GPV u. POREN-VOLUMEN % bei pF... bis pF... / Mittelwerte und 95%-Konfidenzgrenzen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------------|---------|---------------------|----------|---------------|-------|----------|----------|---------------|----------|----------|----------|----------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| TIEFE cm bei... | TRG | GPV | WEIT- POREN | | | | MITTEL- POREN | | | | ENG- POREN | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | GROB- POREN | | | | | | | | MITTEL- POREN | | | | FEIN- P. | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | schnell - | | langsam-dränende GP | | Σ GP | | | | | | Σ MP | Σ FP | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | <1,0 | 1,0-1,8 | 1,8- 2,0 | 2,0- 2,3 | 2,3- 2,5 | < 2,5 | 2,5- 2,8 | 2,8- 3,0 | 3,0 - 3,3 | 3,3- 3,7 | 3,7- 4,2 | 2,5- 4,2 | > 4,2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 A | 1,49 | 43,99 | 3,01 | 3,12 | 1,04 | 1,80 | 1,10 | 10,03 | 1,73 | 2,21 | 9,65 | 5,92 | 3,23 | 22,74 | 11,22 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,47 | 1,54 | 43,24 | 4,73 | 2,94 | 3,07 | 2,85 | 3,39 | 1,02 | 1,06 | 1,76 | 1,84 | 1,00 | 1,21 | 9,78 | 10,28 | 1,68 | 1,78 | 1,92 | 2,49 | 9,63 | 9,67 | 5,25 | 6,60 | 2,99 | 3,46 | 22,62 | 2,86 | 10,35 |
| 20 A | 1,50 | 43,26 | 2,50 | 3,05 | 1,15 | 1,65 | 1,06 | 9,41 | 1,45 | 1,53 | 10,74 | 4,58 | 3,52 | 21,82 | 12,03 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,47 | 1,53 | 42,1 | 4,44 | 2,34 | 2,65 | 2,92 | 3,19 | 1,10 | 1,20 | 1,64 | 1,66 | 1,01 | 1,11 | 9,01 | 9,81 | 1,38 | 1,52 | 1,41 | 1,65 | 10,48 | 10,99 | 4,07 | 5,09 | 3,33 | 3,71 | 21,57 | 22,07 | 11,03 |
| 40 A | 1,47 | 44,42 | 2,33 | 3,74 | 1,43 | 1,81 | 1,41 | 10,72 | 2,41 | 2,04 | 9,86 | 4,90 | 3,05 | 22,27 | 11,43 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,45 | 1,50 | 43,50 | 4,535 | 2,26 | 2,40 | 3,52 | 3,96 | 1,4 | 1,45 | 1,80 | 1,82 | 1,37 | 1,45 | 10,64 | 10,80 | 2,16 | 2,66 | 1,98 | 2,10 | 9,74 | 9,98 | 4,60 | 5,20 | 2,95 | 3,15 | 22,25 | 22,29 | 10,61 |
| 60 A | 1,46 | 44,46 | 1,93 | 4,72 | 1,66 | 2,11 | 1,71 | 12,13 | 2,81 | 2,09 | 9,76 | 4,40 | 2,35 | 21,41 | 10,92 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,43 | 1,50 | 43,20 | 4,572 | 1,91 | 1,95 | 4,17 | 5,27 | 1,63 | 1,69 | 2,10 | 2,12 | 1,67 | 1,75 | 11,48 | 12,78 | 2,59 | 3,03 | 1,92 | 2,26 | 9,51 | 10,01 | 4,24 | 4,56 | 2,28 | 2,42 | 21,38 | 21,44 | 10,28 |
| 80 AC | 1,58 | 40,45 | 0,39 | 2,55 | 0,83 | 1,43 | 1,67 | 6,87 | 4,04 | 3,48 | 11,56 | 3,44 | 1,68 | 24,12 | 9,46 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,56 | 1,60 | 39,55 | 4,135 | 0,25 | 0,53 | 2,27 | 2,83 | 0,79 | 0,87 | 1,41 | 1,45 | 1,65 | 1,69 | 6,41 | 7,33 | 3,72 | 4,36 | 3,07 | 3,73 | 11,28 | 11,83 | 3,33 | 3,55 | 1,47 | 1,89 | 24,07 | 24,17 | 8,97 |
| 100 CS | 1,64 | 38,61 | 0,62 | 0,94 | 0,56 | 1,13 | 2,02 | 4,65 | 5,76 | 3,74 | 9,39 | 3,81 | 1,67 | 24,37 | 8,97 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,63 | 1,66 | 38,05 | 39,16 | 0,49 | 0,74 | 0,94 | 0,94 | 0,55 | 0,57 | 1,08 | 1,18 | 1,97 | 2,08 | 4,64 | 4,66 | 5,44 | 6,08 | 3,44 | 4,05 | 9,27 | 9,50 | 3,59 | 4,04 | 1,53 | 1,80 | 24,22 | 24,52 | 8,38 |
| 120 CS | 1,66 | 37,98 | 0,53 | 1,64 | 1,05 | 1,64 | 2,42 | 6,75 | 5,54 | 3,74 | 8,13 | 2,76 | 2,00 | 22,17 | 8,53 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,65 | 1,67 | 37,35 | 38,61 | 0,36 | 0,69 | 1,34 | 1,95 | 0,77 | 1,32 | 1,36 | 1,93 | 2,39 | 2,45 | 5,85 | 7,65 | 5,53 | 5,55 | 3,72 | 3,77 | 7,40 | 8,89 | 2,60 | 2,93 | 1,93 | 2,06 | 21,23 | 23,13 | 8,11 |
| 140 CS | 1,65 | 37,84 | 0,22 | 1,53 | 0,79 | 1,49 | 2,72 | 6,53 | 6,28 | 3,48 | 7,89 | 2,90 | 1,90 | 22,45 | 8,64 | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,64 | 1,67 | 37,18 | 38,51 | 0,08 | 0,37 | 1,45 | 1,61 | 0,74 | 0,84 | 1,47 | 1,51 | 2,63 | 2,79 | 6,40 | 6,66 | 5,68 | 6,90 | 3,35 | 3,61 | 7,11 | 8,67 | 2,68 | 3,10 | 1,88 | 1,92 | 22,19 | 22,71 | 8,25 |

Tabelle 2: Vergleich paraprimärer Löss (A) nach ROHDENBURG und MEYER, mit grundwasser-beeinflußtem Löss (B) im Kapillarsaum-Bereich nach HASE und MEYER und Löss (C) unter Feucht-Schwarzerden

| | GPV | <2,0 | >2,0 | 2,0-2,7 | 2,7-3,0 | 2,0-3,0 | 3,0-3,7 | >3,7 | >3,0 |
|-----|-------|------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
| A | 48 | 7 | 41 | 16 | 4 | 20 | 13 | 8 | 21 |
| B | 42-49 | 9-5 | 38-33 | 8-5 | 6-3 | 14-8 | 16-8 | 14-12 | 28-21 |
| C | 38 | 2,5 | 35,5 | 9,5 | 3,5 | 13,0 | 12,0 | 10,5 | 22,5 |
| C-A | -10 | -4,5 | -5,5 | -6,5 | -0,5 | -7,0 | -1 | +2,5 | +1,5 |

Des weiteren sind Daten von HASE und MEYER (3) aufgeführt, die an mächtigen Löss-Profilen des Göttinger Raumes bei steigendem Grundwasser-Spiegel im Niveau des Kapillar-Saumes ermittelt wurden. Die Wahl der pF-Gruppen wurde dabei in Anlehnung an die letztgenannten Autoren sowie SCHEFFER und MEYER (4) in der Weise getroffen, daß die Vorgänge der Poren-Umverteilung deutlicher hervortraten.

Die CS-Horizonte zeigen danach — ähnlich den unter B aufgeführten grundwasser-beeinflußten Lössen — eine gegenüber A starke "Sackungs-Verdichtung". Sie äußert sich im Schwund des Gesamt-Poren-Volumens von 48 auf 38 %. Dieser beruht auf der Reduktion der groben Poren mit einem Durchmesser $>10 \mu\text{m}$, d.h. der Sekundär-Poren und der Intergranular-Poren der Löss-Matrix. Der Betrag für die "Poren-Verfeinerung", d.h. die "isovolume Umverteilung" gröberer zu feineren Poren ist mit 1,5 Vol. % relativ gering.

Offen bleibt die Frage, ob dieser Verdichtungs-Vorgang, der zu Trockenraum-Gewichten von 1,65 geführt hat, als das Ergebnis eis-zeitlicher Überformungs-Vorgänge oder als das Ergebnis der holozänen pedogenetischen Umwandlung zu werten ist. Wir neigen zur letzteren Deutung, da die Verdichtung sich nicht an bestimmte Straten hält, wie das in der Regel bei den geringmächtigen fossilen intra-glacialen Boden-Horizonten innerhalb von Würm-Löss-Paketen der Fall ist. Vielmehr ist der gesamte Löss-C-Horizont gleichmäßig erfaßt. Wir fassen daher das Verdichtungs-Phänomen

als Ausdruck der spezifischen holozänen pedohydrologischen Bedingungen des Standortes auf.

Hydrodynamisch bedingte Verdichtungen in Lössen wurden von HASE und MEYER (3) auf Luft-Einschlüsse im Poren-Raum zurückgeführt. Solche eingeschlossenen Luft-Bläschen können durch kapillar gespanntes Menisken-Wasser oder durch eine auflastende Säule ungespannten Wassers pneumatisch komprimiert werden. Sie können dabei unter Zerstörung des Boden-Gefüges beweglich werden und sich zu größeren Blasen zusammenschließen, die unter Bildung abgeschlossener Luft-Schläuche im Boden stecken bleiben oder entweichen. Dabei üben sie eine mechanische Durchmischung des Boden-Materials aus und erzeugen lokal eine breiartige Fließ-Bewegung der Matrix. Dieser Knet-Vorgang wird mit steigendem Wasser-Gehalt intensiver und führt besonders dort zu Homogenisierungs- und Sackungs-Erscheinungen, wo häufiger im Jahreswechsel eine Wasser-Sättigung des Bodens bis nahe an die Fließ-Grenze auftritt. Der in dieser Weise "knet-verdichtete" Löß erlangt dabei im Laufe der Zeit eine Poren-Verteilung wie sie in wässriger Suspension abgesetzte und anschließend strömungs-verdichtete Löß-Sedimente aufweisen. Im Extrem-Fall werden dabei Löß-Verdichtungs-Horizonte erzeugt, die ebenfalls ca. 38 Vol. % GPV haben, etwa den gleichen Gehalt an Poren $pF < 2,0$ wie ihn die CS-Horizonte besitzen, aber - im Gegensatz zu diesen - einen isovolumen Umverteilungs-Betrag von 9 Vol % (statt 1,5 %) aufweisen. D.h. ohne eine dem entsprechende Abnahme des GPV sind hier 9 Vol % Poren mit 10 bis $3 \mu m$ Durchmesser in Poren mit einem Äquivalent-Durchmesser $< 3 \mu m$, hauptsächlich $< 0,5 \mu m$, überführt worden.

Für die Erzeugung von Luft-Einschlüssen wurden von den o.g. Autoren folgende Möglichkeiten herausgestellt:

1. Austrocknung der Matrix bis zu einem bestimmten pF -Bereich etwa 2,5 bis 3,0 und Einschluß von Luft im Poren-Bereich pF 1,8 bis 2,5 durch von oben eindringendes Niederschlags-Wasser.
2. Die Entbindung von im Sickerwasser gelöster Luft beim Passieren enger Poren.

Von den genannten Möglichkeiten der Luft-Okklusion und der von ihr ausgelösten Knet-Verdichtung bleibt für die CS-Horizonte der Feucht-Schwarzerden nur die folgende übrig:

Wie an anderer Stelle ausführlich besprochen wird, gibt die Löß-Bodendecke im Sommer Wasser an die Atmosphäre ab, wird dadurch frei von Grundwasser und trocknet an der Basis des Lösses über

der Ton-Sohle bis zu pF-Werten von etwa 2,5 bis 2,7 aus. Bei der Wiederbefeuchtung im Winter durch von oben her eindringendes Wasser wird unterhalb des wieder entstehenden und ansteigenden Grundwasserspiegels ein Teil des vorher belüfteten Poren-Raumes, das sind ca. 3 bis 8 Vol. %, nicht wieder mit Wasser gefüllt, obwohl ungespanntes Wasser in den größeren Poren angestaut wird. Die eingeschlossene Luft an der Basis des Lösses steht unter dem Druck der im Frühjahr bis zu 120 cm hohen Grundwassersäule. Die durch solch geringe hydrostatische Drucke verursachten Ausweich-Bewegungen der Luft-Blasen und die resultierenden Knet-Vorgänge sind offenbar allein nicht ausreichend, um ähnlich starke Verdichtungen mit isovolumer Poren-Umverteilung hervorzurufen, wie sie von HASE und MEYER (3) für die Sy-Horizonte von Feucht-Schwarzerden auf mächtigen Lössen ohne Ton-Sohle bei schwankendem hohen Grundwasserstand beschrieben wurden. Zwar ist die absolute Verminderung des GPV in beiden Fällen gegenüber dem paraprimären Löß gleich groß (10 Vol. %), doch fehlt in unserem Falle die starke Einbuße im Poren-Bereich mit pF-Werten zwischen 2,0 und 3,0. In den Sy-Horizonten der Feucht-Schwarzerden aus mächtigen Lössen spielt offenbar die abwärtsgerichtete Fließ-Bewegung des Sickerwassers, die in den Hildesheimer Feucht-Schwarzerden fehlt, im Zusammenhang mit fortschreitender Luft-Okklusion eine zusätzlich den Löß verdichtende Rolle.

A- und AC-HORIZONTE: Zwischen dem CS- und A-Horizont bestehen im wesentlichen folgende Material-Unterschiede: Der Ton-Gehalt steigt von 10 auf ca. 20 bis 24 %, der Humus-Gehalt von 0 - 0,5 auf 2,2 bis 3,1 %, der Kalk-Gehalt geht auf 0 % zurück.

Es bleibt ungeklärt, ob der A-Horizont aus einem noch unverdichteten Löß-Material entsprechend A in Tab. 2 oder einem bereits sackungs-verdichteten Löß-Material entsprechend C in Tab. 2 hervorgegangen ist.

Betrachtet man in Abb. 2 den annähernd senkrechten Verlauf der Grenzlinien für pF 1,8 und 2,5, so besteht der Unterschied zwischen A und CS...

1) ... in einem Gewinn an Grob-Poren mit einem Porendurchmesser $>50 \mu\text{m}$. In Übereinstimmung mit BAILLY und HARTGE (1) ist dies als Effekt der biologischen Lockerung, d.h. Aggregierung und Sekundär-Poren-Bildung zu interpretieren.

2) ... in einer Umverteilung der Poren mit Durchmessern $<10 \mu\text{m}$. Im Sinne einer starken isovolumen Poren-Umverteilung (8 Vol. %) nehmen die Poren mit pF 2,5 - 3,0 ($\cong \varnothing 10 - 3 \mu\text{m}$) ab, die Poren mit Durchmessern $<3 \mu\text{m}$ zu.

Gewinn und Verlust betragen in % des Poren-Anteils der jeweiligen Fraktionen (A gegenüber CS):

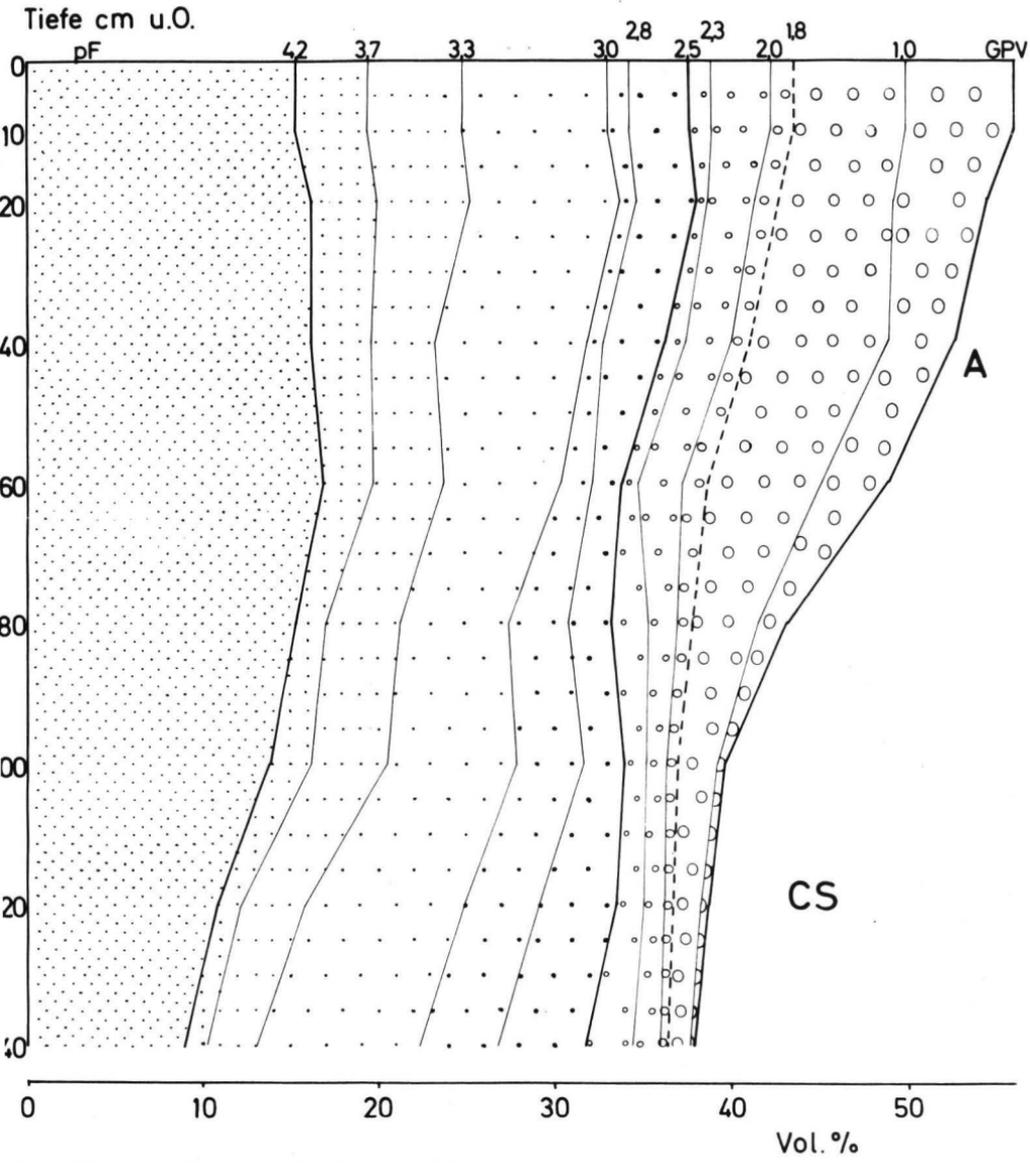
| | | | |
|--------------|--------|--------------|--------|
| pF 2,5 — 2,8 | - 56 % | pF 3,0 — 3,3 | + 22 % |
| pF 2,8 — 3,0 | - 46 % | pF 3,3 — 3,7 | + 75 % |
| | | pF 3,7 — 4,2 | + 55 % |
| | | pF > 4,2 | + 35 % |

Diese Umverteilung ist im Zusammenhang mit der Schluff \rightarrow Ton-Umwandlung (Ton-Bildung und -Anreicherung) und der gleichzeitigen Humus-Gehalts-Erhöhung zu sehen. Die Vermehrung des Poren-Anteils mit pF $>4,2$ und die Grob-Poren-Vermehrung wurden bereits von STRAUTZ (7, 8), STREBEL (9) und BAILLY und HARTGE (1) als Folge der Ton- und Humus-Anreicherung interpretiert. Wir können hier zeigen, daß nicht nur die Feinporen, sondern auch die Mittel-Poren mit Durchmessern $<3 \mu\text{m}$ relativ vermehrt werden.

Bezogen auf die Gewichts-Einheit trockenen Bodens₃ (100 g = 38 cm³ Festsubstanz) beträgt die Differenz (A - CS) in cm³:

| | |
|---|-------|
| Grobporen pF $<2,5 \cong \varnothing >10 \mu\text{m}$ | + 3,3 |
| Mittelporen pF 2,5 - 3,0 $\cong \varnothing 10 - 3 \mu\text{m}$ | - 2,5 |
| Mittel- u. Feinporen pF $>3,0 \cong \varnothing <3 \mu\text{m}$ | + 6,5 |
| | <hr/> |
| | + 7,3 |

Das bedeutet: Wenn wir $10 \mu\text{m}$ Durchmesser als Obergrenze der primären Intergranular-Poren ansetzen, erfährt ein Matrix-Ausschnitt des CS-Horizontes bei seiner Transformation zum A-Horizont folgende Umwandlung: Er ist in Aggregate zerfallen, zwischen denen ein größerer Abstand erzeugt wird (Prozeß 1 der Auflockerung) und die selbst eine etwas geringere Dichte als der CS-Matrix-Ausschnitt angenommen haben (Prozeß 2 der Auflockerung). Inner-



Typ II Wald - Feuchtschwarzerde
Abb. 3

Tab. 3 : WALD-FEUCHTSCHWARZERDE (n 0-80cm = 15, n 80-140cm = 10)

| | | TRG, G P V u. POREN-VOLUMEN % bei pF... bis pF... / Mittelwerte und 95%-Konfidenzgrenzen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|--|---------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|--|------|--|------|--|
| | | TRG | G P V | WEIT-POREN | | | | MITTEL-POREN | | | | ENG-POREN | | | | | | | | | |
| | | | | GROB-POREN | | | | | | MITTEL-POREN | | | | | | FEIN-P. | | | | | |
| | | | | schnell - | | langsam-dränende GP | | | | Σ GP | | | | | | | | Σ MP | | Σ FP | |
| TIEFE cm bei.. | | | | <1,0 | 1,0-1,8 | 1,8-2,0 | 2,0-2,3 | 2,3-2,5 | < 2,5 | 2,5-2,8 | 2,8-3,0 | 3,0-3,3 | 3,3-3,7 | 3,7-4,2 | 2,5-4,2 | > 4,2 | | | | | |
| 10 | A | 1,16 | 56,34 | 6,22 | 6,36 | 1,34 | 3,32 | 1,26 | 18,50 | 3,40 | 1,18 | 8,32 | 5,40 | 4,10 | 22,40 | 15,44 | | | | | |
| | | 1,12 1,20 | 54805788 | 5,745,70 | 5,44 7,28 | 0,84 1,84 | 2,15 4,49 | 0,52 2,00 | 1,538 2,165 | 3,39 3,41 | 0,86 1,50 | 7,05 9,52 | 4,26 6,54 | 2,87 5,33 | 2,159 2,321 | 11,541 9,32 | | | | | |
| 20 | A | 1,20 | 54,66 | 5,44 | 6,40 | 1,28 | 2,66 | 0,56 | 16,34 | 3,40 | 1,02 | 8,36 | 5,44 | 3,70 | 21,92 | 16,40 | | | | | |
| | | 1,17 1,23 | 53615571 | 3,80 7,08 | 6,31 6,49 | 1,02 1,64 | 2,39 2,93 | 0,53 0,55 | 1,395 1,873 | 3,38 3,42 | 0,81 1,23 | 7,94 8,78 | 5,37 5,51 | 3,38 4,02 | 2,156 2,228 | 12,60 2,020 | | | | | |
| 40 | A | 1,25 | 52,78 | 3,74 | 7,64 | 1,14 | 2,76 | 1,14 | 16,42 | 3,42 | 0,86 | 8,66 | 3,64 | 3,42 | 20,00 | 16,36 | | | | | |
| | | 1,20 1,30 | 50865470 | 1,745,74 | 6,20 9,08 | 0,86 1,42 | 2,37 3,15 | 1,02 1,26 | 1,595 1,699 | 3,37 3,47 | 0,63 1,09 | 6,60 10,72 | 2,55 4,73 | 2,18 4,66 | 1,991 2,009 | 13,96 18,76 | | | | | |
| 60 | A | 1,35 | 49,04 | 3,86 | 6,36 | 1,42 | 2,54 | 0,88 | 15,06 | 1,68 | 1,86 | 6,70 | 3,96 | 2,76 | 16,90 | 17,08 | | | | | |
| | | 1,33 1,38 | 4810 4998 | 2,385,34 | 5,78 6,94 | 1,42 1,42 | 2,29 2,79 | 0,62 1,14 | 1,365 1,641 | 1,36 2,00 | 1,232,37 | 5,94 7,46 | 3,39 4,53 | 1,97 3,55 | 1,655 1,725 | 15,081 9,08 | | | | | |
| 80 | AC | 1,51 | 43,22 | 1,54 | 3,70 | 0,92 | 1,62 | 2,06 | 9,84 | 2,56 | 3,30 | 6,18 | 4,26 | 1,64 | 17,94 | 15,44 | | | | | |
| | | 1,45 1,56 | 1,21 4,523 | 0,86 2,22 | 1,97 5,43 | 0,67 1,17 | 1,39 1,85 | 1,89 2,23 | 8,60 1,108 | 2,04 3,08 | 1,45 5,15 | 5,69 6,67 | 4,22 4,30 | 1,15 2,13 | 1,463 2,125 | 11,36 1,958 | | | | | |
| 100 | CS | 1,60 | 39,74 | 0,44 | 2,26 | 0,62 | 1,08 | 1,22 | 5,62 | 2,40 | 3,68 | 7,54 | 4,28 | 2,28 | 20,18 | 13,94 | | | | | |
| | | 1,54 1,66 | 37,604188 | 0,06 0,82 | 1,49 3,03 | 0,23 1,01 | 0,80 1,39 | 0,99 1,45 | 4,007,24 | 1,20 3,60 | 2,934,43 | 5,89 9,19 | 3,49 5,07 | 2,64 1,82 | 1,783 2,253 | 11,07 1,681 | | | | | |
| 120 | CS | 1,63 | 38,60 | 0,16 | 1,62 | 0,50 | 1,18 | 1,50 | 4,96 | 4,46 | 4,12 | 9,24 | 3,62 | 1,38 | 22,82 | 10,82 | | | | | |
| | | 1,57 1,69 | 36,25 4,095 | 1,070,75 | 0,37 2,12 | 0,34 0,66 | 1,08 1,28 | 1,31 1,69 | 3,10 6,82 | 4,02 4,90 | 3,854,39 | 9,15 9,33 | 3,51 3,73 | 1,30 1,33 | 2,272 2,292 | 1,023 1,141 | | | | | |
| 140 | CS | 1,64 | 37,96 | 0,02 | 1,46 | 0,46 | 1,48 | 2,76 | 6,16 | 4,94 | 4,48 | 9,20 | 2,86 | 1,18 | 22,66 | 9,12 | | | | | |
| | | 1,62 1,66 | 37,42 3,850 | 0,010,03 | 1,13 1,79 | 0,43 0,49 | 1,16 1,78 | 0,67 4,84 | 4,70 7,62 | 4,68 5,20 | 2,766,20 | 6,02 1,238 | 2,353,37 | 0,79 1,57 | 2,082 2,450 | 8,31 2,91 | | | | | |

der A-Horizont-Aggregate ist die Homogenität der Fest-Substanz-Verteilung größer als in der CS-Matrix (Ton-Bildung, Humus-Anreicherung).

Gehen wir davon aus, daß der Löß als parapräimärer Löß abgelagert wurde mit einem Raumgewicht von 1,38, so hat der Prozeß der Pedogenese eine Oberflächen-Erniedrigung von ca. 18 cm gebracht. Gehen wir von einem sackungs-verdichteten Löß aus, wie er im CS-Horizont ansteht, so hat die A-Horizont-Bildung durch Auflockerung eine Oberflächen-Anhebung von ca. 8 cm gebracht.

4.2 WALD-FEUCHT-SCHWARZERDEN

Im CS-Horizont gleichen diese Böden den Acker-Feucht-Schwarzerden. Im A-Horizont weichen sie dagegen erheblich ab und sind auch — wie die Konfidenzgrenzen zeigen — untereinander nicht so einheitlich wie die untersuchten Acker-Feucht-Schwarzerden. Gegenüber den Acker-Feucht-Schwarzerden besitzen sie höhere Humus-Gehalte, die in den oberen 10 cm bis zu 6 %, in den Tiefen 50 bis 60 cm noch 4 % betragen können.

Die A-Horizonte der Wald-Feucht-Schwarzerden sind bis zu 20 cm mächtiger als die der Acker-Schwarzerden, was beim Vergleich der Abb. 2 und 3 zu berücksichtigen ist.

Im A-Horizont der Wald-Profile fällt gegenüber den Acker-Profilen auf:

- 1) Der starke Gewinn an Grob-Poren mit einem Durchmesser $>50 \mu\text{m}$ ($\hat{=} pF < 1,8$)
- 2) Die starke Vermehrung von Feinporen mit einem Durchmesser $< 0,2 \mu\text{m}$ ($\hat{=} pF > 4,2$)

Die Poren-Verteilung in dem dazwischenliegenden Porengrößen-Bereich ist annähernd gleich der in der Acker-Schwarzerde. Bei der Poren-Umverteilung gegenüber dem CS-Horizont ist lediglich der Poren-Anteil mit $pF > 4,2$ stärker begünstigt worden.

Bezogen auf 100 g trockenen Bodens ist folgende Gewinn/Verlust-Rechnung für den A/C-Vergleich anzustellen:

(Differenz A-CS in cm^3)

| | | |
|----------------------|---|------------------|
| Grobporen | pF < 2,5 \cong \emptyset > 10 μ m | + 10 |
| Mittelporen | pF 2,5-3,0 \cong \emptyset 10-3 μ m | - 2,3 |
| Mittel- u. Feinporen | pF > 3,0 \cong \emptyset < 3 μ m | + 12,1 + 19,8 |

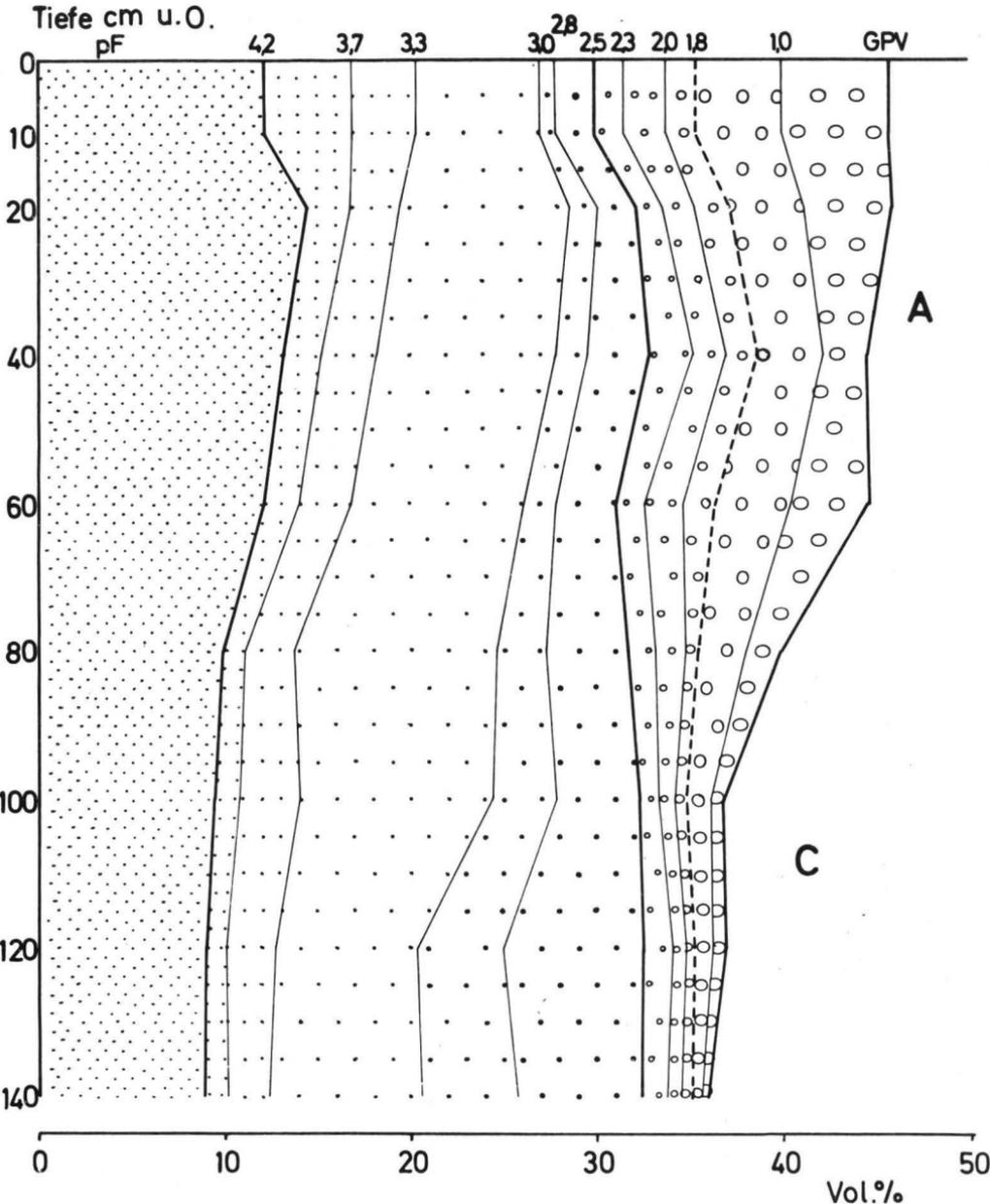
Die Aggregierung und Aggregat-Trennung ist offenbar noch intensiver als in den Acker-Feucht-Schwarzerde-A-Horizonten und die Aggregate sind noch weniger dicht und homogener, wobei Art und Gehalt des Humus eine entscheidende Rolle zu spielen scheinen.

4.3 VERGRISTE ACKER-FEUCHT-SCHWARZERDEN

Die Poren-Verteilungs-Diagramme stimmen noch sehr weitgehend mit denen der Acker-Feucht-Schwarzerde überein. Unterschiede zeichnen sich lediglich im aufgehellten Oberboden ab. Aus ihm ist Ton in den tieferen Teil des A-Horizontes abgewandert (Ap z.B. 15 % Ton, Ah in 35 cm Tiefe 20 % Ton). Diese Ton-Migration mag als Ursache dafür gelten, daß die Fein-Poren-Kurve im oberen Teil eine Ausbauchung zeigt. Zugleich läßt sich in den tonverarmten Ap-Horizonten eine Tendenz zur isovolumen Poren-Vergrößerung erkennen, d.h. bei gleichem GPV wie in den Acker-Feucht-Schwarzerden tritt eine Erhöhung der Grob-Poren-Anteile mit pF < 2,5 auf.

4.4 FEUCHTE BIS BRAUNE GRIS-SCHWARZERDE

Die zuletzt aufgezeigte Tendenz verstärkt sich offenbar in der Folge von der Acker-Feucht-Schwarzerde bis zur Griserde. Sie muß auf die abnehmenden Ton-Gehalte im A-Horizont zurückgeführt werden. Tab. 5 zeigt die Zusammenhänge. Der paraprimäre Löß hat auf dem Wege zum CS-Horizont eine nur schwache isovolumen Poren-Verfeinerung erfahren. Die Umwandlung zum Feucht-Schwarzerde-A-Horizont hat dagegen einen starken Verlust an Poren mit pF 2,0 - 2,7, und einen entsprechenden Gewinn an Poren mit pF > 3,0 gebracht. Dies wurde auf den Verlust an Intergranular-Poren 30 bis 6 μ m \emptyset als Folge von Sackung bzw. Ausfüllung durch Ton und Humus erklärt. Mit fortschreitender Ton-Verarmung des oberen A-Horizontes infolge Ton-Auswaschung in tiefere Profil-Abschnitte stellt sich ein rückläufiger Prozeß ein. Das Gefüge der Griserde Al-Horizonte nähert



Typ III vergriste Acker-Feuchtschwarzerde
Abb. 4

Tab. 4 : VERGRISTE FEUCHTSCHWARZERDE (n=12)

| | | TRG, GPV u. POREN-VOLUMEN % bei pF... bis pF.../Mittelwerte und 95%- Konfidenzgrenzen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----|---|-------|-------------|-----------|---------------------|-----------|---------------|-------|-----------|-----------|---------------|------------|-----------|-----------|-------|-------|---------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | TRG | GPV | WEIT- POREN | | | | MITTEL- POREN | | | | | ENG- POREN | | | | | FEIN-P. | | | | | | | | | | | | |
| | | | | GROB- POREN | | | | | | | | MITTEL- POREN | | | | | Σ MP | | Σ FP | | | | | | | | | | | |
| TIEFE cm bei.. | | | | schnell- | | langsam-dränende GP | | | | Σ GP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | <1,0 | 1,0 - 1,8 | 1,8 - 2,0 | 2,0 - 2,3 | 2,3 - 2,5 | <2,5 | 2,5 - 2,8 | 2,8 - 3,0 | 3,0 - 3,3 | 3,3 - 3,7 | 3,7 - 4,2 | 2,5 - 4,2 | > 4,2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | A | 1,44 | 45,75 | 5,70 | 4,50 | 1,65 | 2,40 | 1,70 | 15,95 | 1,90 | 0,90 | 6,55 | 3,65 | 4,55 | 17,55 | 12,25 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,30 | 1,58 | 4,056 | 5,094 | 3,74 | 7,66 | 4,30 | 4,70 | 1,16 | 2,14 | 2,01 | 2,79 | 1,68 | 1,72 | 13,31 | 18,59 | 1,51 | 2,29 | 0,70 | 1,10 | 3,71 | 9,39 | 1,90 | 5,40 | 4,05 | 5,05 | 1,889 | 1,921 | 8,04 |
| 20 | A | 1,43 | 45,90 | 4,73 | 3,87 | 1,90 | 1,78 | 1,40 | 13,68 | 1,94 | 1,58 | 9,08 | 2,77 | 2,18 | 17,55 | 14,67 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,35 | 1,52 | 4,263 | 4,917 | 4,05 | 5,42 | 2,89 | 4,84 | 1,74 | 2,06 | 1,60 | 1,97 | 1,39 | 1,41 | 11,67 | 15,69 | 1,79 | 2,17 | 1,49 | 1,68 | 8,74 | 9,43 | 2,33 | 3,20 | 1,82 | 2,44 | 1,736 | 1,774 | 1,360 |
| 40 | A | 1,46 | 44,90 | 2,80 | 3,47 | 1,55 | 2,26 | 1,87 | 11,95 | 3,30 | 1,88 | 9,64 | 2,91 | 1,99 | 19,72 | 13,23 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,41 | 1,54 | 4,277 | 4,703 | 2,35 | 3,25 | 2,40 | 4,53 | 1,50 | 1,61 | 2,18 | 2,35 | 1,43 | 2,30 | 10,90 | 12,00 | 2,80 | 3,80 | 1,62 | 2,15 | 8,63 | 10,63 | 2,75 | 3,09 | 1,81 | 2,15 | 1,948 | 1,996 | 1,239 |
| 60 | A | 1,46 | 44,73 | 4,08 | 4,30 | 1,62 | 2,10 | 1,63 | 13,73 | 3,12 | 1,76 | 9,17 | 2,92 | 1,81 | 18,78 | 12,22 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,40 | 1,53 | 4,220 | 4,727 | 3,86 | 4,31 | 2,86 | 5,74 | 1,43 | 1,81 | 2,03 | 2,17 | 1,58 | 1,68 | 12,31 | 15,15 | 2,79 | 3,45 | 1,52 | 2,01 | 8,38 | 9,95 | 2,10 | 3,74 | 1,65 | 1,98 | 1,840 | 1,916 | 1,073 |
| 80 | AC | 1,59 | 39,92 | 1,85 | 2,54 | 0,75 | 1,51 | 1,57 | 8,22 | 4,37 | 2,73 | 10,82 | 2,61 | 1,25 | 21,78 | 9,92 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,55 | 1,64 | 3,828 | 4,156 | 1,56 | 2,14 | 1,50 | 3,57 | 0,69 | 0,82 | 1,47 | 1,56 | 1,50 | 1,63 | 7,52 | 8,92 | 4,05 | 4,68 | 2,08 | 3,39 | 10,31 | 11,33 | 1,65 | 3,57 | 1,06 | 1,45 | 2,148 | 2,208 | 9,28 |
| 100 | C | 1,68 | 36,72 | 0,49 | 1,38 | 0,53 | 0,90 | 1,10 | 4,40 | 4,44 | 3,53 | 10,23 | 3,35 | 1,27 | 22,82 | 9,50 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,65 | 1,70 | 3,584 | 3,760 | 0,35 | 0,62 | 1,17 | 1,60 | 0,47 | 0,60 | 0,88 | 0,92 | 1,02 | 1,17 | 4,35 | 4,45 | 3,79 | 5,08 | 3,32 | 3,75 | 9,30 | 11,17 | 3,22 | 3,48 | 1,22 | 1,31 | 2,257 | 2,307 | 8,92 |
| 120 | C | 1,69 | 36,85 | 0,57 | 0,96 | 0,47 | 0,72 | 1,63 | 4,56 | 7,53 | 3,65 | 8,65 | 2,60 | 1,15 | 23,58 | 8,92 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,68 | 1,70 | 3,553 | 3,817 | 0,05 | 1,08 | 0,72 | 1,22 | 0,34 | 0,59 | 0,71 | 0,73 | 1,47 | 1,79 | 4,13 | 4,99 | 6,72 | 8,34 | 3,48 | 3,83 | 7,35 | 9,94 | 2,26 | 2,95 | 1,02 | 1,28 | 2,349 | 2,367 | 7,91 |
| 140 | C | 1,70 | 35,92 | 0,19 | 0,71 | 0,50 | 0,78 | 1,40 | 3,58 | 6,60 | 4,16 | 9,20 | 2,22 | 1,26 | 23,44 | 8,90 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1,67 | 1,73 | 3,494 | 3,728 | 0,08 | 0,30 | 0,64 | 0,78 | 0,41 | 0,59 | 0,58 | 0,98 | 1,37 | 1,43 | 3,52 | 3,64 | 5,78 | 7,42 | 3,93 | 4,93 | 8,67 | 9,73 | 2,07 | 2,37 | 1,14 | 1,38 | 2,32 | 2,365 | 8,14 |

TAB : 5

| GPV + pF-BEREICHE | GPV | >2,0 | <2,0 | 2,0-2,7 | 2,7-3,0 | 3,0-3,7 | >3,7 | >3,0 | |
|--------------------|-----|------|------|---------|---------|---------|------|------|-----|
| paraprimärer LÖSS | 48 | 41 | 7 | 16 | 4 | 20 | 13 | 8 | 21 |
| CS-HORIZONT | 38 | 355 | 25 | 95 | 35 | 13 | 12 | 105 | 225 |
| GRISERDE | 457 | 363 | 94 | 15 | 34 | 184 | 83 | 96 | 179 |
| GRIS-SCHWARZERDE | 429 | 372 | 57 | 103 | 33 | 136 | 10 | 136 | 236 |
| FEUCHT-SCHWARZERDE | 444 | 369 | 75 | 56 | 20 | 76 | 148 | 145 | 293 |

sich in seiner Poren-Menge und Verteilung wieder dem paraprimären LÖß. Allerdings fehlt der Kalk, und das mag die geringen Abweichungen in der Porengrößen-Fraktion 30 bis 6 μm erklären.

Abgesehen von diesen im A-Horizont ablaufenden isovolumen Rückverteilungs-Prozessen ähnelt auch die Gruppe der Gris-Schwarzerden den Acker-Feucht-Schwarzerden noch so weitgehend, daß ihre Einbeziehung in den Typus "Schwarzerde" auch physikalisch gerechtfertigt erscheint.

4.5 GRISERDE

Vergleicht man das Poren-Verteilungs-Diagramm in Abb. 6 mit denen der Schwarzerde-Gruppe, so fallen als gravierende Unterschiede auf:

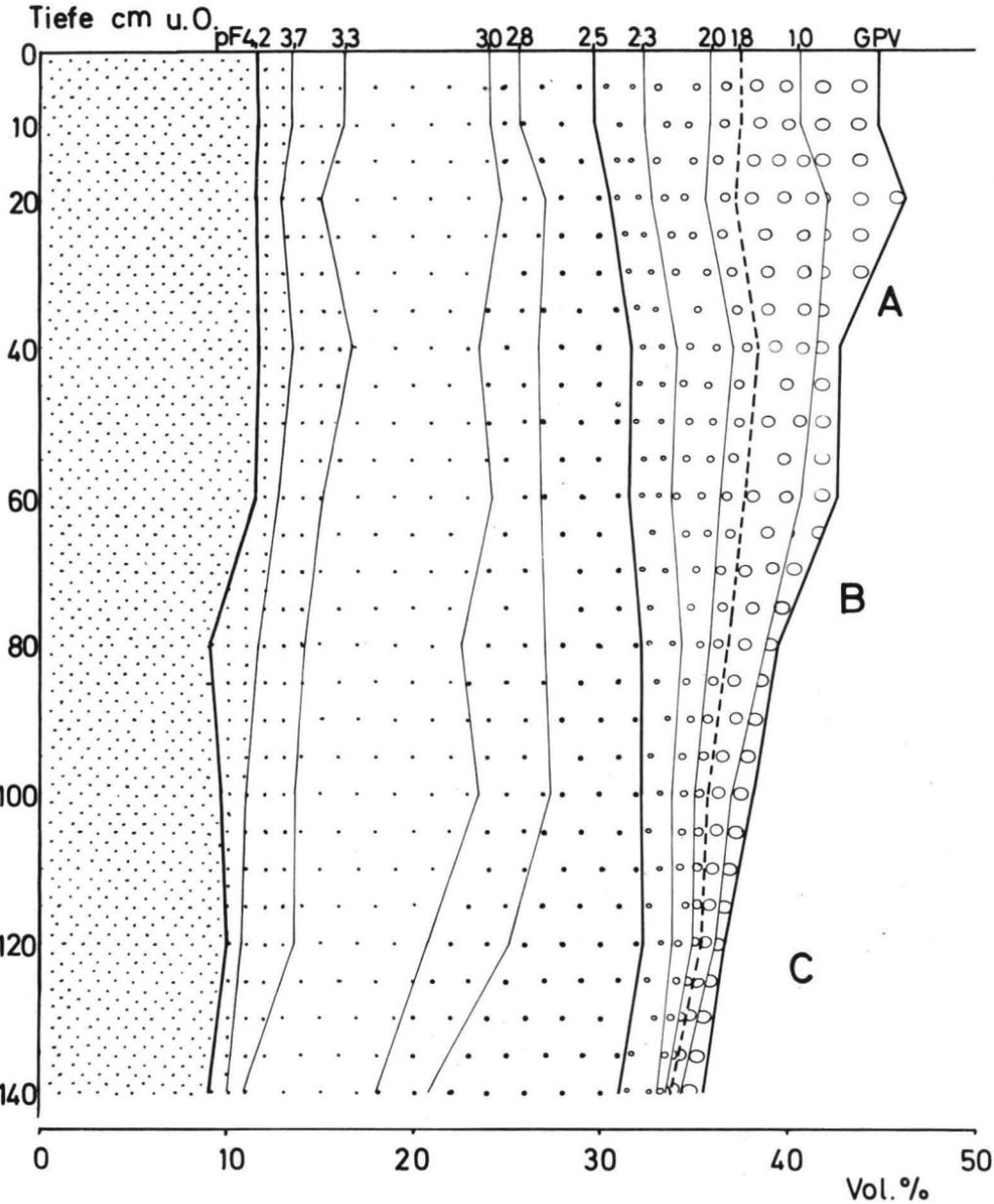
1) Entsprechend der Ton-Abwanderung aus dem A₁ (0 - 45 cm, ca. 10 % Ton) in den B_t (45 - 140 cm, 25 - 20 - 15 % Ton) ist die Kurve der Fein-Poren Gehalte ($pF > 4,2$) stark ausgebuchtet und zeigt noch in 140 cm Tiefe eine Erhöhung gegenüber dem ursprünglichen CS-Horizont von 8,6 auf 11,2 Vol. %.

2) Die Poren-Umverteilungs-Prozesse im Mittelporen-Feld (pF 2,5 bis 4,2) wurden bereits in Absatz 4.4 behandelt.

3) Von der Basis des Lösses bis zur Oberfläche tritt eine kontinuierliche Vermehrung aller Grobporen-Fraktionen zwischen pF 2,5 und 1,0 ($\approx \varnothing$ 10 μm bis 300 μm) in Erscheinung. Schon an der Basis der LÖß-Decke beträgt die Volumen-Differenz

| pF-Bereich | $-\infty-1$ | 1 - 1,8 | 1,8 - 2,0 | 2,0 - 2,3 | 2,3 - 2,5 | $-\infty-2,5$ |
|--------------------------|-------------|---------|-----------|-----------|-----------|---------------|
| CS über Ton | 0,5 | 1,6 | 1,0 | 1,6 | 2,4 | 7,1 |
| B _t über Sand | 2,5 | 2,3 | 0,8 | 2,2 | 1,8 | 9,6 |

Diese Differenzen können nach BAILLY und HARTGE (1) damit erklärt werden, daß im Zuge der Ton-Infiltration auch die Entstehung von Absonderungs-Strukturen und -Poren aufgrund einer tiefer gehen-

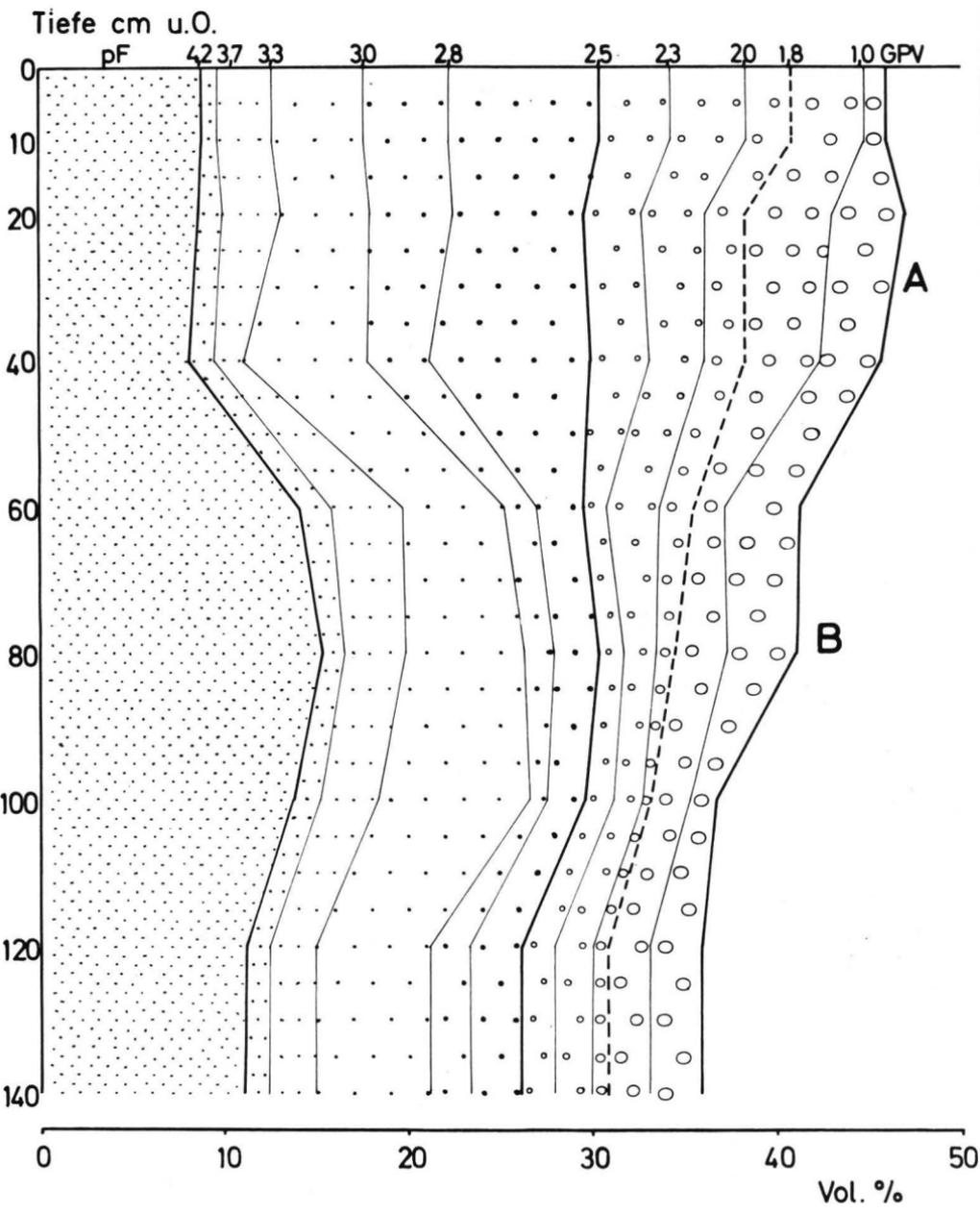


Typ IVa-IVb feuchte→braune Gris-Schwarzerde

Abb. 5

Tab. 6 : FEUCHTE → BRAUNE GRIS-SCHWARZERDE (n = 6)

| TRG, GPV u. POREN-VOLUMEN % bei pF... bis pF.../Mittelwerte und 95%-Konfidenzgrenzen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|-------|-------|--------------|-----------|---------------------|----------------|-----------|-------|----------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|------|-------|
| TIEFE cm bei.. | TRG | | GPV | | WEIT - POREN | | | MITTEL - POREN | | | | ENG - POREN | | | FEIN - P. | | | | |
| | | | | | GROB - POREN | | | | | | MITTEL - POREN | | | | | | Σ MP | | Σ FP |
| | | | | | schnell - | | langsam-dränende GP | | Σ GP | | | | | | | | Σ MP | | Σ FP |
| | | | | | < 1,0 | 1,0 - 1,8 | 1,8 - 2,0 | 2,0 - 2,3 | 2,3 - 2,5 | < 2,5 | 2,5 - 2,8 | 2,8 - 3,0 | 3,0 - 3,3 | 3,3 - 3,7 | 3,7 - 4,2 | 2,5 - 4,2 | > 4,2 | | |
| 10 | 1,46 | | 44,93 | | 4,00 | 3,23 | 1,67 | 3,53 | 2,65 | 15,06 | 4,00 | 1,74 | 7,70 | 2,83 | 1,70 | 17,97 | 11,90 | | |
| | 1,44 | 1,48 | 44,21 | 45,65 | | | | | | 14,50 | 15,62 | | | | | 16,58 | 19,36 | 9,23 | 14,57 |
| 20 | 1,42 | | 46,33 | | 4,00 | 4,93 | 1,83 | 2,77 | 2,17 | 15,70 | 3,50 | 2,30 | 9,60 | 2,20 | 1,40 | 19,00 | 11,63 | | |
| | 1,34 | 1,50 | 43,33 | 49,34 | | | | | | 13,80 | 17,60 | | | | | 17,87 | 20,13 | 9,40 | 13,87 |
| 40 | 1,52 | | 42,83 | | 1,16 | 3,17 | 1,27 | 2,96 | 2,80 | 11,36 | 4,60 | 3,30 | 6,70 | 3,27 | 1,70 | 19,57 | 11,90 | | |
| | 1,47 | 1,57 | 40,91 | 44,76 | | | | | | 11,35 | 14,37 | | | | | 18,95 | 20,19 | 9,35 | 14,45 |
| 60 | 1,52 | | 42,70 | | 1,90 | 3,13 | 1,14 | 2,63 | 2,30 | 11,10 | 4,63 | 2,64 | 9,00 | 2,40 | 1,33 | 20,00 | 11,60 | | |
| | 1,48 | 1,56 | 40,29 | 45,11 | | | | | | 10,72 | 11,48 | | | | | 19,01 | 20,99 | 9,80 | 13,40 |
| 80 | 1,60 | | 39,53 | | 0,66 | 2,04 | 0,86 | 1,60 | 2,17 | 7,33 | 5,10 | 4,50 | 8,40 | 3,03 | 2,07 | 23,10 | 9,10 | | |
| | 1,57 | 1,63 | 38,45 | 40,62 | | | | | | 4,73 | 9,93 | | | | | 19,76 | 26,44 | 8,79 | 9,44 |
| 100 | 1,64 | | 38,17 | | 1,14 | 1,26 | 0,60 | 1,27 | 1,67 | 5,94 | 4,83 | 3,90 | 9,77 | 2,66 | 1,34 | 22,50 | 9,73 | | |
| | 1,60 | 1,68 | 36,60 | 39,74 | | | | | | 3,57 | 8,31 | | | | | 20,40 | 24,60 | 7,89 | 11,57 |
| 120 | 1,69 | | 36,30 | | 0,05 | 0,80 | 0,50 | 1,00 | 1,65 | 4,00 | 7,15 | 4,45 | 7,05 | 2,85 | 0,70 | 22,20 | 10,10 | | |
| | 1,67 | 1,71 | 35,52 | 37,08 | | | | | | 3,40 | 4,60 | | | | | 21,61 | 22,79 | 9,51 | 10,64 |
| 140 | 1,71 | | 35,50 | | 1,30 | 0,40 | 0,30 | 0,50 | 2,00 | 4,50 | 10,10 | 2,90 | 7,10 | 0,90 | 0,90 | 21,90 | 9,10 | | |
| | 1,70 | 1,72 | 34,40 | 36,60 | | | | | | 4,20 | 4,80 | | | | | 21,12 | 22,68 | 8,79 | 9,44 |



Typ V Griserde
Abb. 6

Tab. 7: GRISERDE (n = 4)

| | | TRG, G P V u. POREN-VOLUMEN % bei pF..bis pF../Mittelwerte und 95 %-Konfidenzgrenzen | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|--|-------|------------|---------|---------------------|--------------|---------|--------------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|-------|
| | | TRG | G P V | WEIT-POREN | | | MITTEL-POREN | | | | ENG-POREN | | | | | |
| | | | | GROB-POREN | | | | | MITTEL-POREN | | | | | FEIN-P. | | |
| | | | | schnell- | | langsam-dränende GP | | | Σ GP | | | | | | Σ MP | Σ FP |
| TIEFE | cm bei.. | | | <1,0 | 1,0-1,8 | 1,8-2,0 | 2,0-2,3 | 2,3-2,5 | < 2,5 | 2,5-2,8 | 2,8- 3,0 | 3,0- 3,3 | 3,3- 3,7 | 3,7- 4,2 | 2,5- 4,2 | > 4,2 |
| 10 | A | 1,43 | 46,05 | 1,30 | 3,85 | 2,55 | 4,05 | 3,65 | 15,40 | 8,35 | 4,60 | 5,00 | 2,97 | 1,05 | 21,95 | 8,70 |
| | B | 1,39 | 44,58 | 1,45 | 4,752 | | | | 13,85 | 17,95 | | | | | 18,52 | 25,38 |
| 20 | A | 1,41 | 47,05 | 4,05 | 4,60 | 2,15 | 3,50 | 3,10 | 17,40 | 7,15 | 4,45 | 4,80 | 3,25 | 1,40 | 21,05 | 8,60 |
| | B | 1,36 | 45,19 | 1,45 | 4,891 | | | | 16,42 | 18,38 | | | | | 18,21 | 23,89 |
| 40 | A | 1,44 | 45,70 | 3,35 | 3,95 | 2,15 | 3,05 | 3,25 | 15,75 | 8,65 | 3,40 | 0,75 | 1,60 | 1,45 | 21,85 | 8,10 |
| | B | 1,32 | 41,19 | 1,56 | 5,021 | | | | 13,22 | 18,28 | | | | | 21,73 | 21,95 |
| 60 | A | 1,55 | 41,35 | 4,05 | 1,65 | 1,90 | 3,00 | 1,30 | 11,90 | 2,40 | 1,80 | 5,55 | 3,75 | 1,70 | 15,20 | 14,25 |
| | B | 1,35 | 36,61 | 1,76 | 4,609 | | | | 6,22 | 17,58 | | | | | 14,41 | 15,99 |
| 80 | A | 1,56 | 41,20 | 3,85 | 2,85 | 0,95 | 1,80 | 1,30 | 10,75 | 2,40 | 1,75 | 6,40 | 3,30 | 1,15 | 15,00 | 15,45 |
| | B | 1,48 | 38,26 | 1,64 | 4,414 | | | | 9,67 | 11,83 | | | | | 14,22 | 15,78 |
| 100 | A | 1,67 | 36,85 | 1,50 | 2,00 | 0,55 | 1,60 | 1,55 | 7,20 | 2,00 | 1,05 | 8,20 | 3,10 | 1,50 | 15,85 | 13,80 |
| | B | 1,55 | 32,05 | 1,80 | 4,165 | | | | 5,05 | 9,35 | | | | | 14,38 | 17,32 |
| 120 | A | 1,70 | 35,90 | 2,65 | 2,30 | 0,80 | 2,20 | 1,80 | 9,75 | 2,70 | 2,20 | 6,20 | 2,50 | 1,25 | 14,90 | 11,25 |
| | B | 1,68 | 35,12 | 1,72 | 3,668 | | | | 7,69 | 11,81 | | | | | 13,92 | 15,88 |
| 140 | A | 1,70 | 35,90 | 2,65 | 2,30 | 0,80 | 2,20 | 1,80 | 9,75 | 2,70 | 2,20 | 6,20 | 2,50 | 1,25 | 14,90 | 11,25 |
| | B | 1,68 | 35,12 | 1,72 | 3,668 | | | | 7,69 | 11,81 | | | | | 13,92 | 15,88 |

den Austrocknung und Wiederbefeuchtung gefördert wird. Dabei bleibt die Frage nach Ursache und Wirkung allerdings offen. Auf jeden Fall ist der für den Übertritt von Sickerwasser in den unterlagernden Sand entscheidende Grob-Porenanteil wesentlich größer als in den Feucht-Schwarzerden über nicht entwässerndem Sand. Somit scheint die Entwässerungs-Möglichkeit nach unten die Voraussetzung für die Vermehrung der Grobporen zu sein. Umgekehrt muß der geringe Gehalt wasserzügiger Grobporen in den Feucht-Schwarzerde-CS-Horizonten — selbst wenn diese über Sand liegen — als Indiz für das Fehlen eines Wasserabzuges angesehen werden.

5 KALKULATION DES WASSER - SPEICHER-
VOLUMENS DER QUARTÄREN SEDIMENT-
BODEN - DECKE

Eine Schätzung aufgrund der planimetrischen Auswertung der Deckenmächtigkeit des Lösses inclusive des lösbürtigen Bodens ergab für das Untersuchungs-Gebiet Borsum (A). 140 cm, wobei die Abweichungen nur ± 20 cm dieses Durchschnitts-Wertes betragen. Im Untersuchungs-Gebiet Algermissen (B), liegt der Durchschnitt bei 150 cm, bei den Feucht-Schwarzerden dieses Gebietes bei 165 cm. Die lokalen Abweichungen sind größer als bei A, spielen jedoch insofern keine Rolle, als das Gebiet B hydrologisch nicht vollständig bilanziert werden sollte (s. Mitt. I).

Unter Vorwegnahme späterer Ergebnisse erscheint es zweckmäßig, den Löß/Boden-Speicherraum über der Ton-Sohle in zwei Abschnitte zu unterteilen:

1) In dem Abschnitt 0 - 80 cm, der hauptsächlich den A-Horizont umfaßt. In ihm vollzieht sich im Jahreslauf ein Wasser-Umsatz, bei dem bis zu 65 % des natürlichen Sättigungs-Wasser-Vorrats durch Evapotranspiration beansprucht werden.

2) In dem Abschnitt 80 - 140 cm, der meist aus komprimiertem, kalkhaltigem Löß besteht. Sein Sättigungs-Wasser-Vorrat wird im Höchstfall zu 35 % beansprucht, was insgesamt nur rund $1/3$ der

Tab. 8 POREN-RAUM (WASSERSPEICHER-KAPAZITÄT) DER LÖSS-DECKE INCLUSIVE LÖSS-BODEN ÜBER DER TON-SOHL E IN 1/m²

| TYP | G P V | | Grob-+Mittel- | | Grob - Poren | | Mittel- Poren | | Fein- Poren | |
|-----|---------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|-------------|--------------------|
| | | | p F < 4,2 | | p F - ∞ - 2,5 | | p F 2,5-4,2 | | p F > 4,2 | |
| | 0-140cm | 0-80cm 80-140cm | 0-140cm | 0-80cm 80-140cm | 0-140cm | 0-80cm 80-140cm | 0-140cm | 0-80cm 80-140cm | 0-140cm | 0-80cm 80-140cm |
| I | 581 | 349 | 439 | 260 | 121 | 82 | 318 | 178 | 142 | 89 |
| | | 232 | | 179 | | 39 | | 140 | | 53 |
| II | 651 | 413 | 446 | 282 | 161 | 124 | 285 | 158 | 205 | 131 |
| | | 238 | | 164 | | 37 | | 127 | | 74 |
| III | 579 | 356 | 421 | 245 | 132 | 103 | 289 | 151 | 158 | 102 |
| | | 223 | | 167 | | 29 | | 138 | | 56 |
| IV | 572 | 348 | 423 | 257 | 131 | 99 | 292 | 158 | 149 | 91 |
| | | 224 | | 166 | | 32 | | 134 | | 58 |
| V | 578 | 355 | 415 | 269 | 171 | 116 | 244 | 153 | 163 | 86 |
| | | 223 | | 146 | | 55 | | 91 | | 77 |

Vorrats-Beanspruchung der gesamten Löss/Boden-Decke ausmacht.

In Tabelle 8 ist das für die einzelnen Bodentypen-Gruppen errechnete Gesamt-Speicher-Vermögen zusammengestellt, bezogen auf 140 cm Löss-Decke mit Unterteilung bei 80 cm Tiefe. Die Angaben sind in l/m^2 gemacht, wobei die Poren-Größen-Bereiche getrennt aufgeführt sind.

Unter weiterer Vorwegnahme später darzustellender Ergebnisse muß der in Tab. 8 aufgeführte Feinporen-Anteil praktisch als bedeutungslos im Hinblick auf die Vorrats-Dynamik der Landschaft angesehen werden. Die sommerliche Austrocknung führt unter den gegebenen klima-hydrologischen Standorts-Bedingungen nicht zu einem Angreifen dieses "Totwasser-Vorrates". In Tab. 8 ist daher dieser Volumen-Anteil getrennt von den anderen dargestellt. Im unteren Profil-Abschnitt ist bei den Schwarzerden das Feinporen-Volumen annähernd gleich, bei den Griserden (V) führt die Ton-Infiltration zu einer Erhöhung. Die höheren Werte der Wald-Schwarzerden (II) sind auf die tiefgründigere Humus-Beimengung zurückzuführen. Im oberen Profil-Abschnitt spiegelt sich die mit der A-Horizont-Degradation einhergehende Feinporen-Ver minderung wieder.

Die "aktive" Speicherkapazität, d.h. die Summe von Grob- und Mittel-Poren-Volumen ($pF < 4,2 \approx \varnothing > 0,2 \mu m$) beträgt — alle fünf Typ-Gruppen zusammengenommen — bei 140 cm Decken-Mächtigkeit im Schnitt ca. 430 l/m^2 . Dabei sind die maximalen Abweichungen zwischen den einzelnen Typen mit + 4 % und - 3 % außerordentlich gering.

Betrachtet man die "aktive" Speicherkapazität nur der oberen 80 cm, so beträgt diese im Schnitt 264 l/m^2 d.h. 60 % der Gesamtkapazität der Decke. Auch hier sind die Abweichungen von Typ zu Typ mit max. + 7 und - 4 % gering. Lediglich die Wald-Schwarzerden (II) fallen durch eine höhere Kapazität (+ 7 %) heraus, die auf dem höheren Humus-Gehalt und dem damit erhöhten Grobporen-Anteil beruht. Das Verhältnis Mittel-:Grob-Poren beträgt etwa

übereinstimmend 1,3 bis 1,6 nur bei den Acker-Schwarzerden 2,2. Bei den letzteren ist diese Erscheinung auf die Umverteilung von Grob-Poren zu Mittel-Poren zurückzuführen. Dies ist als Folge der Acker-Nutzung anzusehen, bei der die Boden-Bearbeitung auf diesen vergleichsweise nahesten Standorten meist in einem relativ feuchten Zustand erfolgt und dementsprechend die stärkste Struktur-Beeinträchtigung bewirkt.

Betrachtet man die "aktive" Speicherkapazität des Abschnittes 80 - 140 cm, so beträgt diese im Schnitt 164 l/m^2 , d.h. ca. 40 % der Gesamt-Kapazität. Die Abweichungen sind hier zwischen den einzelnen Typen-Gruppen stärker (max. + 10, - 12 %). Positiv weichen die Acker-Schwarzerden vom Durchschnitt ab, was auf den erhöhten Mittelporen-Anteil zurückzuführen ist. Negativ weichen die Griserden ab, bei denen infolge Entkalkung und Ton-Einschlammung der Mittelporen-Anteil stark reduziert, der Grobporen-Anteil aber durch Kluftriß-Bildung schwach erhöht worden ist. Die Mittel-:Grob-Poren-Verhältnisse betragen in der Reihenfolge der Typen I bis V: 3,6 - 3,4 - 4,8 - 4,2 - 1,7. Sie zeigen den deutlichen Unterschied zwischen der Schwarzerde-Gruppe und der Griserde-Gruppe.

Im Durchschnitt beträgt die "Totwasser"-Speicherkapazität (Feinporen-Volumen) der oberen 80 cm ca. 25 % der Gesamt-Wasser-Speicher-Kapazität dieses Abschnittes. Der Mittel- und Grobporen-Anteil nimmt 75 % ein. Wenn — wie vorwegnehmend gesagt — die Beanspruchung der Gesamt-Speicher-Kapazität im Bereich 0 - 80 cm, durch Evapotranspiration 65 % betragen kann, so bedeutet dies, daß die Mittel- und Grobporen-Kapazität bis zu 87 % ausgeschöpft werden kann. Im Hinblick auf Hydrobilanz-Kalkulationen ist es demnach berechtigt, eine Grenze bei pF 4,2 zu ziehen, den darüber liegenden "Totwasser"-Anteil unberücksichtigt zu lassen und das in seinen Saugspannungen darunter liegende Poren-Volumen als "aktive", d.h. am Wasser-Umsatz teilnehmende Speicher-Kapazität zu bezeichnen. Andererseits lohnt es sich bei den Typen I, II, III und IV nicht, noch eine weitere hydrologisch-ökologische Unterteilung des Poren-Volumens mit Poren-Durchmessern $> 0,2 \mu\text{m}$ (= $pF < 4,2$) vorzunehmen — etwa im Sinne der Unterteilung in

"pflanzenverfügbares Wasser" und "Sickerwasser". Man bedenke, daß in diesen Typen-Gruppen kein Sickerwasser in den Untergrund übertreten kann. Das bedeutet, daß auch das in den sog. "Drän-Poren" angestaute (gespeicherte) Wasser voll pflanzenverfügbar ist und ausschließlich auf dem Wege der Evaporation oder des oberflächennahen Hangwasserzuges die LÖB/Boden-Decke verlassen kann. Somit empfiehlt es sich, im vorliegenden Fall Mittel- und Grob-Poren zu nur einer Betrachtungs-Einheit zusammenzufassen. Damit wäre für das Feucht-Schwarzerde-Bilanz-Areal Borsum (A) die Kalkulations-Grundlage für die Aufstellung des Vorrats-Änderungs-Gliedes der Landschafts-Wasser-Haushalts-Gleichung gegeben. Im Vergleichs-Areal B (Feucht-Schwarzerde/Griserde Landschaft bei Algermissen), ist zumindest für die einzelnen Typen-Gruppen die Vorrats-Kapazität generalisierend einzusetzen. Man muß sich dabei im Klaren sein, daß dies lediglich aufgrund der gezielten Auswahl der Landschafts-Ausschnitte möglich war.

Die Erstellung von physikalischen Normal-Profilen für die einzelnen Teil-Areale setzte eine so weitgehende stratigraphisch-horizontmäßige Übereinstimmung der physikalischen Daten in der quartären Wasser-Speicher-Decke voraus, daß eine hydrologische Typisierung und Spezifizierung der morphologischen Kartier-Einheiten möglich wurde. Dies ist in der Regel in anderen Gebieten nicht der Fall und schließt eine sichere Erfassung des Vorrats-Gliedes der Wasser-Haushalts-Gleichung für die Landschaft aus.

6. Z U S A M M E N F A S S U N G

Die vorliegende Mitteilung (II) befaßt sich mit der Frage nach der Ermittlung der Wasser-Speicher-Kapazität der gesamten LÖB/Boden-Decke über wasserundurchlässigem Ton in zwei Landschafts-Ausschnitten der niedersächsischen Schwarzerde- und Schwarzerde/Griserde Börden im Mittelgebirgs-Vorland.

Die LÖB-Decke mit den aus ihr hervorgegangenen holozänen Böden wurde in beiden Landschafts-Ausschnitten in Teil-Bezirke mit

pedomorphologisch-stratigraphisch einheitlichem Aufbau untergliedert. Insgesamt wurden fünf morphologische Typen unterschieden, welche die Morpho-Sequenz von der Acker-Feucht-Schwarzerde bis zur Griserde umfassen.

An 54 Profilen wurde jeweils in acht Tiefen die pF-Charakteristik mit zehn Saugspannungs-Stufen aufgenommen. Es zeigte sich, daß die fünf unterschiedenen Einheiten auch physikalisch signifikant verschiedene Einheiten darstellen. Dabei sind die physikalischen Unterschiede zwischen den Einheiten — entsprechend den relativ geringen morphologischen Unterschieden — nicht sehr groß. Die Abhängigkeit der Poren-Verteilung im Profil von den pedogenetischen Prozessen der einzelnen Bodentypen wird dargestellt und interpretiert.

Der Vergleich zeigt, daß es in den gezielt ausgewählten Landschafts-Ausschnitten möglich ist, mit Hilfe der bodenphysikalischen Aufnahme — bei geringer Streuung der typspezifisch physikalischen Boden-Daten — eine Kalkulation der Speicher-Kapazität der Löß/Boden-Decke durchzuführen, die eine Ungenauigkeit von weniger als 5 % beinhaltet.

Im Durchschnitt sind bei einer mittleren Mächtigkeit von 140 cm Löß/Boden-Decke über der Ton-Sohle 430 l/m^2 "aktive" Wasser-Speicher-Kapazität anzusetzen, wenn man von der totalen WSK (590 l/m^2) den nicht am Wasser-Umsatz beteiligten "Totwasser"-Anteil mit Saugspannungen $> pF 4,2$ (160 l/m^2) abzieht. Entsprechend der Beteiligung am annuellen Wasser-Umsatz ist eine Unterteilung der quartären Deckschicht in die hydrologischen Zonen 0 - 80 cm (265 l/m^2) und 80 - 140 cm (165 l/m^2) vorzunehmen. Ihre "aktive" Wasser-Kapazität, d.h. die am Wasser-Umsatz beteiligte, entspricht volumenmäßig dem gesamten Mittel- und Grobporen-Volumen mit Saugspannungen $pF < 4,2 \cong \phi > 0,2 \mu\text{m}$. Die Wasser-Füllmenge dieses Speicher-Raumes ist in Anbetracht der unterlagernden Stausohle zugleich als Gesamt-Menge des pflanzenverfügbaren und des effektiv der Evapotranspiration zur Verfügung stehenden Wassers anzusehen.

Damit ist eine generelle Charakterisierung des Wasservorrats-Gliedes der Wasser-Haushalts-Gleichung für die ausgeschiedenen Hildesheimer-Schwarzerde-Areale gegeben und die Grundlage für die Wasser-Haushalts-Berechnung der Landschaft in Mitt. III erarbeitet.

7 L I T E R A T U R

1. BAILLY, F. und HARTGE, K.H. (1967): Porenvolumen und Porengrößen-Verteilung in Löß-Parabraunerden. Zeitschrift.Pflanzenernähr.-Düng.-Bodenkunde 115, 17-28 (1967)
2. HARTGE, K.H. (1965): Die Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung. Zeitschrift. Kulturtechnik und Flurbereinigung 6, 193-206 (1965)
3. HASE, D. und MEYER, B. (1969): Feuchte-Jahresgang, Wasser-Bewegungen und -Bilanzen in dicken Würmlöß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichem Grundwasserstand im Raum Niedersachsen. Göttinger Bodenkundl. Berichte 11, 85-183 (1969)
4. MEYER, B. und SCHEFFER, K. (1970): Physikalisch-pedohydrologische Veränderungen einer grundwasserfernen Parabraunerde aus mächtigem Jungwürmlöß durch Tiefumbruch. Göttinger Bodenkundl. Berichte 16, 9-65 (1970)
5. ROESCHMANN, G. (1968): Pseudogley-Tschernoeme und deren Übergangsbildungen zu Parabraunerden im Lößgebiet der Hildesheimer Börde. Geol. Jb. 85, 841-860 (1968)
6. ROHDENBURG, H. und MEYER, B. (1966): Zur Feinstratigraphie und Paläopedologie des Jungpleistozäns nach Untersuchungen an südniedersächsischen und nordhessischen Lößprofilen. Göttinger Bodenkundl. Berichte 2, 1-135 (1966)
7. STRAUTZ, W. (1962): Der Einfluß des Wasserhaushaltes auf die Bodentypenentwicklung im Löß. Diss. Hannover 1962
8. STRAUTZ, W. (1963): Porengrößenverteilung in einer Feuchtschwarzerde - Parabraunerdereihe aus Löß. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft 1, 121-128 (1963)
9. STREBEL, O. (1966): Beziehungen zwischen Bodengenese, Nutzungsart und Eigenschaften des Porensystems von Lößböden des Raumes Sarstedt. Zeitschrift.Pflanzenernähr.-Düng.-Bodenkunde 112, 30-38 (1966)

Beese, F., und Meyer, B.:

**DER WASSER-HAUSHALT VON FEUCHT-
SCHWARZERDE - UND GRISERDE-LAND-
SCHAFTEN IM NIEDERSÄCHSISCHEN LÖSS-
VORLAND DER MITTELDEUTSCHEN
SCHWELLE**

III

DIE HYDROBILANZ DES
FEUCHTSCHWARZERDE - REPRÄSENTATIV -
GEBIETES BORSUM BEI HILDESHEIM

**Göttlinger Bodenkundliche Berichte 22, 83-135
(1973)**

G L I E D E R U N G

| | Seite |
|---|-------|
| 1 <u>E I N L E I T U N G, P R O B L E M S T E L L U N G</u> | 86 |
| 2 <u>R E P R Ä S E N T A T I V - G E B I E T</u> | 86 |
| 3 <u>G R A B E N - W A S S E R A B F L U S S</u> | 88 |
| 3.1 <u>K R I T I K D E R A B F L U S S - M E S S U N G</u> | 88 |
| 3.2 <u>Z E I T L I C H E R V E R L A U F</u> | 91 |
| 3.3 <u>M E S S - M E T H O D E</u> | 92 |
| 4 <u>S P E I C H E R - K A P A Z I T Ä T U N D V O R R A T S -</u> <u>Ä N D E R U N G E N D E R Q U A R T Ä R E N S E D I -</u> <u>M E N T / B O D E N - D E C K E</u> | 93 |
| 4.1 <u>K A P A Z I T Ä T S - G R Ö S S E</u> | 93 |
| 4.2 <u>V O R R A T S - Ä N D E R U N G, M E S S - M E T H O D E</u> | 94 |
| 5 <u>W I T T E R U N G S - D A T E N</u> | 96 |
| 6 <u>B I L A N Z - J A H R 1970 A L S B I L A N Z -</u> <u>M O D E L L</u> | 96 |
| 6.1 <u>W A H L D E R B I L A N Z I E R U N G S - Z E I T A B S C H N I T T E</u> | 96 |
| 6.2 <u>V O R R A T S - N O R M A L - A M P L I T U D E</u> | 98 |
| 6.3 <u>W I T T E R U N G S - C H A R A K T E R I S T I K F Ü R B I L A N Z J A H R 1970</u> | 101 |
| 6.4 <u>G E B I E T S - W A S S E R H A U S H A L T S - B I L A N Z</u> | 102 |
| 6.4.1 <u>B e r e c h n u n g s - M e t h o d e, P r o b l e m e b e i m</u> <u>A c k e r l a n d i n f o l g e u n t e r s c h i e d l i c h e r</u> <u>N u t z u n g s w e i s e (R ü b e n - G e t r e i d e)</u> | 102 |
| 6.4.2 <u>W a l d - A c k e r - V e r g l e i c h</u> | 104 |

| | Seite |
|---|-------|
| 7 <u>AUFSTELLUNG EINER NORMAL - BILANZ</u> | 112 |
| 7.1 <u>BILANZ-TABELLE FÜR DEN GEGENWARTS-ZUSTAND</u> | 112 |
| 7.2 <u>FOLGERUNGEN FÜR DIE UMSTELLUNG DER BODEN- NUTZUNG UND KULTURTECHNISCHE ASPEKTE</u> | 116 |
| 8 <u>PROGNOSE - ANSÄTZE</u> | 120 |
| 9 <u>GRUNDWASSER - LYSIMETER - VERGLEICH</u> | 123 |
| 9.1 <u>DENK-MODELL UND METHODE</u> | 123 |
| 9.2 <u>ERGEBNISSE UND VERGLEICH</u> | 126 |
| 10 <u>WASSERHAUSHALTS - VERGLEICH LÖSS - FEUCHTSCHWARZERDE - UND LÖSS - PARABRAUNERDE - LAND - SCHAFT</u> | 130 |
| 11 <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | 131 |
| 12 <u>LITERATUR - VERZEICHNIS</u> | 133 |

1 EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG

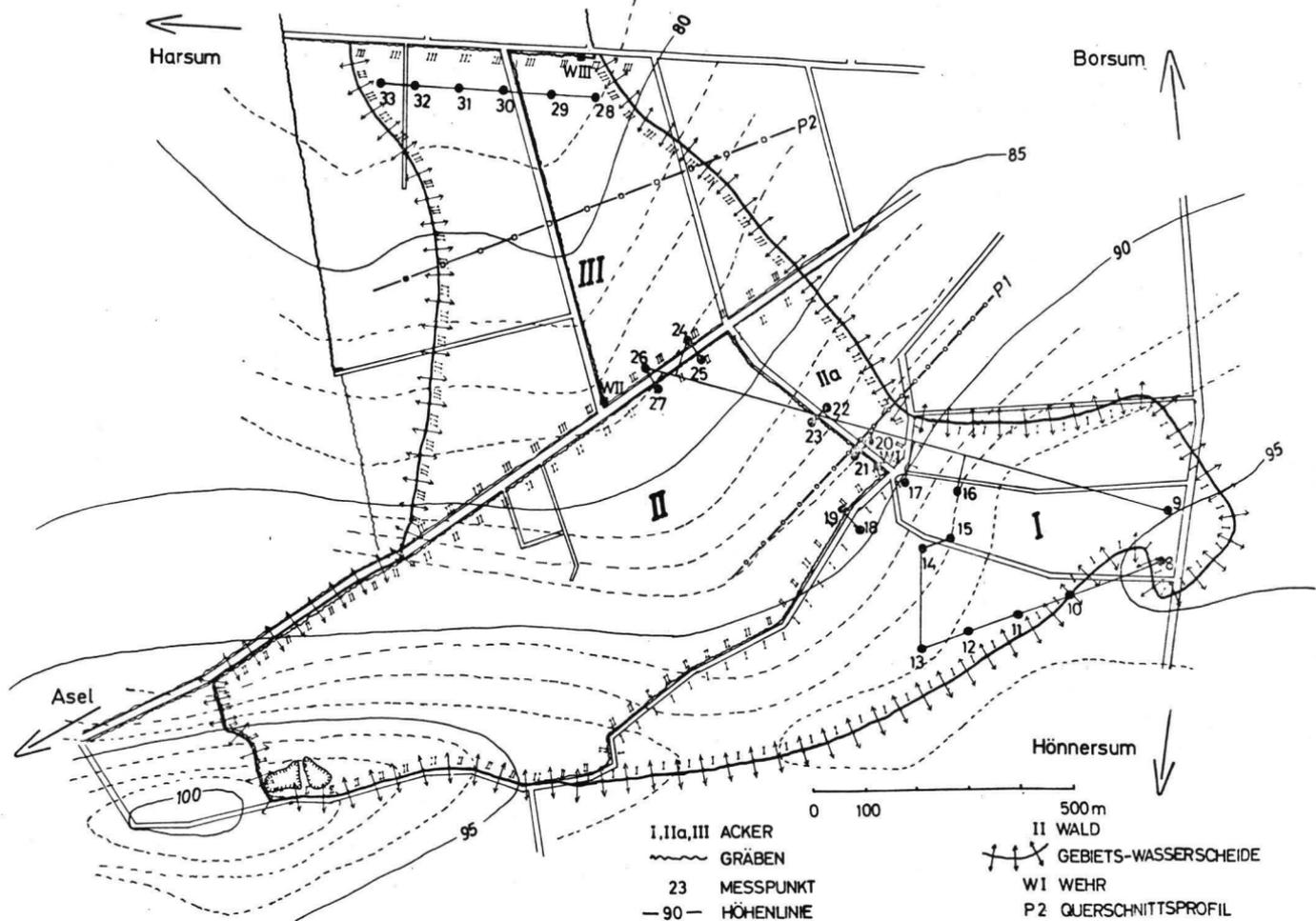
In Mitteilung I (2) dieser Publikationsfolge wurde bei Borsum im Zentrum des Hildesheimer Löß-Feucht-Schwarzerde-Gebietes ein für die Feucht-Schwarzerde-Landschaften des mitteldeutschen Löß-Gürtels repräsentativer Landschafts-Ausschnitt ausgeschieden. Seine hydrologische und hydropedologische Struktur ermöglicht die Erfassung aller Umsatz-Daten des Landschafts-Wasser-Haushaltes und die Aufstellung hydrologischer Bilanzen. In Mitteilung II (4) wurde bereits aufgrund der physikalischen Analyse der in diesem Gebiet auftretenden Bodentyp/Schichtungstyp-Landschafts-Einheiten die Kalkulation der Wasser-Speicher-Kapazität des Stauraumes durchgeführt und damit die Grundlage für die Ermittlung des Vorrats-Änderungs-Gliedes R der Wasser-Haushalts-Gleichung der Landschaft geschaffen.

In der folgenden III. Mitteilung wird über dreijährige Wasser-Bilanz Ermittlungen aus diesem Repräsentativ-Gebiet berichtet und der Versuch unternommen, extrapolierend zu einer generalisierenden Aussage über den Wasserhaushalt von Feucht-Schwarzerde-Landschaften zu gelangen.

2 DAS REPRÄSENTATIV - GEBIET

Eine detaillierte morphologisch-stratigraphische Analyse dieses 142 ha großen Areal findet sich in Mitteilung I. Der aus wasser-undurchlässigen Tonen der Unterkreide bestehende Untergrund der Landschaft formt hier ein aus flachen Hügel-Rücken und breiten Senken bestehendes Landschafts-Relief. Hydrologischer "Speicher"- oder "Wasser-Umsatz-Raum" ist die im Schnitt nur 1,4 m mächtige Löß-Decke, die den Ton überzieht und die im Holozän pedogenetisch ausschließlich zu Feucht-Schwarzerden umgewandelt wurde. Geringmächtige pleistozäne Locker-Sediment-Straten die gelegentlich unter der Löß-Decke in den Ton eingebettet sind, schaffen lokale hydrologische Inhomogenitäten, sind jedoch für hydrologische Bilanz-Untersuchungen an dieser Stelle von geringer Bedeutung.

Das auf Karte 1 dargestellte Bilanz-Areal stellt einen durch hydrologische Wasserscheiden umgrenzten Landschafts-Ausschnitt dar, der sich von der Plateau-Zone eines flachen Hügel-Rückens über dessen Nordhang bis in die nördlich vorgelagerte Senke er-



streckt. Vom Oberflächen-Relief her gesehen, handelt es sich um eine sehr breite, flache, nicht weiter differenzierte Hangmulde.

Von der Nutzung und von der Meß-Möglichkeit für den Oberflächen-Wasserabfluß her gesehen ist folgende Untergliederung des Gesamt-Areals geboten:

- Teilareal I 39 ha Plateau und Oberhang-Bereich. Ackerfläche mit der ortsüblichen Rotation Rüben-Weizen-Gerste z.T. mit Gründungs-Zwischenfrucht-Bau. Zum Areal II wird I durch einen 970 m langen Graben abgegrenzt, der am oberen Ende 40, bei WI 60 cm tief ist. Der östliche Teil von I ist dräniert. Vorfluter ist der Graben zwischen den Teil-Arealen II und IIa. Meß-Wehr WI gestattet somit den Oberflächen- und oberflächennahen Abfluß von Teilareal I zu erfassen.
- Teilareal II 58 ha Oberhang- und Ursprungs-Dellen-Bereich, Laub-Misch-Hochwald.
- IIa 4 ha Ackerfläche, wie I
Aufnahme von Oberflächen- und oberflächennahem Abfluß-Wasser durch den Straßen-Graben Borsum-Asel und den Haupt-Entwässerungs-Graben WI und WII. Länge des Grabens 660 m, Tiefe bei WI 60 cm, bei WII (Straßendurchlaß) 90 cm.
Abfluß des Teilareals II: Differenz WII - WI
- Teilareal III 41 ha Hangfuß-Flachrinnen-Zone, Ackerfläche, wie I.
Oberflächennahe Entwässerung durch das 650 m lange Stück des Hauptgrabens zwischen den Meßwehren WII (90 cm Grabentiefe) und WIII (120 cm Grabentiefe).
Abfluß des Teilareals III: Differenz WIII-WII

3 GRABEN - WASSERABFLUSS

3.1 KRITIK DER ABFLUSS-MESSUNG

Das nach der Verkoppelung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und dem Straßen-Ausbau angelegte Graben-System ist mit nur 40 bis 90 cm Tiefe der Graben-Sohle lediglich befähigt, folgende Wassermengen aufzunehmen und aus dem Bilanz-Areal abzuführen:

- 1) Oberflächlich abströmendes Niederschlags-Wasser: Dieser Anteil ist außerordentlich gering, da der hohe Grobporen-Anteil in den

Schwarzerde-A-Horizonten und die damit verbundenen guten Infiltrations-Möglichkeiten kaum eine Bildung von Oberflächen-Wasser zu lassen. Lediglich bei der Schneeschmelze über gefrorenem Boden kann es gelegentlich im Winterhalbjahr zum Abfluß von Oberflächen-Wasser kommen.

2) Im oberen A-Horizont-Abschnitt lateral abfließendes oberflächennahes Grundwasser: Die Grabensohlen schneiden in der Regel nur bis zur Unterkante des A-Horizontes, gelegentlich auch noch ein bis zwei Dezimeter tiefer in den LÖB-CS-Horizont ein. Steigt in den Winter-Monaten der Spiegel des ungespannten Boden-Grundwassers in den A-Horizont hinein an, so kann an den Graben-Wänden ein Wasser-Austritt erfolgen. Bei der hohen hydraulischen Leitfähigkeit der unteren A-Horizont Abschnitte (s. Mitt. V) mit Filtergeschwindigkeiten (vf) von bis zu 70 cm/d können auf diese Weise selbst bei der geringen Oberflächen-Neigung des Geländes und dem geringen piezometrischen Niveau erhebliche Flächen-Anteile allein durch die Abfang-Gräben in ihren A-Horizonten entwässert werden.

Dieser Prozeß wird durch die lokalen, wenn auch meist im Verfall begriffenen flachen Drainage-Systeme wesentlich unterstützt und in seiner flächenhaften Ausdehnung erweitert.

3) An der Grabensohle artesisch austretendes Grundwasser: Dies ist besonders im Graben-Abschnitt WI - WII zwischen den Teilarealen II und IIa gegeben. Die flache aus dem östlichen Teil von Areal I her führende Sand-Rinne unter dem LÖB endet hier blind; sie wird durch die Graben-Sohle angeschnitten und kann dadurch das in ihr gespeicherte Druck-Wasser entlassen. Somit bewirkt der Graben hier einen echten — allerdings auch nur im Winter gegebenen — Grundwasser-Abzug.

4) Oberflächlich abströmendes, durchgestautes Grundwasser: In der NE-Ecke des Wald-Areals II staut sich in feuchten Wintern vom Oberhang her eindruckendes Boden-Grundwasser bis zur Oberfläche an und überflutet hier den Waldboden. Es kann dann in den Straßen-Gräben abfließen. Ursache und Wirkung sind nicht klar zu fassen. Das Graben-System und der Straßen-Damm mögen dieses Phänomen erst ausgelöst haben. Es ist nämlich zu beobachten, daß im Graben-

Abschnitt WI - WII austretendes artesisches Wasser nach einer bestimmten Laufstrecke wieder versickert, wenn die Grabensohle einen anderen Arm der Sandrinne anschneidet.

Folgerung aus dieser Analyse muß sein: Die Tatsache, daß das Bilanz-Gebiet heute einen erheblichen Gebiets-Wasser-Abfluß besitzt, der am Meßwehr III erfaßt werden kann, muß ausschließlich als Ergebnis des anthropogenen Eingriffs in das hydrologische System der Naturlandschaft interpretiert werden. Dieser Eingriff ist einerseits in der Beseitigung des Waldes, andererseits in der Schaffung eines die Bodendecke als Wasser-Speicher-Raum anzapfenden Graben- und Drainage-Systems zu sehen. Im natürlichen Zustand — und dies ist wichtig für die Rekonstruktion der hydrologischen Bedingungen, unter denen die Bodendecke dieses Gebietes im Holozän entstanden und konserviert worden ist — darf kaum mit einem oberflächlichen Gebiets-Wasser-Abfluß gerechnet werden. D.h., die Wasserhaushalts-Gleichung der Naturlandschaft ist auf die Gewinngröße externer Niederschlag und die Verlust-Größen Evapotranspiration und Interception zu reduzieren.

Diese Behauptung ist dadurch zu stützen, daß — wie bereits in Mitt. I dargelegt — an der Straße Borsum-Harsum nur mit einem ganz geringen Hang-Wasserabzug in der Löß-Decke zu rechnen ist, die hier unmittelbar dem Ton aufliegt. Ferner fanden sich auch bei der Bohrnetz-Kartierung keinerlei pedomorphologische oder stratigraphische Hinweise darauf, daß dieses Gebiet jemals im Holozän eine natürliche Abflußrinne für Oberflächen- oder angezapftes Boden-Grundwasser besessen hat.

Facit der Herkunftsanalyse des Grabenwasser-Abflusses ist, daß außer einer groben Umlage des anfallenden Wassers auf die ausgeschiedenen hydrologischen Teilareale, aufgrund der Graben-Abfluß-Messung allein keine nähere flächenbezogene Spezifizierung und auch keine nähere Festlegung der Entwässerungs-Art (Grundwasser-Entzug im CS- oder A-Horizont-Niveau) möglich ist. Dazu sind vielmehr laufende Messungen der Wasser-Zustands-Änderungen der Boden-Decke an den einzelnen Meßpunkten unerlässlich.

3.2 ZEITLICHER VERLAUF

Beobachtungen in den Jahren 1966 bis 1971 ergaben folgende Jahres-Rhythmik des Graben-Wasserabflusses: Ein zusammenhängender Graben-Wasserspiegel und ein meßbarer kontinuierlicher Abfluß setzen frühestens dann ein, wenn der Spiegel des ungespannten Boden-Grundwassers der Feucht-Schwarzerde-Flächen in den A-Horizont hinein angehoben worden ist. Dies ist in der Regel etwa von Dezember an der Fall. Wann der Zeitpunkt erreicht ist, hängt von der vorhergehenden Witterungs-Periode und dem davon bestimmten Sättigungs-Defizit der Löß/Schwarzerde-Decke ab. Ausnahme-Fälle sind dann gegeben, wenn auf gefrorenem Boden die Schneeschmelze in Verbindung mit Regenfällen einsetzt. Es kommt dann zu einem kurzfristig wirksamen Abfluß.

Z. B. setzte nach dem niederschlags-normalen Sommer 1970 bereits in den anomal feuchten Herbst-Monaten Oktober bis Dezember der Graben-Abfluß ein, allerdings nur im Teilareal III und in nicht meßbaren Mengen. Nach dem Trocken-Jahr 1971 trat im Winter und Frühjahr 1971/72 überhaupt kein Graben-Wasser-Abfluß ein. Nach dem annähernd normalen Herbst 1969 setzte der Abfluß 1970 Ende Februar ein, erreichte sein erstes Maximum gleich nach der Schneeschmelze und nach den starken Niederschlägen gegen Ende Februar, durchlief ein zweites und drittes Maximum in der anomal starken Niederschlags-Periode Mitte März bis Mitte April und klang dann bis Ende Mai ab.

Als Regel läßt sich daraus für das Normal-Jahr etwa ableiten, daß der Gebiets-Graben-Wasser-Abfluß im November/Dezember einsetzt und bis Mitte Mai ausklingt. Die aktuelle Höhe des Abflusses wird dabei im wesentlichen durch die Abweichungen der Niederschlags-Höhe von der Norm bedingt, besonders in den verdunstungs-schwachen Monaten Februar bis April. Später wird als Folge der intensiveren Transpiration der Einfluß der Niederschlags-Höhen auf die Amplitude des Graben-Abflusses gemindert.

Diese Aussage gilt für die Acker-Areale mit etwa 30 % Zuckerrüben-Flächen-Anteil, der bis Anfang Juni pedohydrologisch als Brachfläche zu bewerten ist. Beim Wald wird infolge der länger anhaltenden Transpiration im Herbst in der Regel ein größeres vorwinterliches Speicherwasser-Defizit in der Löß/Boden-Decke

erzeugt, das im Winter als Folge der höheren Interceptions-Verluste wesentlich langsamer aufgefüllt wird als unter Ackerland. Daraus resultiert, daß eine Graben-Wasser-Spende erst sehr viel später einsetzen kann und-terminiert durch die Wiederbelaubung im April/Mai — auf einen kürzeren Zeit-Abschnitt beschränkt bleibt.

3.3 MESS-METHODE

Lage und Einzugsgebiet der drei Meß-Wehre sind aus Karte 1 ersichtlich.

Wie die Beobachtungen ergaben, schwanken die Abfluß-Mengen in diesem Gebiet sehr stark und sind in der Regel sehr gering. Daher wurde zur Messung der "rechtwinkl. Überfall" nach THOMPSON (THOMPSON-WEHR) gewählt, (SCHROEDER, 24). Aus der Gleichung für den vollkommenen Überfall mit trapezförmigem Querschnitt und

$$h_v = 0$$

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot 2g \cdot h^{\frac{3}{2}} (b + 0,8 \operatorname{tg} \alpha)$$

ergibt sich für den dreieckigen Überfall nach THOMPSON folgende Beziehung:

$$Q = 1,46 h^{\frac{5}{2}}$$

wenn $b = 0$, $\mu = 0,618$ und $\alpha = 45^\circ$ sind.

Q = Durchflußmenge in m^3/sec

h = Höhe des Wasserstandes über der Wehrsohle, 80 cm oberhalb des Überfalles

b = Wehrbreite des trapezförmigen Überfalls

μ = Wehrkonstante

α = Winkel zwischen Wand und der Senkrechten $h_v = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$

h_v = Geschwindigkeitsänderung

bei geringen Geschwindigkeiten geht h_v gegen 0

Diese Beziehung wurde zur Ermittlung der Abfluß-Mengen herangezogen. Wie aus der Gleichung hervorgeht, liegt die Voraussetzung dafür im Auftreten geringer Fließ-Geschwindigkeiten, was im vorliegenden Fall als gegeben angesehen werden kann. Die Ablesung

erfolgte täglich, in Phasen geringerer Schwankungen in Triaden.

4 SPEICHER - KAPAZITÄT UND VORRATS -
ÄNDERUNGEN DER QUARTÄREN SEDIMENT-
BODEN - DECKE

4.1 KAPAZITÄTS-GRÖSSE

Die quartäre Sediment- und Boden-Decke über der Ton-Sohle ist innerhalb des Bilanz-Gebietes wenig differenziert. Nach Mitteilug I und II kommen nur die Typen "Acker-Feucht-Schwarzerde" unter Ackernutzung und "Wald-Feucht-Schwarzerde" unter Wald-nutzung vor. Die quartäre Decke besteht fast ausschließlich aus Löß von durchschnittlich 140 cm Mächtigkeit. Es empfiehlt sich daher, die Größen-Angaben für Speicher-Kapazität und Vorrats-Änderung auf den Quadratmeter zu beziehen bzw. in mm Wasserhöhe aus-zudrücken.

Nach der Ausführung in Mitt. II nimmt der Feinporen-Anteil der wasserspeichernden Decke nicht am Wasser-Umsatz der Landschaft teil. Die "aktive" Speicher-Kapazität umfaßt das Poren-Volumen mit Saugspannungen $pF < 4,2$ bzw. Poren-Durchmessern $> 0,2 \mu m$. Sie beträgt in der

| | | | |
|--------------------------|--------------|--------------|---------|
| Acker-Feucht-Schwarzerde | in der Tiefe | in der Tiefe | insges. |
| | 0 - 80 cm | 80 - 140 cm | |
| | 260 mm | 179 mm | 439 mm |
| Wald-Feucht-Schwarzerde | in der Tiefe | in der Tiefe | insges. |
| | 0 - 80 cm | 80 - 140 cm | |
| | 282 mm | 164 mm | 446 mm |

Die Unterteilung der Gesamt-Kapazität in die Teil-Kapazitäten der Abschnitte 0 - 80 cm und 80 - 140 cm empfiehlt sich, weil der obere Abschnitt bis zu 40 % (Acker) bzw. 60 % (Wald) seiner "aktiven" Kapazität, der untere Abschnitt nur bis zu 25 % (Acker) bzw. 50 % (Wald) seiner "aktiven" Kapazität im Verlaufe des annuellen Wasser-Umsatzes beansprucht wird.

4.2 VORRATS-ÄNDERUNG, MESS-METHODE

Die Messung der Wasser-Vorräte in der Speicher-Decke erfolgte in 14 tägigen Abständen an den 33 ausgewählten Meß-Punkten (s. Mitt. I). Methodisch basierte sie

- (a) auf der Messung der Spiegel-Höhe des in der Decke angestauten Boden-Grundwassers
- (b) auf der gravimetrischen Wasser-Gehalts-Bestimmung des Bodens oberhalb und unterhalb des Grundwasser-Spiegels und seiner Umrechnung anhand der ermittelten Trockenraum-Gewichte auf Volumen-Prozente.

Probleme:

Es kann nicht davon ausgegangen werden, daß der Porenraum der Boden-Decke unterhalb des Boden-Grundwasser-Spiegels voll mit Wasser gesättigt ist. In Mitt. II wurden bereits Angaben über Luft-Einschlüsse gemacht, die unterhalb des phreatischen Niveaus auftreten. Sie sind darauf zurückzuführen, daß die winterliche Auffüllung des im Sommer durch Evapotranspiration entwässerten Poren-Raumes durch von oben her eindringendes Niederschlags-Wasser nicht kontinuierlich erfolgt. Während sich in dem Grob-Poren-System bereits ein ungespanntes hydrostatisches Niveau einstellt, ist und bleibt ein Teil der feineren Poren mit Luft gefüllt. Dies erfordert Wassergehalts-Bestimmungen auch unterhalb des phreatischen Niveaus.

Durch Aufgrabung und Stechzylinder-Entnahmen läßt sich diese Wasser-Gehalts-Bestimmung unterhalb des "Boden-Grundwasser-Spiegels" hinreichend exakt durchführen. Bohrstock-Probe-Entnahmen sind dagegen mit Fehlern behaftet. Die Boden-Matrix unterhalb des Grundwasser-Niveaus befindet sich nahe an der Fließgrenze. Durch Pressungen und Vibrationen beim Bohr-Vorgang wird eine "Schlamm-Verdichtung" verursacht, bei der die okkludierte Luft z.T. ausgetrieben wird und die Matrix zusätzlich Wasser aufnimmt. Dadurch fallen gravimetrische Wassergehalts-Bestimmungen nach der Bohrstock-Methode, die unterhalb des Grundwasser-Spiegels durchgeführt werden, zu hoch aus. Dies ist besonders in den durch ein leicht veränderbares Gefüge gekennzeichneten unteren Abschnitten des A-Horizontes und des A/CS-Horizontes der Fall. Steht das ungespannte Wasser innerhalb dieses Profil-Abschnittes, so ergibt die gravimetrische Bestimmung stets eine volle Wasser-Sättigung, die aufgrund volumetrischer Messungen tatsächlich aber nicht gegeben ist.

Der Einsatz anderer Methoden der Wassergehalts-Ermittlung war nicht möglich. Untersuchungen mit der Neutronen-Sonde stießen auf folgende Schwierigkeiten:

- a) Dichte, Tongehalts- und Humusgehalts-Unterschiede zwischen den einzelnen Meßpunkten erforderten separate Eichungen.
- b) Die Erfassung von Wassergehalts-Änderungen in den oberen 40 cm war ungenau.
- c) Die Meß-Rohre mußten z.Zt. der Boden-Bearbeitung entfernt und jedesmal wieder eingesetzt werden, was zu Meß-Abweichungen führte.
- d) Entsprechend den Untersuchungen von DE LEENHEER, DE BOODT und ROBBERECHTS (8) wurden bei zu langem Verbleiben der Rohre im Boden Meß-Abweichungen konstatiert.
- e) Für Messungen unterhalb des Grundwasser-Spiegels sind bislang die Eich-Probleme noch nicht befriedigend gelöst.

In Anbetracht dieser Probleme erschien die gravimetrische Wassergehalts-Bestimmung an Bohr-Proben als diejenige Methode, die während eines sehr langen Jahres-Abschnittes die verlässlichsten Wasser-Vorrats-Werte liefern kann. Diese sind nur in der spätwinterlichen Phase der hohen Boden-Grundwasser-Stände für bestimmte Profil-Abschnitte mit größeren korrekturbedürftigen Fehlern behaftet. Leider sind bei Grundwasser-Ständen in Höhe des Ah/AC-Horizontes kaum Stechzylinder-Probenahmen in diesem Horizont-Abschnitt möglich, da hier die hohe Wasser-Leitfähigkeit sofort zum Vollaufen der Gruben führt. Andererseits sind bei dem höheren Grobporen-Anteil und der starken lateralen Wasserbewegung die Möglichkeiten für eine natürliche Entlüftung größer. Somit wird der durch Luft-Okklusion auftretende Fehler wieder gemindert.

- zu(a) Die Boden-Grundwasser-Messung wurde in Filterrohren (geschlitzte Drän-Rohre) durchgeführt, die bis auf die Ton-Sohle eingeführt wurden. Die Grundwasser-Spiegelhöhe wurde mit einer Senkelektrode mit akustischer Signalgebung gemessen.
- zu(b) Die Bohrstock-Probe-Entnahme erfolgte gleichmäßig in den Tiefen 5-15, 15-25, 35-45, 55-65, 75-85, 95-105, 115-125 und 135-145 cm, wobei das Material der Ton-Sohle erfaßt wurde.

5 W I T T E R U N G S - D A T E N

Für die Ermittlung der Niederschlags-Mengen wurden in jedem Untersuchungs-Areal in Rüben-Beständen zwei HELLMANN-Regenmesser aufgestellt und wöchentlich abgelesen. Die Auffang-Fläche befand sich 50 cm über der Boden-Oberfläche in Höhe der Rüben-Blätter. Die beiden Werte wurden gemittelt und dienten als Grundlage für die Bilanzierung. Zum Vergleich wurden die Niederschlags-Messungen der Stationen Hildesheim und Clauen herangezogen, die in ca. 5 km Abstand vom Untersuchungs-Gebiet entfernt liegen. Die gute Übereinstimmung selbst der Sommer-Niederschläge ließ es als gerechtfertigt erscheinen, den Ansatz für die Winter-Niederschläge aufgrund der kontinuierlichen Messungen beider Stationen zu machen, da wir selbst keine heizbaren Regenmesser einsetzen konnten. Die im Klimatogramm (Abb. 2) angegebenen Temperatur-Monatsmittel und die langfristigen Niederschlags-Mittel basieren auf den Messungen der Wetterstation Hildesheim.

6 B I L A N Z - J A H R 1970 ALS B I L A N Z I E R U N G S - M O D E L L

Abb. 1 bringt das nach der Methode WALTER und LIETH (27) dargestellte Klimatogramm von Hildesheim. Die Niederschlags- und Temperatur-Kurven dieses Diagramms sind in Abb. 2 als dünne Linien übernommen worden. In dieser Abbildung werden die Abweichungen der Klimatogramme der Jahre 1967 bis 1970 vom Normal-Klimadiagramm dargestellt.

6.1 WAHL DER BILANZIERUNGS-ZEITABSCHNITTE

Bei ihren Untersuchungen über die Wasserhaushalts-Bilanz von Löß-Böden (Parabraunerden, Griserden) mit sehr tief liegendem Grundwasser-Spiegel gingen PAPP (17) sowie HASE und MEYER (13) von folgender Voraussetzung aus: Am Anfang des Bilanzierungs-Abschnittes ist der Boden bis zur "Feld-Kapazität" oder besser bis zur "Frühjahrs-Feuchte" (LIEBEROTH, 16) mit Speicher-Wasser erfüllt. Dieser Zustand ist zu Beginn des Sommer-Halbjahres (1. IV.) erreicht. Die Wasser-Vorräte werden im Sommer-Halbjahr (1. IV. bis 1. X.) bevorzugt durch Evapotranspiration beansprucht

und im verdunstungsschwachen Winter-Halbjahr (1. X. bis 1. IV.) wieder aufgefüllt. Dieser Vorgang vollzieht sich im Jahres-Rhythmus, so daß ein Jahr als Bilanz-Abschnitt dienen kann und das Bilanz-Jahr zweckmäßigerweise vom 1. April bis zum 31. März reichen sollte. Eine Ausnahme hiervon war nur im Bilanz-Jahr 1959/60 gegeben, als nach dem extrem trockenen Sommer 1959 die Winter-Niederschläge nicht ausreichten, um bis zum Beginn des Sommer-Halbjahres 1960 den Zustand der "Frühjahrs-Sättigung" wieder herzustellen. Hier mußte der Bilanz-Zeitabschnitt länger gefaßt werden.

Im Fall der Hildesheimer Feucht-Schwarzerde-Areale besteht die pedohydrologische Besonderheit — wie oben angedeutet — in folgendem:

Der Wasser-Vorrat der quartären Sediment- und Boden-Decke besteht im Frühjahr zu erheblichen Teilen aus angestautem Boden-Grundwasser, das bis in den Mai hinein, d.h. solange sein piezometrisches Niveau über der Graben-Sohle steht, als Graben-Wasser abziehen kann. Im Sommer wird dieses ungespannte Grundwasser durch Evapotranspiration völlig, d.h. bis herunter zur Ton-Sohle aufgezehrt. Erst mit Beginn der verdunstungs-schwachen Jahreszeit, etwa von Anfang Oktober an, beginnt sich in der Löß-Decke wieder ein langsam ansteigender Boden-Grundwasser-Spiegel aufzubauen.

Da sich einerseits die jährliche Grabenwasser-Abzugsperiode nicht an die hydrologische Bilanz-Grenze zwischen Winter-Sommer-Halbjahr hält, andererseits aber der Beginn des Grundwasser-Aufbaus sich relativ eng an die Sommer-Winterhalbjahres-Grenze anlehnt, erachten wir es im Falle der Feucht-Schwarzerde-Landschaft für zweckmäßig, das hydrologische Bilanz-Jahr vom 1. Oktober bis zum 30. September reichen zu lassen. Dementsprechend wurden auch die Abgrenzungen der einzelnen Bilanzierungs-Zeitabschnitte in Abb. 2 vorgenommen.

6.2 VORRATS-NORMAL-AMPLITUDE

Unter Vorgriff auf die später (Mitt. IV) eingehender zu behandelnden Wasserhaushalts-Daten der Einzel-Standorte sei hier als Grundlage für die Charakterisierung der einzelnen Bilanz-Jahre folgender generalisierender Überblick über die Gebiets-Wasservorrats-Amplitude gegeben:

a) Ackerland : Am Ende des Sommer-Halbjahres beträgt in der quartären Decke das Vorrats-Defizit, d.h. die Differenz "aktive" Speicher-Kapazität (439 mm) minus Bodenwasser-Vorrat im Schnitt der annähernd normalen Sommer-Halbjahre 1967, 1968, 1970 110 mm. Im "Normal"-Jahr würde die Differenz wahrscheinlich etwas höher liegen, und der des Jahres 1968 entsprechen, dessen sommerliche Niederschlags-Kurve der des "Normal"-Jahres sehr weit angenähert ist.

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Vorrat bei Beginn des Bilanz-Jahres | 300 mm = 68 % d. aktiven Kapazität |
| Defizit " " " " " | 139 mm = 32 % d. aktiven Kapazität |

Beobachtungen zum Termin des Graben-Wasser-Austrittes zeigten, daß das Einsetzen des Graben-Wasserabflusses bei folgendem Boden-Vorrats-Zustand gegeben ist.

| | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Vorrat bei Einsetzen des Abflusses | 370 mm = 84 % d. aktiven Kapazität |
| Defizit " " " " " | 69 mm = 16 % d. aktiven Kapazität |

Das bedeutet: Das heutige System flacher Gräben und Dränagen coupiert die "aktive" Speicher-Kapazität der quartären Decke bei etwa 86 % ihres natürlichen Wertes, indem das höher in der Boden-Decke angestaute Boden-Grundwasser abgezogen wird.

Dieser empirisch gefundene Wert deckt sich mit dem theoretisch aus den pF-Charakteristiken der Einzelstandorte ermittelten Wert (Mitt. II):

Geht man nämlich von der Annahme aus, daß durch die Graben-Entwässerung nur das in den dränfähigen Grobporen des A-Horizontes

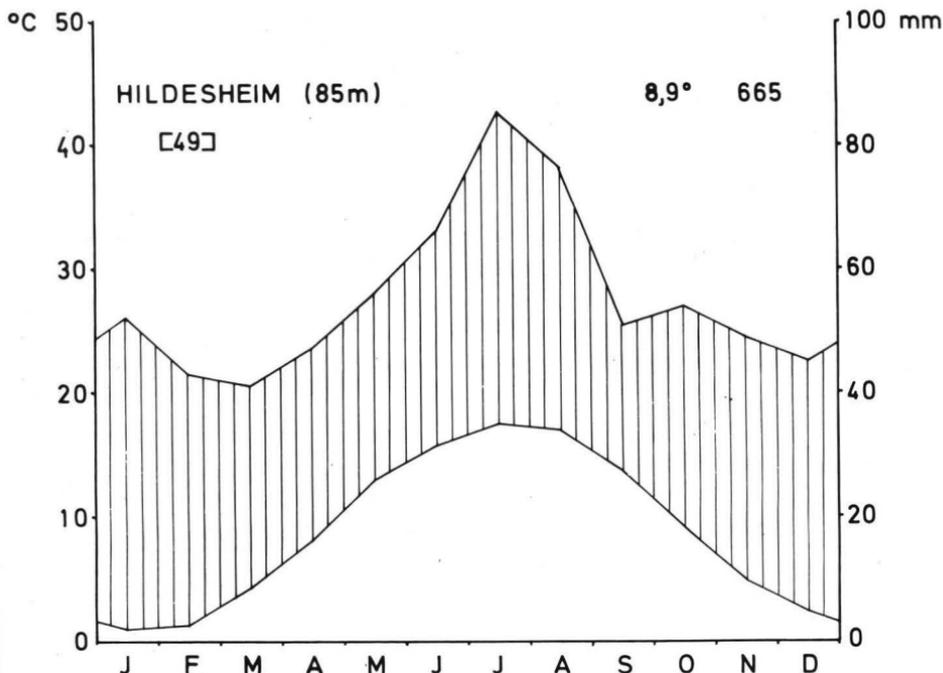


Abb. 1: KLIMA-DIAGRAMM nach Walter

| BILANZ- | QUARTALE | | | | HALBJAHRE | | JAHR |
|--------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|------|
| | W2 | S1 | S2 | W1 | W | S | W+S |
| Niederschlag (mm) | 1.1.-31.3. | 1.4.-30.6. | 1.7.-30.9. | 1.10.-31.12. | 1.10.-31.3. | 1.4. 30.9. | Jahr |
| 49 jähriges Mittel | 136 | 169 | 212 | 148 | 284 | 381 | 665 |
| 1967 | 158 | 250 | 199 | 181 | 306 | 449 | 755 |
| 1968 | 153 | 175 | 226 | 111 | 334 | 401 | 735 |
| 1969 | 151 | 286 | 121 | 140 | 262 | 407 | 669 |
| 1970 | 255 | 184 | 231 | 190 | 395 | 415 | 810 |

I, 1-4 ≡ BILANZ-JAHR I

II, 1-4 >>> BILANZ-JAHR II

III, 1-4 ||||| BILANZ-JAHR III

Tab. 1: NIEDERSCHLAGSSUMMEN der BILANZ- ABSCHNITTE

enthaltene ungespannte Wasser abgezogen werden kann, so würde die Obergrenze der tatsächlichen heutigen Vorrats-Kapazität bei 360 - 370 mm liegen.

Allerdings kommt es unter natürlichen Bedingungen auch zu höheren Wasser-Sättigungs-Graden der Boden-Decke, d.h. bis zur vollen Ausnutzung der "aktiven" Speicher-Kapazität — wenn nämlich die Niederschlags-Intensitäten im Winterhalbjahr höher sind als die Raten des möglichen Abflusses in den Gräben.

Die Normal-Amplitude zwischen dem spätsommerlichen Ausschöpfungs-Zustand der Löß/Boden-Decke und dem Beginn des Graben-Abflusses beträgt demnach

70 mm Niederschlagshöhe = 16 % der "aktiven" Speicherkapazität

Setzt man die im 1. Winter-Quartal anfallenden Normal-Niederschlagshöhen (Okt. - Dez.) mit 148 mm an und subtrahiert den aufgrund empirischer Befunde für diesen Zeitraum geschätzten Verdunstungs-Wert in Höhe von 45 mm, so könnte in einem Normal-Jahr die 86 %ige Auffüllung der aktiven Speicherkapazität der Boden-Decke etwa bis Mitte Dezember abgeschlossen sein und der Graben-Abfluß beginnen.

b) Waldland : Die entsprechenden Daten für die Waldfläche be-
tragen:

| | | | | |
|-------------------------------------|--------|---|------|----------------------|
| Vorrat bei Beginn des Bilanz-Jahres | 186 mm | = | 42 % | d. aktiven Kapazität |
| Defizit " " " " " | 260 mm | = | 58 % | d. aktiven Kapazität |

Die Kalkulationen für den Vorrats-Zustand bei Einsetzen des Graben-Abflusses sind hier nur mit großer Unsicherheit durchzuführen. Eine Schätzung aufgrund der Poren-Verteilung der Waldböden und ihrer Vorräte während des Graben-Abflusses ergibt etwa

390 mm = 87 % der aktiven Kapazität

Dies bedeutet, daß der bis zum Beginn des Graben-Abflusses erforderliche Vorrats-Ausgleich

ca. 204 mm beträgt.

Aufgrund der Normal-Niederschlags-Mengen im Winterhalbjahr könnte — im Gegensatz zum Ackerland — ein Graben-Abfluß erst nach Mitte Januar einsetzen.

Somit haben wir begrifflich drei Formen der Wasserspeicher-Kapazität der Boden-Decke zu unterscheiden:

- A. Die "totale SK", d.h. die Gesamt-Menge aller Poren oder der Gesamt-Hohlraum der 140 cm mächtigen Standard-Löß/Boden-Decke
Acker: 581 mm Wald: 651 mm
- B. Die "aktive SK", d.h. die Gesamt-Menge aller Poren mit Äquivalent-Saugspannungs-Werten $< p_f 4,2$, die allein am natürlichen Wasser-Umsatz teilnehmen (totale SK — Totwasser-SK)
Acker: 440 mm Wald: 450 mm
- C. Die "effektive SK", d.h. die durch die A-Horizont-Dränage (Graben-Abfluß) coupierete "aktive SK"
Acker: 370 mm Wald: 390 mm

Im folgenden werden wir hauptsächlich mit der "effektiven Speicher-Kapazität" operieren.

6.3 WITTERUNGS-CHARAKTERISTIK FÜR BILANZ-JAHR 1970

Während der drei von Oktober 1967 bis Oktober 1970 laufenden Bilanz-Meßjahre wurden Graben-Abfluß-Beobachtungen in den Bilanz-Jahren 1969 und 1970 durchgeführt.

Das Bilanz-Jahr 1969 weicht zu stark von den Normal-Bedingungen ab, um sichere kalkulatorische Ansätze für eine Normal-Bilanz zu liefern.

In Tab. 1 sind die Niederschlags-Summen der einzelnen Quartale gegenüber den langjährigen Mittelwerten zusammengestellt. Die einzelnen Bilanz-Jahre sind durch Schraffuren markiert.

Dem annähernd normalen Sommer-Halbjahr 1968 folgt ein zu trockenes 1. Winter-Quartal, in dem die Boden-Grundwasser-Stände nur wenig angehoben werden. Im 2., annähernd normalen Winter-Quartal kommt es daher nicht zu einem meßbaren Graben-Wasser-Abfluß. Erst im Mai 1969 lösen extreme Niederschläge eine kurze Abfluß-Welle aus.

Auch das Bilanz-Jahr 1970 entspricht nicht der Norm, liefert jedoch Möglichkeiten, um als Modell zu Normal-Bilanz-Berechnungen herangezogen werden zu können.

Der zu trockene Spätsommer 1969 entläßt die Löß/Boden-Decke am 1. X. 1969 mit einem Vorrats-Defizit von 170 mm unter Acker in das Bilanz-Jahr 1970. Das sind rund 30 mm mehr als im Normal-Jahr (140 mm). Die von Oktober bis Ende Januar annähernd normale Niederschlags-Menge und -Verteilung (180 mm) abzüglich der Verdunstung (ca. 60 mm) würde daher gerade ausreichend sein, um den Graben-Abfluß gegen Ende Januar auszulösen, was jedoch durch Schnee und Bodenfrost verhindert wurde. Erst die Starkregen im Februar 1970 (125 mm) gleichen das Defizit aus und leiten den Graben-Abfluß ein. Die Gesamt-Niederschlags-Menge der drei zu nassen Monate Februar, März und April 1970 (269 mm, abzüglich Verdunstungs-Wert und Rest-Defizit-Auffüllung ca. 150 mm) erscheint im Graben-Abfluß.

Die Sommer-Monate Mai bis September 1970 verhalten sich in ihren Niederschlägen normal, doch ist das Speicher-Defizit am Ende des Bilanz-Jahres etwa um den Betrag der überhöhten September-Niederschläge, d.h. um etwa 20 mm geringer als im Normal-Jahr.

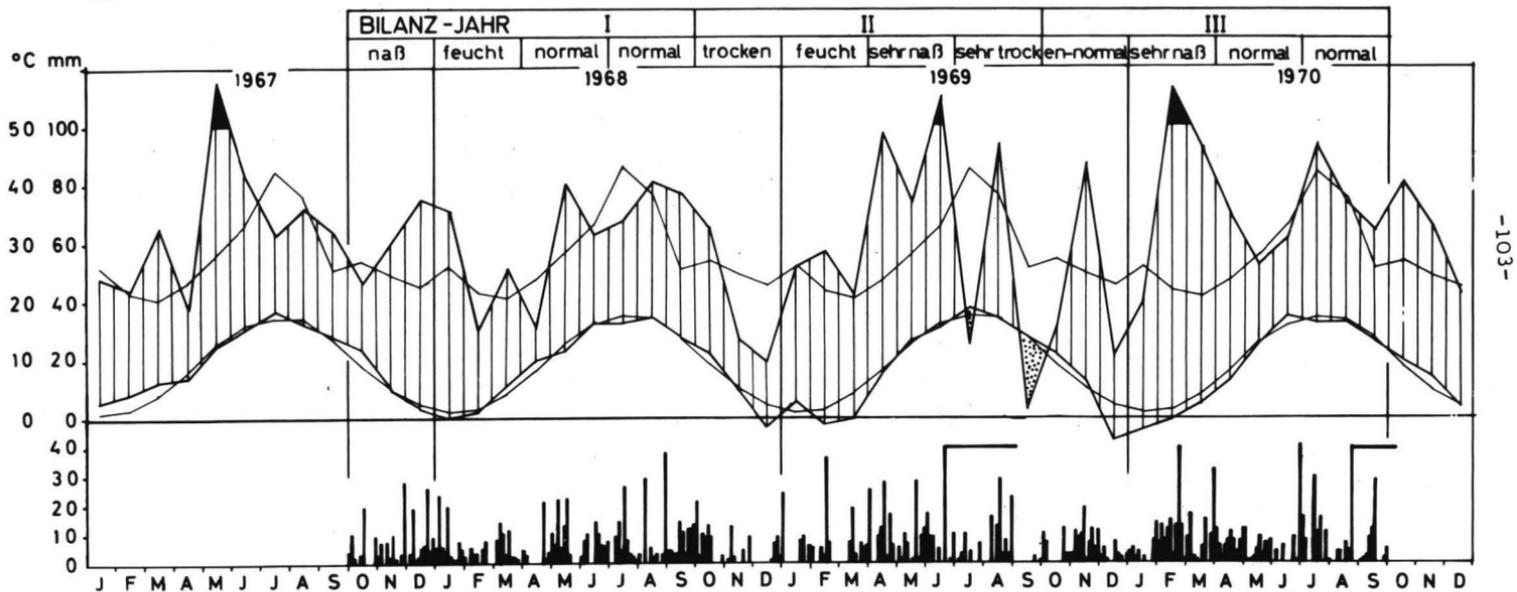
6.4 GEBIETS-WASSERHAUSHALTS-BILANZ

6.4.1 Berechnungs-Methode, Probleme beim Ackerland infolge unterschiedlicher Nutzungsweise

Die Bilanz-Ansätze für die Wasser-Haushalts-Gleichung der Wald- und Acker-Teilareale in Tab. 2 gehen von den drei Meß-Größen Niederschlag (N), Wasser-Vorrats-Änderung im Boden (ΔR) und dem Graben-Abfluß (A) aus.

Beim Ackerland entsteht dabei folgendes Problem: Während die Größe A für die Gesamt-Fläche ermittelt wird, ist der Wert ΔR aus dem Durchschnitt der Feuchte-Meßwerte an den einzelnen Beobachtung-Punkten abzuleiten. Dies wird dadurch erschwert, daß die einzelnen Anbaufrüchte die Boden-Wasser-Vorräte unterschiedlich

Abb. 2: KLIMATATOGRAMM des Versuchs-Zeitraumes im Vergleich zum Klimadiagramm



stark durch ihre Transpiration beanspruchen und daß die einzelnen vorher festgelegten Meß-Punkte in den Beobachtungs-Jahren in verschiedenartigen Pflanzenbeständen zu liegen kamen.

Die Unterschiede in der Boden-Vorrats-Beanspruchung bestehen in erster Linie zwischen den Zuckerrüben- und den Getreide-Flächen. Die ortsübliche Rotation ist: Zuckerrüben — Winter-Weizen — Winter-Gerste + Zwischenfrucht, so daß ca. $\frac{1}{3}$ der Fläche mit Zuckerrüben und $\frac{2}{3}$ mit Winter-Getreide bestanden sind.

In den drei Untersuchungs-Jahren ergab sich folgender Unterschied zwischen Rüben- und Getreide-Flächen:

Bei übereinstimmendem Speicher-Zustand der Löß/Boden-Decke am Ende des Winter-Halbjahres verdunsteten

im 1. Sommer-Quartal (IV-VI) die Getreide-Bestände durchschnittlich 10 mm (8, 13, 10) mehr als die Zuckerrüben

im 2. Sommer-Quartal (VII-IX) überstieg die Verdunstung der Rüben-Bestände die des Getreides um ca. 60 mm (55, 64, 64).

Am Ende des Bilanz-Jahres besteht unter Rüben somit gegenüber dem Getreide ein zusätzliches Bodenwasser-Defizit von ca. 50 mm. Dessen Auffüllung während der Winter-Monate bewirkt eine gegenüber den im Sommer mit Getreide bestandenen Flächen ein verzögertes Einsetzen des Graben-Abflusses und eine etwa um den Betrag des Verdunstungs-Defizits verringerte Graben-Wasserspense. Am Ende des Winterhalbjahres ist jedoch in allen Teilen der Acker-Flächen der gleiche Sättigungs-Zustand wieder eingestellt.

Die in Tab. 2 für das Ackerland enthaltenen Vorrats-Werte sind daher aufgrund der für Getreide- und Rüben-Flächen ermittelten Durchschnitts-Werte entsprechend den Anteilen der einzelnen Anbau-Flächen am Gesamt-Areal berechnet worden. Diese Berechnung erfolgte gemäß dem jährlichen und jahreszeitlichen Wechsel der Anbau-Früchte getrennt für jeden Bilanz-Abschnitt.

6.4.2 Wald-Acker-Vergleich

Tab. 2 bringt eine Zusammenstellung der Quartals- und Halbjahres-Niederschlags-Höhen, der Wasser-Vorrats-Änderungen in der Boden-Decke und der Graben-Abfluß-Spenden als direkt ermittelter Größen, der Gebiets-Evapotranspiration + Interception (ETI) als abgelei-

teter Größe. Wegen des zu geringen, diskontinuierlichen oder durch Versickerung unterbrochenen und daher nicht erfaßbaren Graben-Abflusses in den Winter-Halbjahren 1967/68 und 1968/69 sind die errechneten ETI-Werte für diese Beobachtungs-Abschnitte ungenau. Exakte Größen-Angaben für ETI sind nur für das Bilanz-Jahr 1970 möglich, das im folgenden dargestellt wird.

Eintritt in das Bilanz-Jahr (Okt. 1969)

Anfang Oktober 1969 beträgt das Speicher-Sättigungs-Defizit der Löß/Boden-Decke in mm Wasser-Höhe unter

| Acker | Wald | (Differenz) |
|-------|------|-------------|
| 170 | 290 | 120 |

Beide Werte liegen um etwa 30 mm über denen, die aufgrund eines kalkulatorischen Vergleiches der drei Beobachtungs-Jahre für das "Normal"-Jahr anzusetzen wären. Die Differenz von 120 mm entspricht jedoch der, die nicht nur im "Normal"-Jahr, sondern auch in stärker vom Durchschnitt abweichenden Jahren als charakteristischer Unterschied zwischen den Wald- und den Acker-Feucht-Schwarzerden anzusetzen ist.

Winter-Halbjahr 69/70

Vom 1. Oktober bis Mitte Dezember fallen 125 mm Niederschlag. Von Mitte Dezember bis Mitte Februar ist der Boden gefroren, daher keine Probe-Entnahme möglich. Die Niederschläge in Höhe von 125 mm fallen als Schnee und verdunsten z.T. aus der Schnee-Decke. Nach dem Tauen fallen bis Ende März 112 mm. Schmelz-Wasser-Angebot und Starkregen führen ab Mitte Februar zur Aufsättigung der Löß/Boden-Decke und zum Einsatz des Graben-Abflusses.

Tabelle 2: Niederschlag, Vorratsänderung, Graben-Abfluß und berechnete Evapotranspirations/Interceptions-Verluste für die Acker- und Wald-Teilareale des Untersuchungs-Gebietes in den Bilanz-Jahren 1968 (I), 1969 (II), 1970 (III) vgl. Abb. 2

| | |
|----------------|--|
| B | Bilanz-Jahr (s. Abb. 2) |
| W | Winterhalbjahr (Okt.-März) |
| S ₁ | 1. Sommer-Quartal (Apr.-Juni) |
| S ₂ | 2. Sommer-Quartal (Juli-Sept.) |
| S | Sommer-Halbjahr (S ₁ +S ₂) Apr.-Sept. |
| W+S | Summe des Bilanz-Jahres |
| N | Niederschlag |
| Nn | normaler Niederschlag (langjähriges Mittel) |
| D | Differenz (N-Nn) |
| R | "aktiver" Vorrat zu Beginn und Ende des Bilanz-Abschnittes |
| ΔR | Vorrats-Änderungen in den Tiefen-Abschnitten 0-80 und 80-140 cm während des Bilanz-Abschnittes |
| ΔRt | Vorrats-Änderung während des Bilanz-Abschnittes |
| N-ΔRt | Abfluß, Evapotranspirations- und Interceptions-Verlust während des Bilanz-Abschnittes |
| A | Graben-Abfluß |
| ETI | Evapotranspirations- und Interceptions-Verlust während des Bilanz-Abschnittes |

Tab. 2

| MESS-ABSCHNITT | | | NIEDERSCHLIG | | | ACKER | | | | | | WALD | | | | | |
|----------------|-----|------------------|--------------|-----|------|------------|-------------|-------------|-----------------|-----|-----|------------|----------------|-------------|-----------------|----|-------|
| B | | ZEITRAUM | N | Nn | D | R | ΔR | ΔRt | $N_{\Delta Rt}$ | A | ETI | R | ΔR | ΔRt | $N_{\Delta Rt}$ | A | ETI |
| I | W | 19.10.67-28.3.68 | 297 | 284 | +13 | 349 374 | +15 +10 | +25 | 272 | nb. | nb. | 220 391 | +133 +38 | +171 | 126 | ? | (126) |
| | S1 | 28.3.68-4.7.68 | 175 | 169 | +6 | 374 304 | -52 -18 | -70 | 245 | 0 | 245 | 391 236 | -124 -31 | -155 | 330 | 0 | 330 |
| | S2 | 4.7.68-26.9.68 | 211 | 212 | -1 | 304 305 | +15 -14 | +1 | 210 | 0 | 210 | 236 180 | -21 -35 | -56 | 267 | 0 | 267 |
| | S | 28.3.68-26.9.68 | 386 | 381 | +5 | 374 305 | -37 -32 | -69 | 445 | 0 | 445 | 391 180 | -145 -66 | -211 | 597 | 0 | 597 |
| | W+S | 19.10.67-26.9.68 | 683 | 665 | +18 | 349 305 | | -44 | 717 | nb. | nb. | 220 180 | | -40 | 723 | ? | (723) |
| II | W | 26.9.68-26.3.69 | 278 | 284 | -6 | 305 407 | +68 +36 | +102 | 176 | 73 | 103 | 180 407 | +161 +66 | +227 | 51 | 0 | 51 |
| | S1 | 26.3.69-2.7.69 | 300 | 169 | +131 | 407 345 | -56 -6 | -62 | 362 | 46 | 316 | 407 338 | -63 -6 | -69 | 369 | 0 | 368 |
| | S2 | 2.7.69-25.9.69 | 123 | 212 | -89 | 345 270 | -49 -26 | -75 | 198 | 0 | 198 | 338 160 | -125 -53 | -178 | 301 | 0 | 301 |
| | S | 26.3.69-25.9.69 | 423 | 381 | +42 | 407 270 | -103 -32 | -137 | 560 | 46 | 514 | 407 160 | -188 -59 | -247 | 670 | 0 | 670 |
| | W+S | 26.9.68-25.9.69 | 701 | 665 | +36 | 305 270 | | -35 | 736 | 119 | 617 | 180 160 | | -20 | 721 | 0 | 721 |
| III | W | 25.9.69-25.3.70 | 362 | 284 | +78 | 270 406 | +103 +33 | +136 | 226 | 137 | 89 | 160 413 | +197 +56 | +253 | 109 | 10 | 99 |
| | S1 | 25.3.70-1.7.70 | 229 | 169 | +60 | 406 328 | -58 -20 | -78 | 307 | 90 | 217 | 413 306 | -90 -17 | -107 | 336 | 18 | 318 |
| | S2 | 1.7.70-1.10.70 | 230 | 212 | +18 | 328 331 | -9 +12 | +3 | 227 | 0 | 227 | 306 294 | -12 ± 0 | -12 | 242 | 0 | 242 |
| | S | 25.3.70-1.10.70 | 459 | 381 | +78 | 406 331 | -67 -8 | -75 | 534 | 90 | 444 | 413 294 | -102 -17 | -119 | 578 | 18 | 560 |
| | W+S | 25.9.69-1.10.70 | 821 | 665 | +156 | 270 331 | | +61 | 760 | 227 | 533 | 160 294 | | +134 | 687 | 28 | 659 |

| <u>Bilanz:</u> | <u>Acker</u> | <u>Wald</u> |
|--|--------------|-------------|
| Niederschlagshöhe | 362 | 362 |
| Boden-Vorrats-Auffüllung bis zum Erreichen des Graben- Abfluß-Grenzwertes von 370 bzw. 390 mm | 100 | 230 |
| Intermediäre Speicherung abflußfähigen Wassers | 36 | 23 |
| Graben-Abfluß | 137 | 10 |
| Verdunstung (ETI) als Differenz | 89 | 99 |

Gegenüber dem "Normal"-Jahr fallen 78 mm N mehr. Die wesentliche Abweichung besteht jedoch in dem Niederschlags-Rückhalt bis Mitte Februar und dem dann plötzlich einsetzenden Wasser-Überangebot. Das führt dazu, daß dränbares Wasser vorübergehend aufgestaut wird, weil die Angebots-Intensität größer als die Graben-Abfluß-Intensität ist. Im "Normal"-Jahr wäre mit folgendem Ablauf des Haushaltes zu rechnen (Angaben in mm):

| | <u>Ø Acker</u> | <u>Rüben</u> | <u>Wald</u> |
|--|----------------|--------------|-------------|
| • Vorrat am Anfang d. Bilanz-Jahres | 300 | 260 | 190 |
| • Differenz-Menge bis zum Eintritt des Graben-Abflusses | 70 | 110 | 200 |
| • Eintritt des Graben-Abflusses aufgrund d. Niederschlags-Monats- Durchschnitts abzgl. d. geschätzten Verdunstungs-Betrages | DEZ | JAN | (FEB) |

Durchschnitts-Niederschlags-Höhen (mm)

| | | | |
|--------|-------|--------|-------|
| OKT 54 | } 148 | JAN 52 | } 136 |
| NOV 49 | | FEB 43 | |
| DEZ 45 | | MÄR 41 | |

284

Einer besonderen kritischen Betrachtung bedürfen die errechneten Verdunstungs-Werte hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf das "Normal"-Jahr. Der für das Ackerland ermittelte Wert von ca. 90 mm entsprechend einem Monats-Mittel von 15 mm scheint ein von den wechselnden Witterungs-Bedingungen relativ wenig beeinflusster Wert zu sein. Zum Vergleich seien die in Tab. 3 aufgeführten Literatur-Angaben herangezogen.

Tab. 3 : Literatur-Angaben zur Jahres- und Halbjahres-Verdunstung,
speziell Winter-Verdunstung

| AUTOR | METHODE | VEGETATION u. BODEN | MESS- ZEIT | Verdunstung ETI | | |
|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | Jahr | Winter X-III | Sommer IV-IX |
| HUSEMANN, u. WESCHE (15) | Lysimeter | Gras, humos. Sand | 1960-63 | 497 | 55 + Oktober | 442 - Wert |
| SCHUBACH (26) | Lysimeter | Gras, Löß | 1961-67 | | | 471 239 233 |
| SCHROEDER (25) | Lysimeter | Gras, Löß | 1956-68 | 488 | 93 | 395 |
| WESCHE (28) | Lysimeter | Gras, humos. Sand | 1964-67 | 529 | 56 + Oktober | 473 - Wert |
| DÜNNBIER (11) | Gebiets-W. Bilanz | Hase-Gebiet NW-Deutschland | 1957-63 | 445 | 70 | 380 |
| SCHENDEL (20) | Gebiets W. Bilanz | Töschchen-Bach Acker: Gr. = 50:50 | 1961-63 | 417 | 75 | 342 |
| SCHEKORR (19) | Gebiets W. Bilanz | Puttgarden | 1965-69 | 443 | 151 | 292 |
| VINK nach BAUMANN (3) | Gebiets W. Bilanz | Einzugsgebiet der Trave | | 431 | | |
| PAPP (17) | Lysimeter Verd.-Vers. | Gras, Löß | 1958-61 | 500 | 52 | 448 |
| HASE, u. MEYER (13) | Bodenbilanz | Gras, Löß | 1965-68 | 510 | 60 | 450 |
| SCHENDEL (21) | Grundwasser Lysimeter | Klee gras GWS 50 GWS 100 | 1965 | | | 821 751 |
| SCHENDEL (22) | Grundwasser Lysimeter | S.-Gerste GWS 50 GWS 100 | 1966 | | | 471 479 |
| BLUME, MÜNNICH, u. ZIMMERMANN (5) | Bodenbilanz | Laubwald, Löß | 1964/65 | 589 | | |
| CZERATZKI (7) | Unterdruck- Lysimeter | Winter-Gerste Raps | 1962 1963 | | | 350 336 |
| FRIEDRICH (12) | Lysimeter | Gras, Sand | 1934-37 | 706 | | |
| SCHROEDER (23) | Gebiets W. Bilanz | obere Ems | 1921-40 | 479 | | |
| SCHENDEL (22) | Grundwasser Lysimeter | Brache GWS 50 GWS 100 | 1967 | | | 173 158 |
| BÄTJER (1) | pot. Evapotranspiration nach HAUDE für Braunschweig | | | 534 | 101 | 433 300 13 |

Agrometeorologische Monatsberichte Gießen (9)
Monatliche Witterungsberichte für das östliche Niedersachsen (10)

Die potentielle Evapotranspiration beträgt nach HAUDE (14) für den benachbarten Braunschweiger Raum im Winter-Halbjahr 101 mm.

Wenn der von uns mit 90 mm angegebene Winter-ETI-Wert relativ hoch erscheint, so ist zu bedenken, daß wir es mit Böden zu tun haben, die kein Sickerwasser spenden, sondern während des Winters bis nahe an die Oberfläche ungespanntes Wasser anstauen und dementsprechend stärker verdunsten können.

Zudem liefert der in Abschnitt 9 dargestellte Grundwasser-Lysimeter-Versuch mit Schwarzerden für den trockenen milden Winter 1971/72 106 mm ETI bei 100 cm Tiefe des auf konstantem Niveau gehaltenem ungespannten Boden-Wassers, 112 mm bei 60 cm Tiefe.

Problematischer sind die für Wald ermittelten ETI-Werte, die in den drei Beobachtungs-Jahren zwischen 51 und 126 mm liegen. Vergleichs-Daten sind kaum vorhanden. Nach BLUME, MÜNNICH und ZIMMERMANN (5) und PAPP (17) läßt sich grob kalkulieren, daß etwa 20 % der Winter-Halbjahres-Niederschläge durch Interception im Bereich oberhalb der Streu-Decke verloren gehen. Für das "Normal"-Jahr würden das in unserem Falle ca. 57 mm sein (1970: 72 mm). Ein zusätzlicher Evaporations-Verlust von 20 mm dürfte wohl das Maximum sein, so daß als Höchst-Betrag für ETI im "Normal"-Jahr 90 mm als vertretbar erscheinen.

1. SOMMER-QUARTAL 1970

Nur der April ist um 60 mm zu feucht, während die Mai und Juni-Niederschläge dem Durchschnitt entsprechen. Aus diesem Grunde ist der Graben-Wasser-Abfluß gegenüber dem "Normal"-Jahr, wo er mit Beginn des Sommer-Halbjahres enden muß, bis in den Mai hinein ausgedehnt,

| | <u>Acker</u> | <u>Wald</u> | <u>(Diff.)</u> |
|---|--------------|-------------|----------------|
| Niederschlags-Höhe | 229 | 229 | |
| Graben-Abfluß | 90 | 18 | |
| ETI | 217 | 318 | (101) |
| Aufbrauch an Boden-Vorrats- Wasser, das nur auf dem Wege der Evapotranspiration den Boden verlassen kann | 42 | 84 | (42) |

In diesem Bilanz-Abschnitt zeigt der Wald seinen zeitlichen Vorsprung in der ETI. 101 mm Differenz dürften allerdings für das "Normal"-Jahr zu hoch sein. Ein erheblicher Teil dieser Differenz entsteht bereits in der schon feuchten Zeit April bis Mitte Mai, in welcher der belaubte Wald gegenüber dem Ackerland unnormale hohe Interceptions-Werte hervorruft und sichtbar aus dem aufgestauten Vorrat an dränbarem Wasser schöpft. Dementsprechend wäre für das "Normal"-Jahr die ET-Vorrats-Ausschöpfung von 84 mm zu niedrig. Zieht man den nach BRECHTEL (6) kalkulierten Interceptions-Überschuß April/Mai vom ETI-Wert des Waldes ab, so würde sich die Differenz Acker/Wald auf etwa 80 mm belaufen.

2. SOMMER-QUARTAL 1970

Niederschlags-Höhe und -Verteilung entsprechen annähernd dem langjährigen Durchschnitt. Tab. 2 zeigt, daß sich in diesem Quartal die Boden-Vorräte nur unbedeutend ändern, beim Wald um - 12 mm, beim Ackerland um + 3 mm. ETI und N halten sich annähernd die Waage. Dies dürfte auch für das "Normal"-Jahr gelten. Allerdings wären dafür die Vorrats-Änderungen unter Wald höher zu veranschlagen. Sowohl Acker- als auch Wald-Fläche gehen 1970 mit einem höheren Vorrat an Boden-Wasser in das 2. Quartal.

ENDE DES BILANZ-JAHRES 1970

Gegenüber dem in seinem Sommer-Halbjahr niederschlags-normalen Bilanz-Jahr 1968 endet das Bilanz-Jahr 1970 mit einem um 26 mm höheren Wasser-Vorrat unter Acker, mit einem um 114 mm höheren Vorrat unter Wald. Dies ist als die Nachwirkung der von der Norm abweichenden Witterungs-Verhältnisse in der Zeit von Mitte Februar bis Mitte Mai zu interpretieren. Beim Ackerland hat aufgrund der geringen Verdunstung im 1. Sommer-Quartal der lang anhaltende Graben-Wasser-Abzug die relativ stärkere Vorrats-Minderung bewirkt, während beim Wald die transpirative Ausschöpfung des gestauten dränbaren Boden-Wassers die nichtdränbaren Wasser-Vorräte geschont hat.

7 AUFSTELLUNG EINER NORMAL-BILANZ

Aus dem Vergleich der einzelnen Bilanz-Abschnitte der in Tab. 2 aufgeführten Bilanz-Jahre und der in Abschnitt 6.4.2 durchgeführten Analyse des Bilanz-Jahres 1970, läßt sich die im nachstehenden aufgeführte "Normal"-Bilanz für das "Durchschnitts"- oder "Normal"-Jahr des Untersuchungs-Gebietes kalkulatorisch erstellen.

7.1 BILANZ-TABELLE FÜR DEN GEGENWARTS-ZUSTAND (Tab.3)

Die Normal-Bilanz-Tabelle zeigt:

1) Unter Wald kommt es bei den Feucht-Schwarzerden zu keiner Graben-Abfluß-Spende. Niederschlag und Evapotranspiration + Interception halten sich die Waage. Der Stauwasser-Spiegel erreicht zwar ein Niveau, das einen Abfluß einleiten könnte, doch wird dieser Zustand erst gegen Ende des Winter-Halbjahres erreicht. Es bleibt kein überschüssiger dränbarer Wasser-Vorrat. Der obere natürliche Sättigungs-Wert liegt somit bei 390 mm, dem Abfluß-Grenzwert. Etwa die Hälfte dieses Vorrats (200 mm) wird im Sommer-Halbjahr durch Evapotranspiration verbraucht und im Winter-Halbjahr wieder aufgefüllt. Die ETI-Verluste liegen beim Wald rund 23 % höher als beim Ackerland. Der Wald ist somit auch im Gebiet

der Feucht-Schwarzerden der stärkere Wasser-Verbraucher, der den Bodenwasser-Vorrat etwa dreimal so stark beansprucht wie das Getreide.

2) Daß heute im Normal-Jahr überhaupt Graben-Abflüsse anfallen, ist nur der Acker-Nutzung der Feucht-Schwarzerden zuzuschreiben. Hier fallen etwa 19 % der Jahres-Niederschlags-Menge als Abfluß-Spende in das Offen-Gewässer-Netz an. Das sind etwa 2 % weniger als in LÖB-Parabraunerden in vergleichbarer Situation jedoch bei mächtiger LÖB-Decke und durchlässiger Unterlage als Grundwasser-Spende anfallen würden (HASE und MEYER, 13). Die Ursache für diese geringe Differenz ist darin zu sehen, daß von den Feucht-Schwarzerden mit ihrem höheren Speicherwasser-Angebot im Oberboden mehr Wasser evapotranspiriert als von den Parabraunerden (CZERATZKI, 7).

3) Für die Durchschnitts-Wasser-Bilanz der Acker-Flächen sind folgende beiden Quartale wichtig:

- a) das erste Sommer-Quartal, in dem der Boden-Wasser-Vorrat um ca. 70 mm (19 %) erniedrigt wird. Wenn 370 mm als oberer durch den Graben-Abfluß festgelegter Sättigungs-Wert und 300 mm als Ausschöpfungs-Wert betrachtet werden.
- b) das erste Winter-Quartal, in dem das Defizit wieder aufgefüllt wird. Das zweite Sommer-Quartal bringt kaum eine Vorrats-Änderung. ETI ist gleich N. Auch im zweiten Winter-Quartal treten keine Vorrats-Änderungen auf, jedoch ist dies die Zeit der Abfluß-Spende.

An diese Feststellung schließt sich die Frage an:

Was würde geschehen, wenn in dem Bilanz-Gebiet keine Entwässerungs-Gräben und Dränagen bestünden? Unter Wald würde es unter Normal-Bedingungen nicht zu einem Anstau des ungespannten Boden-Grund-Wassers bis an die Boden-Oberfläche und zu einem oberflächlichen Abfluß kommen. Auf den Acker-Flächen dagegen würde das Boden-Grund-Wasser im 2. Winter-Quartal über die Boden-Oberfläche treten und — sofern es in Plateau-Lagen nicht als Oberflächen-Wasser abfließen kann — einen offenen Wasserspiegel mit 1,5 bis 5,4 cm Niveau-Höhe bilden. Diese aus der Bilanz-Betrachtung gezogene Schlußfolgerung wird z.T. dadurch bestätigt, daß innerhalb des Hildesheimer-Schwarzerde-Gebietes, u.a. auch im Bereich der Plateau-Mulde im Ost-Teil des Untersuchungs-Areals, vor der Jahrhundertwende, zahlreiche sog. "Entenpöule", d.h. kleinere offene

Tab. 3: Normal-Bilanz des Gebietes Borsum (A)

(alle Angaben in mm Wasser-Höhe)

| | | ACKER | | WALD _c | c - a |
|---|--|-------|---------|-------------------|-------|
| | | Ø | a Rüben | | |
| S | aktive' Speicherkapazität | 440 | 440 | 450 | +10 |
| B | Vorrat zu Beginn u. Ende des Bilanzjahres | 300 | 260 | 190 | -110 |
| C | Vorrat zu Beginn u. Ende des Graben-Abflusses | 370 | 370 | 390 | +20 |
| D | Vorrats-Amplitude (C-B) | 70 | 110 | 200 | +130 |

| WINTER-HALBJAHR (Oktober - März) | | | | | |
|----------------------------------|------------------|--------------------------------|------|------|--|
| QUARTAL I | | Niederschlag: O 54, N 49, D 45 | | | |
| N | Niederschlag | 148 | 148 | 148 | |
| V | ET I | 45 | 45 | 45 | |
| R | Vorrats-Änderung | +70 | +103 | +103 | |
| | Vorrats-Zustand | 370 | 363 | 293 | |
| A | Gaben-Abfluß | 33 | 0 | 0 | |
| QUARTAL II | | Niederschlag: J 52, F 43, M 41 | | | |
| N | Niederschlag | 136 | 136 | 136 | |
| V | ET I | 45 | 45 | 39 | |
| R | Vorrats-Änderung | 0 | +7 | +97 | |
| C | Vorrats-Zustand | 370 | 370 | 390 | |
| A | Gaben-Abfluß | 91 | 84 | 0 | |
| SUMME | | | | | |
| N | Niederschlag | 284 | 284 | 284 | |
| V | ET I | 90 | 90 | 84 | |
| R | Vorrats-Änderung | +70 | +110 | +200 | |
| C | Vorrats-Zustand | 370 | 370 | 390 | |
| A | Gaben-Abfluß | 124 | 84 | 0 | |

| | | | | |
|-----------------|------|------|---|--|
| Einsetzen von A | DEZ. | JAN. | - | |
|-----------------|------|------|---|--|

Tab. 3

| | | | | |
|--|-------|--------|-------------------|-------|
| | ACKER | | WALD _c | c - a |
| | ø | aRüben | | |

| SOMMER - HALBJAHR (April - September) | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------------------|-----|------|------|
| QUARTAL I | | Niederschlag: A 47, M 56, J 67 | | | |
| N | Niederschlag | 170 | 170 | 170 | |
| V | ETI | 240 | 230 | 320 | 80 |
| R | Vorrats - Änderung | -70 | -60 | -150 | 80 |
| | Vorrats - Zustand | 300 | 310 | 240 | -60 |
| A | Graben - Abfluß | 0 | 0 | 0 | |
| QUARTAL II | | Niederschlag: J 84, A 76, S 51 | | | |
| N | Niederschlag | 211 | 211 | 211 | |
| V | ETI | 211 | 261 | 261 | 50 |
| R | Vorrats - Änderung | 0 | -50 | -50 | 50 |
| B | Vorrats - Zustand | 300 | 260 | 190 | -110 |
| A | Graben - Abfluß | 0 | 0 | 0 | |

| | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| V | ETI | 451 | 491 | 581 | 130 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|

| | | | | | | | |
|----------------|-----|---|-----|---|------|---|-----|
| | N | = | ETI | + | Δ R | + | A |
| ACKER ø | 665 | = | 541 | + | ±70 | + | 124 |
| ACKER RÜBEN | 665 | = | 581 | + | ±110 | + | 84 |
| WALD | 665 | = | 665 | + | ±200 | + | 0 |

persistierende Wasserflächen verbreitet waren, in denen sich das Oberflächenwasser sammelte. Offenbar war in diesem Raum die Schaffung einer Graben-Vorflut die generelle Voraussetzung für die Durchführung des Ackerbaus, besonders aber für den seit Mitte des vorigen Jahrhunderts verbreiteten Zuckerrüben-Anbau. Dazu genügten offenbar sehr flache Gräben, weil es lediglich darauf ankam, das in der Ackerkrume angestaute ungespannte Wasser abzuführen. Die Frühjahrsbestellung ist bei der ausgezeichnet gekrümelten und aggregatstabilen Feucht-Schwarzerde selbst dann möglich, wenn der Grundwasserspiegel nur etwa 35 cm unter der Oberfläche steht. So wird heute noch häufig in feuchten Frühjahren mit Erfolg das auslegen oberflächlicher Behelfs-Dränagen praktiziert, deren einziger Zweck in der saisonalen Krümen-Entwässerung besteht.

7.2 FOLGERUNGEN FÜR DIE UMSTELLUNG DER BODENNUTZUNG UND KULTURTECHNISCHE ASPEKTE

Der Vergleich zwischen der Hydro-Bilanz des Ackerflächen-Durchschnitts mit den Rüben-Flächen zeigt, daß die Wasser-Bilanz der Acker-Flächen wesentlich von Änderungen des Fruchtarten-Verhältnisses beeinflußt wird. Der starke Boden-Wasser-Verbrauch durch die Rüben im zweiten Sommer-Quartal ruft eine Reduktion des Graben-Abflusses um etwa 30 % gegenüber dem Ackerflächen-Durchschnitt hervor. Umgekehrt kann die Umstellung der Bodennutzung auf reinen Getreidebau zu einer Steigerung des Gebiets-Abflusses um 20 mm führen. Die prozentuale Abfluß-Menge würde dann statt 19 % etwa 22 % der jährlichen Niederschlags-Menge betragen, und damit in gleicher Höhe liegen wie die Grundwasser-Spende von Löß-Parabraunerden.

Dieser Gesichtspunkt mag im vorliegenden Fall von geringer Bedeutung sein, da das Untersuchungs-Gebiet zu den klassischen Rübenbau-Gebieten zählt, in denen gegenwärtig keine Tendenz zur Umstellung auf getreide-reiche Fruchtfolgen besteht. Er erlangt jedoch in anderen Gebieten im Hinblick auf das hydrologische Gesamtgeschehen u.U. eine nicht zu unterschätzende Bedeutung.

Welchen Effekt hätte eine Veränderung des Drainage- und Graben-Systems? Der größte Teil der Ackerflächen im Untersuchungs-Gebiet ist dräniert, wobei die Drainage-Tiefe etwa zwischen der Grenze A/CS-Horizont und 20 cm darunter schwankt. Die Lage dieser Dränagen, die überwiegend älter als 30 Jahre sind, ist den heutigen Landwirten meist nicht mehr bekannt. Funktions-Prüfun-

gen werden kaum angestellt. Trotz der Veraltung scheint die Dränage jedoch generell wirksam zu sein, was in der gleichmäßigen Dekapitierung des Gebiets-Bodengrundwasser-Niveaus zum Ausdruck kommt. Das mag daran liegen, daß die Sauger ursprünglich enger als bei der guten hydraulischen Leitfähigkeit der A-Horizonte notwendig, verlegt wurden, so daß heute trotz des Ausfalles zahlreicher Stränge noch eine ausreichende A-Horizont-Entwässerung gewährleistet ist. Das heutige Entwässerungs-System erfaßt nur das in den lockeren, grobporen-reichen A-Horizonten enthaltene, rasch fließende ungespannte Wasser. Der darunter anstehende LÖB-CS-Horizont ist — wie die pF-Charakteristiken in Mitt. II zeigen — sehr arm an Grobporen, in denen ungespanntes Wasser angestaut werden kann und besitzt nur geringe hydraulische Leitfähigkeiten (s. Mitt. V). Eine Vertiefung des Entwässerungs-Systems würde daher infolge der Gefälls-Vertiefung zwar eine Beschleunigung des Gebiets-Abflusses, aber nur eine unwesentliche Erhöhung der Abfluß-Mengen bewirken.

Bei k_f -Werten von ca. 7×10^{-2} cm/sec. in den mittleren und unteren A-Horizont-Abschnitten und entsprechenden Filtergeschwindigkeiten ($v_f = k_f \times J(1/100)$) von ca. 60 cm/d ist innerhalb der A-Horizonte eine sehr weitreichende von funktionsfähigen Dränsträngen und Graben-Wänden ausgehende horizontale Entwässerungsmöglichkeit gegeben.

Nach der DIN-Normen-Tabelle wäre ein Dränstrang-Abstand von mindestens 70 m ausreichend, um bei einer Drän-Tiefe von 70 cm in den vier Monaten Dezember bis März den Boden-Grundwasser-Spiegel generell nicht höher als 50 cm unter Oberfläche ansteigen zu lassen. Nach alten Dränage-Plänen wurden aber teilweise Sauger-Abstände von nur 10 m gewählt und eigene Bohrungen ergaben an einer Stelle 25 -m-Abstände. Somit ist trotz des möglichen Ausfalls vieler Sauger-Stränge immer noch eine volle Drän-Wirkung zu erwarten.

Abb. 3 : Beanspruchung der Bodenwasser-Vorräte, Gesamt-E T I -
Verluste und Graben-Abfluß in den Sommer-Quartalen
als Funktion der Niederschlags-Höhe

● ————— Acker-Feuchtschwarzerde
○ - - - - - Wald-Feuchtschwarzerde

Linke Diagramm-Hälfte (punktiert):
Vorrats-Verluste des Bodens

Rechte Diagramm-Hälfte :

Gesamt-E T I-(bzw.ETI + Abfluß-) Verluste

Horizontal durchgezogen und/oder unterbrochen schraffiert:

Differenz (E T I - Vorrats-Verlust) = Niederschlag

Ausgangs-Zustand für 1.Sommer-Quartal:

Vorrats-Zustand nach Ende des Graben-Abflusses

Acker 370 mm

Wald 390 mm

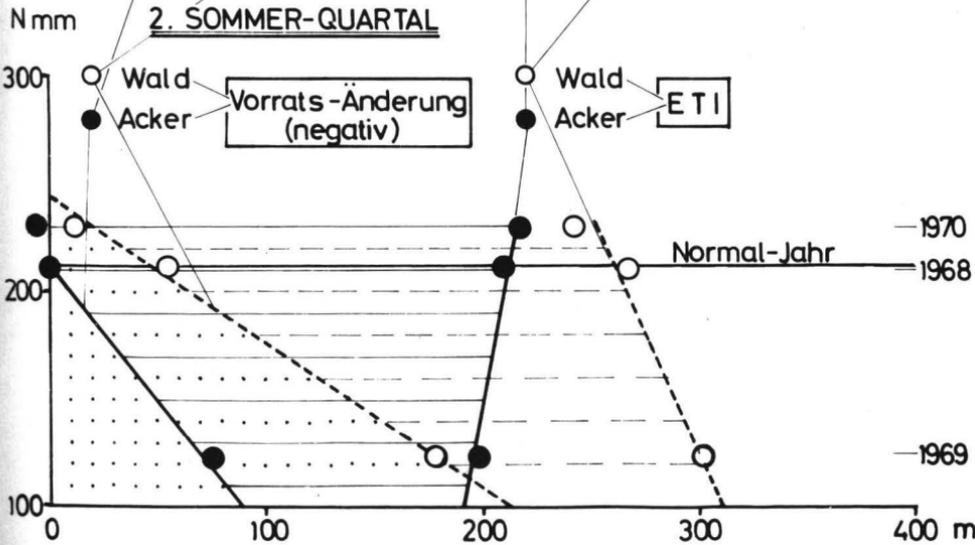
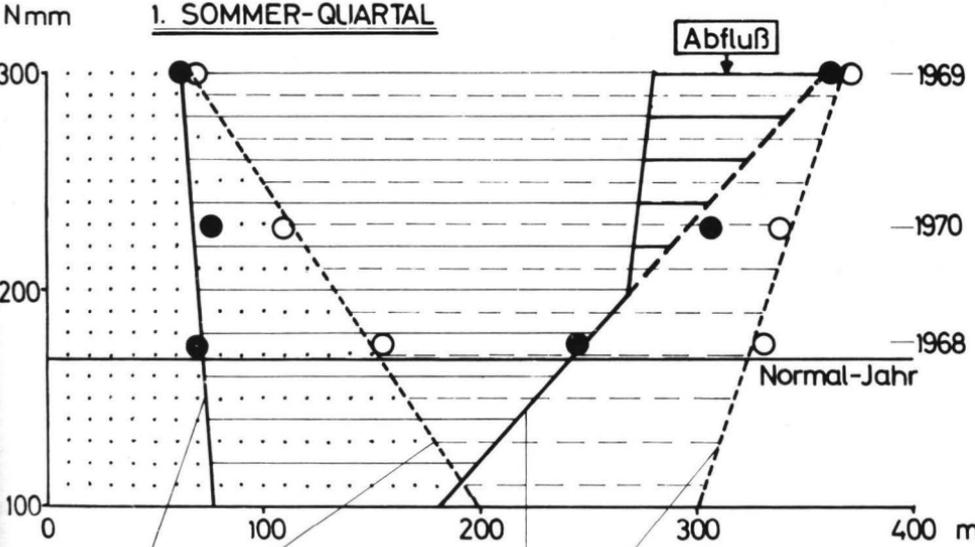
Ausgangs-Zustand für 2.Sommer-Quartal:

Normaler Vorrats-Zustand am Ende des 1. Quartals

Acker 300 mm

Wald 240 mm

Abb. 3



8 PROGNOSE - ANSÄTZE

Die Gebiets-Wasser-Bilanz für das "Normal-Jahr" wurde in Tab. 3 extrapolativ aus den Meß-Daten der drei Versuchs-Jahre errechnet. In diesem Abschnitt sollen Ansätze zu einer Prognose über die Gestaltung des Wasser-Haushaltes in und nach Bilanz-Perioden mit unnormalen Witterungs-Bedingungen diskutiert werden. Dies ist z.B. für vorausschauende Aussagen über den zu erwartenden Gebiets-Abfluß und für landwirtschaftlich-ökologische Maßnahmen und Ertrags-Erwartungen von Bedeutung.

Dazu kann beim Ackerland — selbst nach sehr trockenen Jahren — davon ausgegangen werden, daß zu Beginn des Sommer-Halbjahres die durch den Graben-Abfluß diktierte Grenze des Speicher-Vorrates von 370 mm regelmäßig erreicht wird. Beim Wald ist diese Voraussetzung, das Erreichen des 390 mm-Speicher-Grenzwertes, nach einem trockenen Vorjahr nicht immer gegeben. Es müssen dann in die folgenden Kalkulationen zusätzliche Abzüge für den Boden-Wasser-Vorrat eingesetzt werden.

Wie in Abschnitt 7.1 ausgeführt, kommt dem 1. Sommer-Quartal (April-Juni) unter Normal-Bedingungen folgende Bedeutung für die Jahres-Wasser-Bilanz zu: In dieser Zeit tritt unter Getreide bereits die Ausschöpfung der Boden-Wasservorräte bis zum natürlichen Vorrats-Minimalwert ein. Unter Rüben und Wald hält die Ausschöpfung bis in das zweite Sommer-Quartal hinein an, doch liegt auch hier der Haupt-Betrag der Vorrats-Ausschöpfung im 1. Sommer-Quartal. Wie würden sich stark von der Norm abweichende Niederschlags-Bedingungen im 1. Sommer-Quartal auf die Wasser-Haushalts-Bilanz auswirken? Abb. 3 zeigt oben links, daß im Ackerland eine Halbierung oder eine Verdoppelung der Normal-Niederschlagshöhe nur eine sehr geringe Veränderung der Boden-Vorrats-Beanspruchung hervorruft, die ziemlich konstant 60 - 80 mm beträgt. Unter Wald dagegen bewirken übernormale Niederschläge eine mit zunehmender Niederschlags-Höhe überproportional zunehmende Schonung der Boden-Wasser-Vorräte, unternormale eine überproportional zunehmende ET-Beanspruchung der Vorräte. Ursache dafür scheint der von der

Niederschlags-Höhe abhängige prozentuale Anteil der Interception an der Summe der ETI zu sein. Ein weiterer Unterschied zwischen Wald und Ackerland besteht darin, daß beim Ackerland übernormale Niederschläge etwa von 200 mm ab eine erneute Graben-Abfluß-Spende (Frühlings-Spende) auslösen können, die beim Wald infolge höherer Interception auch bei großen Niederschlags-Höhen unterbleibt (Abb. 3 oben rechts).

Somit betragen beim Ackerland die Boden-Wasser-Vorräte zu Beginn des 2. Sommer-Quartals (1. VII.) nach einem trockenen und nach einem nassen 1. Quartal etwa 300 mm. Die Kalkulations-Spanne ist also relativ gering. Unter Wald dagegen beträgt sie 130 mm.

Das Bilanz-Schema für das 2. Sommer-Quartal (Abb. 3 unten) geht davon aus, daß zu Beginn die Boden-Wasser-Vorräte des Normal-Jahres vorliegen, d.h. beim Ackerland 300 mm, beim Wald 240 mm.

Unter Ackerland (Getreide + Rüben) würde unter Normal-Bedingungen der Boden-Vorrat im 2. Sommer-Quartal nicht weiter beansprucht. Übernormale Niederschläge würden bereits eine Wiederauffüllung der Boden-Vorräte der Schwarzerde-Landschaft bewirken - ohne daß dabei, selbst bei Verdoppelung der Normal-Niederschläge, der Graben-Abflußwert (370 mm) erreicht werden dürfte.

Auch unter Wald setzt bei schon geringer Überschreitung der Normal-Niederschlags-Werte die Vorrats-Auffüllung ein. Leider fehlen uns in diesem Quartal bislang Daten über die vorrats-ergänzende Wirksamkeit von Niederschlägen über 240 mm. Beim Wald ist wohl mit den gleichen Prozent-Sätzen wie im ersten Quartal zu rechnen. Beim Ackerland ist aufgrund des gegenüber dem 1. Quartal veränderten Vegetations-Bestandes — stark intercipierende und transpirierende Rüben- und Zwischenfrucht- neben Brach-Flächen — nur in der Weise zu einem kalkulatorischen Ansatz zu kommen, daß man die nur schwach geneigten ETI-Geraden (Abb. 3 unten rechts, ausgezogene Linie) extrapoliert. Eine Niederschlags-Höhe von 50 % über der Norm, d.h. 300 mm könnten danach eine völlige Wiederauffüllung des Defizits vom ersten Quartal (70 mm) bewirken. Dabei

ist zu bedenken, daß die Rüben-Flächen auch noch im 2. Quartal eine etwa 50 mm betragende Bodenwasser-Vorrats-Beanspruchung aufweisen.

Ein sehr trockenes 2. Quartal mit z.B. nur 50 % der Normal-Niederschläge kann dagegen sowohl bei Ackerland — bewirkt durch Rüben- und Zwischenfrucht-Flächen — als auch bei Wald noch einmal die gleiche Vorrats-Beanspruchung wie ein trockenes 1. Quartal herbeiführen. — Die Kalkulation des Bodenwasser-Vorrats-zustandes am Beginn des Winterhalbjahres (1.X.) und damit der Menge der bis zum Eintritt des Graben-Wasserabflusses erforderlichen Winter-Niederschläge hätte somit von der Summierung der Vorrats-Beanspruchung in den beiden Sommer-Halbjahren auszugehen.

Beim Ackerland würde die Kombination zweier zu trockener Sommer-Quartale mit nur 50 % der Niederschlags-Norm ein maximales Vorrats-Defizit (C-B in Tab. 3) von ca. 170 mm, die Kombination zweier feuchter Sommer-Quartale mit nur 50 % mehr Niederschlag als dem Durchschnitt kein Defizit mehr ergeben. Im ersten Fall würden normale Winter-Niederschläge ausreichen um das Defizit bis zum Frühjahr aufzufüllen. Im letzten Fall könnte der Graben-Abfluß bereits mit Beginn des Winter-Halbjahres einsetzen.

Entsprechend würde unter Wald nach einem Trocken-Sommer das Defizit ca. 400 mm, nach einem Feucht-Sommer ca. 40 mm betragen. Im ersten Fall wäre annähernd das 1,8 fache der durchschnittlichen Winterniederschläge erforderlich, um bis zum Winter-Ende das Defizit auszugleichen. Im zweiten Fall kann ein Graben-Abfluß möglich sein und schon im November beginnen. Trockene Sommer vergrößern somit die sommerliche Wasser-Vorrats-Differenz des Bodens zwischen Wald und Ackerland und verlängern die herbstliche und winterliche Differenz-Phase, während feuchte Sommer sie verringern.

Voraussagen für den Winter 1971/72 ergaben nach dem Sommer 1971, in dem die Bodenfeuchten nicht gemessen wurden, folgendes: Nach den etwas zu trockenen Monaten April und Mai folgte ein zu feuchter Juni, so daß das 1. Quartal als normal → feucht angesehen werden konnte. Es folgte ein zu trockenes 2. Sommer-Quartal, so daß zu Beginn des Winters mit einem Vorrats-Defizit von 120 mm unter Acker und 255 mm unter Wald zu rechnen war. Normale Winter-Niederschläge abzüglich der Verdunstungs-Verluste hätten ausgereicht um beim Ackerland das Defizit aufzufüllen und einen Abfluß von 80 mm zu erzeugen. Beim Wald aber wäre bis zum Sommer-Halbjaar ein Defizit von 50 mm erhalten geblieben. Tatsächlich fielen aber nur ca. 70 % der normalen winterlichen Niederschlags-Summe, und es trat kein Graben-Abfluß ein. Beim Ackerland blieb ein Defizit von 70 mm, beim Wald von 145 mm bestehen. Dies bestätigte sich und stimmte sehr gut mit den Daten der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle in Gießen (9) überein, deren LÖB-Lysimeter infolge fast gleicher Mächtigkeit des Bodens (150 cm) und fehlender Grundwasser-Spende wasserhaushaltsmäßig unseren Böden annähernd gleichzusetzen waren (siehe SCHUBACH, 26). Abschließend sei bemerkt, daß die durchgeführten prognostischen Ansätze für extreme Niederschlags-Überschüsse nur deshalb möglich waren, weil selbst bei Starkregen infolge der hohen Wasser-Aufnahmefähigkeit der Feucht-Schwarzerde-A-Horizonte kein Oberflächen-Abfluß zu beobachten ist und daher bilanzmäßig auch nicht berücksichtigt zu werden braucht.

9 GRUNDWASSER - LYSIMETER - VERGLEICH

9.1 DENKMODELL UND METHODE

Der in den vorhergehenden Abschnitten behandelte Jahresgang des Wasser-Haushaltes der Feucht-Schwarzerden hat seine Ursachen in der Anordnung der Bodenwasser-Vorräte innerhalb der 140 cm starken LÖB/Boden-Decke über der Ton-Sohle. Zur Veranschaulichung mag man sich eine 140 cm hohe, unten verschlossene Tonne vorstellen, in

welche die LÖB/Boden-Decke in natürlicher Lagerung eingefüllt ist. In 60 cm Tiefe unterhalb der Oberfläche befindet sich ein Abfluß-Stutzen. Im Winter-Halbjahr sättigt sich der Tonnen-Inhalt von unten her auf. Es entsteht ein Grundwasser-Spiegel, der langsam bis in Höhe des Auslauf-Stutzens ansteigt. Nach Erreichen dieses Niveaus tritt keine weitere Vermehrung des in der Tonne enthaltenen Wasser-Vorrats mehr ein. Die von diesem Zeitpunkt ab zugeführten Niederschläge fließen mit nur geringer zeitlicher Verzögerung durch den Auslauf-Stutzen ab. Vom April ab tritt im Normal-Jahr infolge zunehmender Evapotranspiration und Interception keine Abfluß-Spende mehr auf. Es folgt ein Angriff auf die in der Tonnen-Füllung gespeicherten Wasser-Vorräte. Bis zum Ende des Sommer-Halbjahres sinkt der Grundwasser-Spiegel bis zum Tonnen-Boden ab. Es bleibt kein ungespanntes Wasser in der Tonne erhalten. Zwischen der evapotranspirierenden Oberfläche und dem Tonnen-Boden stellt sich ein Saugspannungs-Gefälle ein. Unter bewachsenem Ackerland werden in der Regel maximale Saugspannungen von etwa pF 3,3 (oben) und von etwa 2,5 (unten) gemessen, unter Wald etwa Werte von pF 3,5 (oben) und 2,8 (unten). Dieser Unterschied ist dem verschiedenartigen Wurzel-System und der unterschiedlichen ETI-Intensität und -Dauer zuzuschreiben. Dabei nimmt offenbar als Folge der mit zunehmender Beanspruchung des Bodenwasser-Vorrates steigenden Saugspannung die Rate der Wasser-Entnahme aus der Tonne ab. Dies scheint der entscheidende Faktor für die natürliche Begrenzung der Vorrats-Entnahme am Ende des Normal-Jahres auf ca. 70 mm beim Ackerland und 200 mm beim Wald zu sein.

Um die Frage zu klären, welche ETI-Leistungen möglich wären, wenn durch Wasser-Zufuhr von unten der Vorrats-Zustand gewahrt bliebe, oder — auf die natürlichen Bedingungen vor Anlage der Drainage bezogen — der seitliche Wasser-Abzug unterbunden und damit das Vorrats-Volumen vergrößert würde, wurden Grundwasser-Lysimeter-Messungen nach der von SCHENDEL (21, 22) beschriebenen Methode durchgeführt. Sie sollen zugleich darüber Auskunft geben, ob die für die Wintermonate angesetzten Verdunstungs-Werte größenordnungsmäßig richtig sind.

Das Prinzip besteht darin, daß der oben als Denk-Modell vorgestellten Tonne von unten her über einen Zufluß-Stutzen Wasser zugeführt werden kann. Dabei sorgt ein Mariottesches Niveau-Gefäß dafür, daß der Grundwasser-Spiegel in der Tonne nur die Höhe des seitlichen Ausfluß-Stutzens erreicht und somit das von unten zugeführte Wasser nicht durch diesen Ausfluß abfließen kann. Über dem Grundwasser-Spiegel stellt sich in der Boden-Matrix ein kapilläres Wasser-Sättigungs-Gleichgewicht ein. Fallen in diesem Zustand Niederschläge auf das Lysimeter, so fließen diese durch den seitlichen Stutzen aus und werden gemessen. Tritt dagegen durch Evapotranspiration eine Beanspruchung des Grundwassers ein, so wird

das Defizit durch Zuströmen von unten kontinuierlich ausgeglichen und dabei der Nachlieferungs-Betrag gemessen. Die Transpiration der auf den Lysimetern wachsenden Pflanzen bzw. die Evaporation von der Boden-Oberfläche erfolgen damit — im Gegensatz zu den natürlichen Verhältnissen — stets im selben Vorrats-Zustand des Bodens.

Methodisch treten dabei insofern gewisse Ungenauigkeiten auf, als bei der Evapotranspiration das Saugspannungs-Gefälle zwischen Grundwasser-Spiegel und Boden-Oberfläche ansteigt und dadurch aufgrund reduzierter kapillarer Nachlieferung eine bestimmte Vorrats-Verringerung verursacht wird. Bei nachfolgenden Niederschlägen wird zuerst dieses Defizit ausgeglichen, bevor es zu einer Abfluß-Spende kommt. Bei geringer Durchlässigkeit der unteren Schicht der Tonnen-Füllung (Feucht-Schwarzerde-CS-Horizont, verdichtetes LÖB-Material) kann bei einem sehr starken Evapotranspirations-Zug der Grundwasser-Spiegel vorübergehend etwas absinken. Auf solche Ungenauigkeiten sind die in Tab. 4 in den Sommer-Monaten auftretenden Schwankungen des Gesamt-Wasserverbrauches zurückzuführen. Die Quartals- und Halbjahres-Summen werden davon nicht berührt.

Die Lysimeter bestehen aus 140 cm langen Plexiglas-Zylindern mit einem Durchmesser von 30 cm, entsprechend einer Oberfläche von 710 cm^2 . Die Boden-Monolithe wurden in folgender Weise ungestört entnommen: Mit Hilfe einer kreisförmigen Schablone wurde aus der Löß/Boden-Decke eine Bodensäule herauspräpariert, über die der Plexiglaszylinder gedrückt wurde. Dabei wurde die gesamte Löß-Decke bis zur Ton-Sohle erfaßt. Um eine gleichmäßige Wasser-Nachlieferung zu gewährleisten, wurden die unteren 5 cm der Boden-Säule entfernt und durch Quarzsand ersetzt. Die Einstellung des Grundwasser-Niveaus und die Messung der Wasser-Nachlieferung erfolgten in der von SCHENDEL (21, 22) beschriebenen Weise. Vor Beginn der Messungen (1.IV.) wurden die Lysimeter abgedeckt, die Grundwasserstände nivelliert und die Einstellung des Gleichgewichts-Zustandes in der ungesättigten Zone abgewartet.

Anfang März 1971 wurde Sommerweizen ausgesät. Der Bestand wurde nach dem Auflaufen auf 20 Pflanzen je Lysimeter verdünnt, was einem Bestand von 280 Pflanzen pro m^2 entspricht. Vom 1.IV. bis 30. IX. wurden dann die Nachlieferungen und Abläufe gemessen. Am Beginn des Winter-Halbjahres wurden die Lysimeter erneut abgedeckt (6 Tage) und die Wasser-Menge gemessen, die nötig war

um den kapillaren Gleichgewichts-Sättigungs-Zustand wieder zu erreichen.

Es wurden vier Lysimeter verwendet, von denen zwei bewachsen und zwei unbewachsen waren. Die mit Sommer-Weizen bestandenen Lysimeter waren nach der Ernte (3.8.) brach und damit den unbewachsenen gleich. Die Höhe des Grundwasser-Spiegels wurde in zwei Lysimetern auf 60 cm u.O. gehalten — entsprechend den natürlichen Frühjahrs-Bedingungen im Untersuchungs-Gebiet. Bei den beiden anderen Lysimetern wurde ein Grundwasser-Spiegel von 100cm eingestellt — in der Absicht, den Einfluß einer Absenkung des Grundwasser-Spiegels bis zur Basis des Haupt-Durchwuzelungs-Raumes auf die ET-Rate zu untersuchen.

Vom rein hydrologischen Aspekt wären dabei nur geringe Unterschiede zu erwarten. Bei Austrocknung, d.h. Abnahme des kapillar nicht oder nur schwach gespannten Wassers nimmt im A-Horizont die Fähigkeit zum raschen Ausgleich von hydraulischen Potential-Gefällen sehr stark ab. Beim CS-Horizont sind die Verhältnisse etwas anders. Bei völliger Wasser-Sättigung ist die Leitfähigkeit aufgrund des geringen Grob-Porenanteils sehr viel kleiner als im A-Horizont. Im Zustand der ausschließlich kapillaren Sättigung ist die Leitfähigkeit der CS-Horizonte aufgrund der nicht erfolgten isovolumen Poren-Umverteilung jedoch der des A-Horizontes leicht überlegen.

9.2 ERGEBNISSE UND VERGLEICH

Aus Tab. 4 lassen sich Beiträge zu den folgenden, in den vorherigen Kapiteln aufgeworfenen Fragen ableiten:

1) Winter-Verdunstung: Alle vier Lysimeter waren im Winter-Halb-jahr nicht bewachsen. Die Unterschiede zwischen der 60-cm- und 100-cm-Gruppe sind schwer zu deuten, können aber aufgrund ihrer Kleinheit vernachlässigt werden. Der Winter 1971/72 (Okt. - März) war um 95 mm zu trocken und wärmer als im langjährigen Mittel. Anhand der 14^{00} -Uhr-Sättigungs-Defizit-Werte läßt sich nach HAUDE (14) eine Gesamt-Verdunstung für den genannten Zeitabschnitt von 154 mm errechnen. Die mit Gras bewachsenen Lysimeter in Gießen (9) ergaben folgende ETI-Monatswerte:
Okt. 24, Nov. 10, Dez. 6, Jan. 6, Febr. 9, März 29 = Gesamt ETI 8 - 77

Tab.4 : Wasser-Haushalts-Bilanz von Feucht-Schwarzerde-Grundwasser-Lysimetern im Bilanzjahr 1971/72
(Standort Göttingen)

| | April | Mai | Juni | Juli | August | Septemb. | April - r. Sept. | Okt. - März | April - März |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|---------------------|----------------|-----------------|
| Niederschlag (N) in mm | 33,4 | 39,2 | 136,4 | 12,4 | 44,4 | 26,5 | 292,3 | 165,3 | 457,6 |
| Abfluß (A) | | | | | | | | | |
| GWS 60 cm bewachsen | - | - | - | - | - | - | - | 60,8 | 60,8 |
| GWS 60 cm unbewachsen | - | - | 51,5 | 2,1 | - | - | 53,6 | 60,8 | 114,4 |
| GWS 100cm bewachsen | - | - | - | - | - | - | - | 71,5 | 71,5 |
| GWS 100cm unbewachsen | - | - | 50,9 | 2,8 | - | - | 53,7 | 71,5 | 125,2 |
| N - A | | | | | | | | | |
| GWS 60 cm bewachsen | 33,4 | 39,2 | 136,4 | 12,4 | 44,4 | 26,5 | 292,3 | 104,5 | 396,8 |
| GWS 60 cm unbewachsen | 33,4 | 39,2 | 84,9 | 10,3 | 44,4 | 26,5 | 238,7 | 104,5 | 343,2 |
| GWS 100 cm bewachsen | 33,4 | 39,2 | 136,4 | 12,4 | 44,4 | 26,5 | 292,3 | 93,8 | 386,1 |
| GWS 100 cm unbewachsen | 33,4 | 39,2 | 85,5 | 9,6 | 44,4 | 26,5 | 238,6 | 93,8 | 332,4 |
| Entnahme aus dem GW | | | | | | | | | |
| GWS 60 cm bewachsen | 13,8 | 48,8 | 102,6 | 164,5 | 55,3 | 10,7 | 395,5 | 8,0 | 403,5 |
| GWS 60 cm unbewachsen | 7,9 | 16,4 | 2,9 | 20,6 | 14,2 | 4,8 | 66,0 | 8,0 | 74,0 |
| GWS 100 cm bewachsen | 13,1 | 46,5 | 73,5 | 133,3 | 53,0 | 13,3 | 332,7 | 12,1 | 344,8 |
| GWS 100 cm unbewachsen | 6,8 | 11,0 | 0,4 | 11,6 | 8,5 | 4,0 | 42,3 | 12,1 | 54,4 |
| Gesamtverdunstung ETI | | | | | | | | | |
| GWS 60 cm bewachsen | 47,2 | 87,8 | 239,0 | 176,9 | 99,7 | 37,2 | 687,9 | 112,5 | 800,4 |
| GWS 60 cm unbewachsen | 41,3 | 55,6 | 87,8 | 30,9 | 58,6 | 31,3 | 305,5 | 112,5 | 418,0 |
| GWS 100 cm bewachsen | 46,5 | 85,7 | 209,9 | 145,7 | 97,4 | 39,8 | 625,0 | 105,9 | 730,9 |
| GWS 100 cm unbewachsen | 40,2 | 50,2 | 85,9 | 21,2 | 52,9 | 30,5 | 280,9 | 105,9 | 386,8 |
| Freie Wasseroberfläche | 74,1 | 113,5 | 73,3 | 182,4 | 138,7 | 66,1 | 648,1 | | |

Die neben den Grundwasser-Lysimetern stehenden mit Gras bewachsenen 2m-Parabraunerde-Unterdruck-Lysimeter in Göttingen verdunsteten: Okt. 25, Nov. 18, Dez. 12, Jan. 21, Febr. 11, März 34 = Gesamt ETI 121 mm.

Diesen Werten stehen die der Feucht-Schwarzerden mit 106 bzw. 112 mm gegenüber. Somit erscheint der im Bilanz-Ansatz für das Normal-Jahr eingesetzte Winter-Verdunstungs-Wert von 90 mm nicht als zu hoch gegriffen.

Für den Abfluß ergibt sich folgender Vergleich:

| | Normal-Winter, nat. Feucht-Schwarzerde | Normal-Winter GW-Lysimeter | Winter 71/72 GW-Lysimeter |
|------------------|---|-------------------------------|------------------------------|
| Niederschlag | 284 | 284 <119> | 165 |
| Verdunstung | -90 | -90 | -109 |
| Vorrats-Änderung | -70 | ± 0 | + 10 |
| Abfluß | 124 <70> | 194 <128> | 66 |

Entsprechend der geringeren Niederschlags-Menge und der erhöhten Verdunstung war die Abfluß-Spende im Winter 1971/72 um 128 mm geringer als die Abfluß-Spende in einem niederschlags-normalen Winter.

2) Sommer-Verdunstung: Der für die Feucht-Schwarzerden mit natürlicher Wasser-Vorrats-Erschöpfung errechnete durchschnittliche Verdunstungs-Verbrauch an Boden-Wasser beträgt im Sommer 1971 ca. 120 mm. In den Grundwasser-Lysimetern liegt dagegen unter Sommer-Weizen die Nachlieferung aus dem Grundwasser bei 333 → 396 mm, unter Brache bei 42 → 66 mm.

Dies ist der von der Höhe des Grundwasser-Standes abhängigen Transpirations-Leistung des Weizens zuzuschreiben. Die Ernte erfolgte am 3. VIII., danach blieb der Boden brach liegen. Daß die Werte der Grundwasser-Nachlieferung für den August dennoch um 40 mm über denen der unbewachsenen Lysimeter liegen, hat seine Ursache in der langsamen Auffüllung des in der Vegetationsperiode erzeugten Vorrats-Defizits. Dieser Betrag ist somit noch der ETI des Zeit-Abschnittes April-Juli zuzurechnen. Für den be-

wachsenen Boden ergeben sich folgende Werte:

| | |
|---|---------------------------------|
| bei einem von 60 auf 140 cm absinkenden Grundwasser-Spiegel mit anschließendem Aufbrauch von kapillar-gebundenem Wasser bis pF 2,5 bzw. 3,3 | 120 mm Vorrats-Wasser-Verbrauch |
| bei 150 cm Ausgangs-Grundwasser-Stand mit anschließendem kapillarem Vorrats-Wasser-Aufbrauch (Gießen) | 119 mm Vorrats-Wasser-Verbrauch |
| bei 100 cm permanentem Grundwasserstand | 306 mm Grundwasser-Verbrauch |
| bei 60 cm permanentem Grundwasserstand | 370 mm Grundwasser-Verbrauch |
| <u>Die Gesamt-Verdunstung betrug:</u> | |
| Haude-Wert (errechnet) | 376 mm |
| Lysimeter Gießen | 316 mm |
| freie Wasseroberfläche | 443 mm |
| 100 cm Grundwasser-Lysimeter | 528 mm |
| 60 cm Grundwasser-Lysimeter | 591 mm |

Der Einfluß der Grundwasser-Spiegel-Höhe im Wurzelraum macht sich besonders in den Monaten mit starkem Transpirations-Entzug bemerkbar. Während die Differenz im Grundwasser-Entzug der bewachsenen 60- und 100 cm-Grundwasser-Lysimeter im April und Mai noch praktisch 0 ist, steigt sie im Juni-Juli auf ca. 30 mm an.

Bei den unbewachsenen Lysimetern ist die Grundwasser-Beanspruchung in der Zeit vom April bis Juli auf 48 bzw. 29 mm reduziert. Die Differenz in der Grundwasser-Beanspruchung zwischen bewachsenen und unbewachsenen Lysimetern ist besonders in den Verdunstungsintensiven Monaten hoch, was mit der Oberflächen-Austrocknung und der damit verbundenen Verminderung der kapillaren Nachlieferung zusammenhängt.

Dieser Umstand erklärt die Erscheinung, daß im Durchschnitt der Feucht-Schwarzerde-Flächen in einem Normal-Jahr im 2. Sommer-Quartal keine Bodenwasser-Beanspruchung stattfindet. Die Getreide-Flächen liegen dann weitgehend brach und nur die Rüben bewirken noch einen Vorrats-Wasser-Entzug.

Größenordnungsmäßig stimmen die Beobachtungen mit den von SCHENDEL (22), CZERATZKI (7) und VAN SCHAİK und KROGMAN (18) angestellten Messungen überein.

10 WASSERHAUSHALTS - VERGLEICH LÖSS
- FEUCHT - SCHWARZERDE - UND LÖSS -
PARABRAUNERDE - LANDSCHAFT

Anhand der früher von HASE und MEYER (13) für Parabraunerden aus mächtigen Löß-Decken gegebenen Landschafts-Wasserhaushalts-Bilanzen sei abschließend ein Vergleich zwischen der hier behandelten Löß-Feucht-Schwarzerde-Landschaft und einer unter gleichen klimatischen Bedingungen stehenden Parabraunerde-Landschaft an gestellt. Bei letzterer kann man sich die Lage der Stau-Sohle in etwa 8 - 10 m Tiefe u.O. vorstellen. Darüber ist ein seitlicher Abzug des Grundwassers möglich. Ackernutzung soll in beiden Landschaften dominieren.

| Parabraunerde-Landschaft | N | V | A | R | |
|--------------------------|-----|-----|-----|------|----|
| Winter | 284 | 74 | 100 | -110 | mm |
| Sommer | 381 | 431 | 60 | +110 | mm |
| Summe | 665 | 505 | 160 | | mm |
| | 100 | 76 | 24 | | % |

| Feucht-Schwarzerde-Landschaft | N | V | A | R | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
| Winter | 284 | 90 | 124 | -70 | mm |
| Sommer | 381 | 451 | 0 | +70 | mm |
| Summe | 665 | 541 | 124 | | mm |
| | 100 | 81 | 19 | | % |

Die Stausohle der Feucht-Schwarzerde-Landschaft erhöht durch Erzeugung eines winterlichen Boden-Grundwasser-Spiegels die ETI (= V)-Verluste um ca. 40 mm. Der fehlende Sickerwasser-Abfluß im

Sommer führt dagegen zu einer Reduzierung der Vorrats-Beanspruchung. Interessant ist das Ergebnis, daß die Abfluß-Spende der landwirtschaftlichen Nutz-Landschaft — sei es als Grund- oder als Offenwasser-Spende — etwa in der gleichen Größenordnung liegt und 19 bzw. 24 % der Jahres-Niederschlags-Summe ausmacht.

11 Z U S A M M E N F A S S U N G

In einer dreijährigen Untersuchung werden die Jahres-Wasser-haushalts-Bilanzen eines hydrostratigraphisch exakt umgrenzbaren 142 ha großen Feucht-Schwarzerde-Areals mit Wald- und Ackerflächen nahe Borsum bei Hildesheim ermittelt.

An hydrologischen Meß-Größen werden erfaßt: Die Niederschlags-Höhe, der Graben-Abfluß und die jahreszeitliche Veränderung des Wasser-Vorrates in der durchschnittlich 1,4 m starken Löß-Decke mit 60 cm mächtigen Schwarzerde-A-Horizonten über wasser- und durchlässigem Kreide-Ton. Dazu werden fortlaufend gravimetrische Wassergehalts-Bestimmungen und Grundwasserstands-Messungen durchgeführt. Die Methoden der Graben-Abfluß-Messung und der Boden-Wassergehalts-Bestimmung werden einer kritischen Betrachtung unterworfen. Als Bezugsgröße für die aktuellen Vorrats-Änderungen wird die "effektive Speicher-Kapazität" der Löß/Boden-Decke verwendet (eSK = Gesamt-Porenraum — Totwasser-Porenraum — durch Dränage im Oberboden wasserfrei gehaltener Porenraum).

Aufgrund der Wasser-Haushalts-Umsätze der drei Bilanz-Jahre 1968, 69 und 70 werden kalkulatorische Ansätze für die Aufstellung einer Normal-Bilanz (Kapitel 7) entwickelt, die für das aus den langjährigen Witterungs-Werten abgeleitete Durchschnitts-Jahr gilt.

Danach decken sich beim Wald der Jahres-Niederschlag und die Jahres-Evapotranspiration + Interception. Das Sommer-Halbjahr beansprucht 200 mm der effektiven Speicher-Kapazität, die im Winter-Halbjahr wieder ersetzt werden. Es kommt zu keiner Abfluß-Spende.

Das Ackerland verbraucht nur 70 mm (Rüben 110 mm) des Bodenwasser-Vorrats und zwar hauptsächlich im 1. Sommer-Quartal. Dem entsprechend liefern die Winter-Niederschläge eine Graben-Abfluß-Spende von 124 mm (= 19 % des Jahresniederschlages), die in der Zeit von Dezember bis März anfällt. Das erste Sommer-Quartal bringt die Evapotranspirations-Beanspruchung des Bodenwasser-Vorrats, das 2. Sommer-Quartal verhält sich bilanz-neutral, das 1. Winter-Quartal bewirkt den Ausgleich des Vorrats-Defizits, das 2. Winter-Quartal liefert die Abfluß-Spende.

Die Auswirkungen einer Änderung der Nutzungs-Struktur der Landschaft (Wald-Getreide-Zuckerrüben) wird diskutiert.

Um für ein beliebiges Jahr aufgrund der laufenden Witterungs-Gestaltung zu Vorhersagen über den erwarteten Gebiets-Abfluß zu gelangen und Prognosen über den ökologisch bedeutsamen Vorrats-Zustand zu erstellen, werden in Kapitel 8 Bilanz-Nomogramme dargestellt und diskutiert.

Mit Hilfe von Modell-Experimenten an Grundwasser-Lysimetern mit Feucht-Schwarzerden werden in Kapitel 9 die quantitativen Ansätze zur Winter-Verdunstung überprüft, der Einfluß des Bewuchses und der Brache auf die Sommer-Verdunstung untersucht und die Auswirkung verschieden hoher Grundwasser-Stände auf die Evapotranspirations-Leistung ermittelt.

Abschließend wird ein Wasserhaushalts-Vergleich zwischen Feucht-Schwarzerden aus geringmächtigem LÖß über Ton und Parabraunerden aus mächtigen LÖß-Paketen unter gleichen Klima-Bedingungen gegeben. Im Hinblick auf die Gebiets-Wasser-Bilanz resultiert, daß unter Acker-Nutzung die Schwarzerde-Landschaft etwa den gleichen Betrag oberflächlich abfließenden Wassers liefert wie die Parabraunerde-Landschaft an Sickerwasser, d.h. unterirdisch abfließendem Grundwasser. Es handelt sich um etwa 20 % der jährlichen Niederschlags-Summe.

12 L I T E R A T U R - V E R Z E I C H N I S

1. BÄTJER, D. (1968): Der Wasserhaushalt Nordwestdeutschlands.
Verlag Paul Parey Berlin 1968
2. BARTELS, G., BEESE, F., und MEYER, B. (1972): Der Wasser-Haushalt von Feucht-Schwarzerde- und Griserde-Landschaften im niedersächsischen Löß-Vorland der Mitteldeutschen Schwelle, I. Hydrologische Abgrenzung repräsentativer Landschafts-Ausschnitte. Stratigraphie und Hydrorelief als Faktoren der Boden-Vergesellschaftung. Löß-Feucht-Schwarzerde/Griserde-Börde bei Hildesheim.
Göttinger Bodenkundl. Ber. 22, 1-46
3. BAUMANN, H. (1964): Über die Verdunstung von Landoberflächen.
Zeitschr. Wasser und Boden 16, 335-338 (1964)
4. BEESE, F., und MEYER, B. (1972): Der Wasser-Haushalt von Feucht-Schwarzerde- und Griserde-Landschaften im niedersächsischen Löß-Vorland der Mitteldeutschen Schwelle, II. Poren-Raum und -Verteilung in Beziehung zum Bodentyp als Grundlage für die Kalkulation der Speicher-Kapazität der Boden-Decke in der Landschaft.
Göttinger Bodenkundl. Ber. 22, 47-81
5. BLUME, H.P., MÜNNICH, K.O., und ZIMMERMANN, U. (1966): Das Verhalten des Wassers in einer Löß-Parabraunerde unter Laubwald.
Zeitschr. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 112, 156-168 (1966)
6. BRECHTEL, U. (1970): Wald und Retention - Einfache Methoden zur Bestimmung der lokalen Bedeutung des Waldes für die Hochwasserdämpfung.
Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen Jg. 14, H 4 (1970)
7. CZERATZKI, W. (1964): Der Wasserverbrauch von Pflanzen in Abhängigkeit von Bodenart, Saugspannung und Gefäßtiefe in Unterdrucklysimetern.
Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 2, 25-33 (1964)

8. DE LEENHEER, L., DE BOODT, U., und ROBBERECHTS, E. (1967): Variations in Soil Moisture Content and Crop Yields in a Toposequence of the Belgian Loess-Loam Landscape during the Years 1964/65. Mitteilungen Dtsch. Bodenkundl. Ges. 7, 112 (1967)
9. DEUTSCHER WETTERDIENST: Agrarmeteorologische Monats-Berichte für den Raum Gießen. Agrarmeteorologische Forschungsstelle Gießen
10. DEUTSCHER WETTERDIENST: Monatliche Witterungsberichte für das östliche Niedersachsen. Wetteramt Hannover
11. DÜNNBIER, W. (1964): Ergebnisse vergleichender Verdunstungsbestimmungen in Nordwestdeutschland. Deutsche Gewässerkundl. Mitteilg. Jg. 9, H. 2 (1964)
12. FRIEDRICH, W. (1950): Über die Verdunstung vom Erdboden. Grundwasserforschung 91, 289-296
13. HASE, D., und MEYER, B. (1969): Feuchte-Jahresgang, Wasser-Bewegungen und -Bilanzen in dicken Würmlöß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichen Grundwasserstand im Raum Niedersachsen. Göttinger Bodenkundl. Ber. 11, 85-183 (1969)
14. HAUDE, W. (1954): Zur praktischen Bestimmung der aktuellen und potentiellen Evaporation und Evapotranspiration. Mitteilungen Deutscher Wetterdienst 8, 1954
15. HUSEMANN, C., und WESCHE, G. (1965): Der Wasserhaushalt und die Wasserbilanz eines lehmigen Sandbodens nach Untersuchungen in wägbaren Lysimetern. Zeitschr. Kulturtechnik und Flurbereinigung 5, 364-389 (1965)
16. LIEBEROTH, I. (1969): Bodenkunde, Boden-Fruchtbarkeit. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1969
17. PAPP, U. (1963): Wasserhaushalts-Untersuchungen an holozänen Parabraunerden aus würmzeitlichem Löß in Niedersachsen. Dissertation Ldw. Fak. Göttingen 1963
18. VAN SCHAIK, J.C., und KROGMAN, K.K. (1968): Water uptake by orchardgrass and evaporation from bare soil in the presence of shallow water Tables. Canadian J. Soil Sci. 48, 281-288 (1968)

19. SCHEKORR, E.(1970): Hydrologische Beobachtungen an zwei kleinen Wassereinzugsgebieten mit verschiedenen Bodenverhältnissen. Mitteilungen Dtsch.Bodenkundl.Ges. 10, 111-115 (1970)
20. SCHENDEL, U.(1965): Untersuchungen über den Gebietswasserhaushalt eines kleinen Einzugsgebietes in der alten Moräne Schleswig-Holsteins. Mitteilungen d. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 2, 11-21 (1965)
21. SCHENDEL, U.(1967): Der Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf den Wasserverbrauch von Klee gras. Mitteilg. Dtsch. Bodenkundl. Ges. 7, 251-257 (1967)
22. SCHENDEL, G.(1968): Messungen mit Grundwasserlysimetern über den Wasserverbrauch aus oberflächennahen Grundwasser. Zeitschr. Kulturtechnik und Flurbereinigung 9, 314-326 (1968)
23. SCHROEDER, O.(1952): Die Wasserreserven des oberen Emsgebietes. Bes.Mitt. z.Dt.Gewässerkundl. Jb. Nr.5, Bielefeld 1952
24. SCHROEDER, G.(1958): Landwirtschaftlicher Wasserbau. Springer-Verlag Berlin 1958
25. SCHROEDER, M.(1971): Der winterliche und sommerliche Wasserhaushalt von Sand und Löß - eine Analyse der Halbjahresdaten der wägbaren Lysimeteranlage Senne. Zeitschr. Wasser und Boden 23, 257-260 (1971)
26. SCHUBACH, K.(1970): Wasserhaushaltsuntersuchungen nach Beobachtungen an wägbaren Lysimetern. Deutsche Gewässerkundl. Mitteilungen Jg. 14,1 (1970)
27. WALTER, H., und LIETH, H. (1960): Klimadiagramm Weltatlas. VEB Gustav Fischer-Verlag, Jena 1960
28. WESCHE, G.(1970): Weitere Ergebnisse aus Bodenwasserhaushaltsmessungen in der Dahlemer Lysimeteranlage. Zeitschr. Kulturtechnik und Flurbereinigung 11, 229-248 (1970)

Beese, F., und Meyer, B.:

**DER WASSER-HAUSHALT VON FEUCHT-
SCHWARZERDE - UND GRISERDE-LAND-
SCHAFTEN IM NIEDERSÄCHSISCHEN LÖSS-
VORLAND DER MITTELDEUTSCHEN
SCHWELLE**

IV

WASSERHAUSHALT DER BODENTYPEN
UND VEGETATIONS-STANDORTE
IN BEZIEHUNG ZUR
BODEN-GENESE

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 22, 137-195
(1973)**

G L I E D E R U N G

Seite

| | | |
|---------|--|-----|
| 1 | <u>Ü B E R B L I C K und P R O B L E M S T E L L U N G</u> | 140 |
| 2 | <u>J A H R E S - G A N G des G E B I E T S - G R U N D - W A S S E R - S P I E G E L S</u> | 142 |
| 2.1 | <u>FEUCHT-SCHWARZERDE-LANDSCHAFTSAUSSCHNITT BORSUM-HÖNNERSUM (AREAL A)</u> | 142 |
| 2.2 | <u>FEUCHT-SCHWARZERDE/GRISERDE-LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT ALGERMISSEN (AREAL B)</u> | 147 |
| 3 | <u>P E D O - H Y D R O G R A M M E der B O D E N T Y P E N und V E G E T A T I O N S - S T A N D O R T E</u> | 153 |
| 3.1 | <u>VORRATSDIAGRAMME</u> | 157 |
| 3.1.1 | <u>Typ Ia : Feuchtschwarzerde, AckerØ</u> | 157 |
| 3.1.2 | <u>Typ Ib : Feuchtschwarzerde, Zuckerrüben</u> | 158 |
| 3.1.3 | <u>Typ II : Feuchtschwarzerde unter Wald</u> | 158 |
| 3.1.4 | <u>Typ IV : Feuchte bis Braune Gris-Schwarzerde (Acker)</u> | 159 |
| | <u>Typ V : Griserde (Acker)</u> | 159 |
| 3.1.5 | <u>Ackerböden : Vergleich der Vorratsamplituden</u> | 160 |
| 3.1.6 | <u>Maximal- und Normal-Amplitude</u> | 161 |
| 3.2 | <u>PEDO-HYDROGRAMME</u> | 161 |
| 3.2.1 | <u>Unterböden (80-140 cm) - Feuchteamplitude und morphologische Merkmale</u> | 162 |
| 3.2.2 | <u>Oberböden (0-80 cm)</u> | 166 |
| 3.2.3 | <u>Wasser-Austausch Unterboden/Oberboden bei Feuchtschwarzerden als Folge sommerlicher Transpiration</u> | 167 |
| 3.2.3.1 | <u>Saugspannungs-Messungen unter Acker</u> | 169 |
| 3.2.3.2 | <u>Real-Saugspannungen und Äquivalent- Saugspannungen (Hysterese-Erscheinungen)</u> | 173 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4 | <u>WASSERUMSATZ - STOFFTRANSPORT - PEDOGENESE</u> | 175 |
| 4.1 | <u>DER ENTKALKUNGS-PROZESS</u> | 175 |
| 4.1.1 | <u>Modell I : Vertikal- und Lateral-Transport in der Feuchtschwarzerde</u> | 179 |
| 4.1.2 | <u>Modell II: Lateral-Transport an Flachhängen der Feuchtschwarzerde-Landschaft</u> | 184 |
| 4.1.3 | <u>Die Grieserden und die Feuchtschwarzerde- Grieserde-Landschaft</u> | 186 |
| 4.2 | <u>DIE TON-VERLAGERUNG</u> | 188 |
| 4.3 | <u>FE-KONKRETIONEN</u> | 189 |
| 5 | <u>ZUSAMMENFASSUNG</u> | 190 |
| 6 | <u>LITERATUR</u> | 194 |

1 ÜBERBLICK und PROBLEMSTELLUNG

Mitteilung I (1) dieser Publikations-Folge befaßte sich mit der Ausscheidung zweier kleiner repräsentativer Wasser-Haushalts-Bilanz-Areale in der Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft bei Hildesheim. Die hydrostratigraphische Gemeinsamkeit beider Areale besteht in folgendem: Über dem wasser-undurchlässigen Ton-Untergrund (Tone der Unterkreide-Formation) liegt eine pleistozäne Decke, in der sich der annuelle Wasser-Umsatz vollzieht. Sie besteht aus einer im Schnitt 140 cm starken Lößdecke (Jungwürm-Löß). An der Basis findet sich - jedoch nur in lokaler Verbreitung - älter-pleistozänes Kies-, Sand- und Lehm-Material glazigener und periglazialer Herkunft von wenigen Dezimetern Mächtigkeit.

Der Unterschied zwischen den beiden Repräsentativ-Arealen liegt in folgendem: In Areal A, repräsentativ für die Feucht-Schwarzerde-Landschaft, spielt die basale Einschaltung der geringmächtigen älteren Sediment-Schichten keine wesentliche Rolle für die Landschafts-Entwässerung. Die Wasserhaushalts-Bilanz ist reduziert auf die Glieder N (Niederschlag) und ETI (Evapotranspiration + Interception). Hinzu kommt ein saisonaler Drän- und Graben-Abfluß im Winter. Er setzt dann ein, wenn der im Winter ansteigende saisonale Grundwasser-Spiegel das piezometrische 80-cm-Tiefen-Niveau übersteigt. Der Bodentyp dieser Landschaft ist die Feucht-Schwarzerde, die unter Acker (Getreide, Rüben) und Hochwald auftritt.

In Areal B, repräsentativ für die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft werden ebenfalls größere Flächen-Anteile von diesem Wasserhaushalts-Typ und dementsprechend von Feucht-Schwarzerden eingenommen. In bestimmten Bezirken bewirkt jedoch die Einschaltung der flachen entwässernden Kies- und Sand-Rinnen unter der Löß-Decke eine stärkere Sickerwasser-Spende der Lößdecke und einen starken lateralen Stauwasser-Abzug. In solchen Situationen treten als Bodentypen die stärker entkalkten und durch Ton-Verlagerung gekennzeichneten morphologischen Übergänge von der Feucht-Schwarzerde zur Griserde und Parabraunerde auf. (Vergriste Feucht-Schwarzerde → Feuchte - braune Grise-Schwarzerde → Griserde).

In Mitteilung II (2) wurden die für diese Bodentypen charakteristischen Poren-Verteilungen dargestellt und diskutiert. Mitteilung III (3) gab einen Überblick über die Wasser-Haushalts-Bilanz der gesamten Feucht-Schwarzerde-Landschaft.

Auf der Gebiets-Wasser-Bilanz aufbauend, soll in der hier vorliegenden IV. Mitteilung ein Vergleich des spezifischen Wasserhaushaltes der genannten Bodentypen und Vegetations-Standorte durchgeführt werden.

Dies geschieht unter folgenden Aspekten und Fragestellungen:

- 1.) Läßt sich einem nach pedomorphologischen Methoden typisierten und in sich einheitlichem Klein-Areal ("Pedo-Phyto-Tessera") ein bestimmter Wasserhaushalts-Typ zuordnen?

- 2.) Wenn ja: Wie setzt sich der Wasserhaushalt eines Gebietes aus den mosaikhaft variierenden Teil-Wasser-Haushalten seiner Boden-Tesserae zusammen? Lassen sich z. B. aus der Boden-Aufnahme Rückschlüsse auf den Gebiets-Wasserhaushalt ziehen?
- 3.) Welche kausalen Beziehungen bestehen zwischen dem heutigen Wasser-Haushalt einzelner Bodentypen und dem historischen Ablauf der zu dem heutigen pedo-morphologischen Erscheinungs-Bild führenden pedo-genetischen Teilprozesse, wie z. B. Entkalkung und Ton-Verlagerung?
- 4.) Daraus resultierend: Welche pedogenen Form-Phänomene sind als Resultat älterer holozäner Wasser-Haushalts-Prozesse anzusehen (Relikt-Phänomene) und daher nicht als Indikatoren für den heutigen Wasser-Haushalt des Standortes verwertbar? Wie stark ist gegenüber dem Bodentyp der modifizierende Einfluß der gegenwärtigen Vegetation?
- 5.) Lassen sich überhaupt auf der Basis des Boden-Typen-Vergleichs hydrologisch-ökologische Vergleiche zwischen verschiedenen Boden-Landschaften ziehen oder stellen sedimentstratigraphischer Aufbau und Vegetations-Typ eine besser geeignete Vergleichsbasis dar?

Zur Klärung dieser Fragen wird versucht, den Normal-Wasser-Haushalt (Wasserhaushalt des Durchschnitts-Jahres) für die fünf in den Bilanz-Arealen auftretenden Haupt-Boden- und Vegetations-Standorts-Typen extrapolierend zu berechnen. Methodische Grundlage hierfür ist die über drei Bilanz-Jahre hinweg fortlaufend durchgeführte Messung der Boden-Grundwasserstände und der Boden-Wassergehalte, die in Mitt. III beschrieben wurde. Im Hinblick auf die Frage nach der Luft-Okklusion wurden ferner Tensiometer-Messungen im Gelände und Modell-Sättigungs-Versuche an Stechzylindern im Vergleich zu der herkömmlichen Aufnahme von pF-Charakteristiken nach Aufsättigung im Vacuum (Mitt. II) herangezogen. Eine eingehende Darstellung der hier behandelten Bodentypen findet sich in Mitt. II.

2 JAHRESGANG des GEBIETS - GRUNDWASSER - S P I E G E L S

Grundlage für die Betrachtung des Wasserhaushaltes der einzelnen Teil-Areale der Repräsentativ-Landschafts-Ausschnitte ist zunächst der zeitliche Gang und die zeitliche Differenzierung des Gebiets-Grundwasser-Spiegels.

Dazu gilt im Prinzip folgendes : In der Feucht-Schwarzerde-Landschaft pumpt die Vegetation während des Sommer-Halbjahres die im Schnitt 1,4 m mächtige Löß/Boden-Decke, bis herunter zur unterlagernden Ton-Sohle der Landschaft, von ungespanntem Stauwasser frei. In den Winter-Monaten baut sich aus dem Niederschlags-Überschuß von unten her ein Grundwasser-Spiegel auf, der etwa von November/Dezember ab ein piezometrisches Niveau von 80 cm unter Flur erreicht und erst dann durch laterales Abströmen auf diesem Niveau den Graben-Wasserabfluß einleitet.

2.1 FEUCHT-SCHWARZERDE-LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT BORSUM-HÖNNERSUM (AREAL A)

Abb. 1 bringt das in der Hang-Gefälls-Linie verlaufende Querschnitts-Profil CI parallel der Straße Borsum-Hönnersum, das bereits in Mitt. I, Abb. 1 mit seiner pedomorphologischen Differenzierung dargestellt wurde. Es handelt sich um geschlossene Ackerflächen und um Feucht-Schwarzerden. Diese weisen hangabwärts zunehmend eine Verstärkung der Kalk-Konkretions-Lagen an der Grenze A/C und der Marmorierung im CS-Horizont auf.

Abb. 1 zeigt, daß bei dem um 1 % geneigten Hang sowie dem oben ansetzenden Plateau-Abschnitt der Aufbau und der Abbau des Grundwasser-Spiegels relativ gleichmäßig erfolgen. Dränende Sandrinnen fehlen hier, und der laterale Wasser-Zug in der Löß-Decke scheint so gering zu sein, daß er keine wesentliche Hang-Differenzierung des Boden-Grundwassers bewirkt.

Es ist lediglich zu beobachten, daß die Absenkung des Grundwasser-Spiegels während des 1. Sommer-Quartals in den unteren Hang-Abschnitten etwas zögernder abläuft als in den oberen. Der Aufbau des Grundwasser-Spiegels setzt unten etwas eher ein als oben.

Laufende Wassergehalts-Bestimmungen zeigen, daß dies bei annähernd gleicher Beanspruchung des örtlichen Bodenwasser-Vorrats durch die Vegetation mit dem winterlichen Abströmen von ungespanntem Wasser in Oberflächen-Nähe zusammenhängt. Steigt im Winter das piezometrische Niveau auf 80 cm unter der Oberfläche, so liefern die oberen Hangpartien durch Abfluß im unteren A-Horizont-Abschnitt ungespanntes Wasser an die unteren Hangpartien, wodurch es zu einer geringfügigen Disproportionierung am Hang kommt. Der dadurch entstehende Vorratsüberschuß führt im Sommer zu einer Schonung der autochthonen Wasser-Vorräte im Hangfuß-Bereich und läßt das Defizit zu Ende des Sommers nicht ganz so groß werden wie im Oberhang-Bereich. Die Wassergehalte-Amplitude zwischen maximaler und minimaler natürlicher Wasserfüllung bleibt jedoch etwa gleich. Die Winter-Niederschläge können somit am Unterhang schneller zu einer Anhebung des Grundwasser-Spiegels führen als am Oberhang.

Stärkere Differenzierungen als dieser laterale Wasser-Transport verursachen jedoch die verschiedenen Anbau-Früchte. Dies wird im Extrem deutlich am Beispiel des Winter-Halbjahres 1969/70 (Abb. 1 rechts oben). Hier zeigt sich im Bereich der Plateau-Kante eine extreme Verzögerung des Grundwasser-Anstiegs bis zum März 1970. Ursache dafür ist, daß an dieser Stelle im Vorjahr Zucker-Rüben gestanden haben. Nach dem trockenen Hochsommer (vgl. Klimatogramm, Abb. 2 in Mitt. III) waren die Boden-Wasser-Vorräte so erschöpft, daß erst die hohen Niederschläge des folgenden März die Grundwasser-Neubildung einzuleiten vermochten.

Abb. 1 : Feucht-Schwarzerde-Areal A.

Zeitlicher Gang der Grundwasser-Niveau-Flächen im
Querschnitts-Profil C I (Mitt. I, Abb. 1) am Süd-Hang
des Kreide-Ton-Rückens zwischen Borsum und Hönnersum
(stark überhöht)

Abszissen : Meter-Abstände der Meßpunkte und Meßpunkt-Indizes

Ordinate links : cm-Tiefen unter der Oberfläche

Ordinate rechts : Höhe der Ton-Oberfläche über NN

Horizontal-Schraffur: Ton-Untergrund

Vertikal-Schraffur: Solifluidal verknietete Grundmoränen-Reste.

Darstellung der drei Bilanz-Jahre, jeweils beginnend mit dem
1. Oktober.

I Winter-Halbjahr : 1. Oktober bis 31. März

Linie 1 : Oktober

Linie 2 : November

Linie 3 : Dezember

Linie 4 : Januar

Linie 5 : Februar

Linie 6 : März

II 1. Sommer-Quartal : 1. April bis 30. Juni

Linie 1 u. 2 : April

Linie 3 u. 4 : Mai

Linie 5 u. 6 : Juni

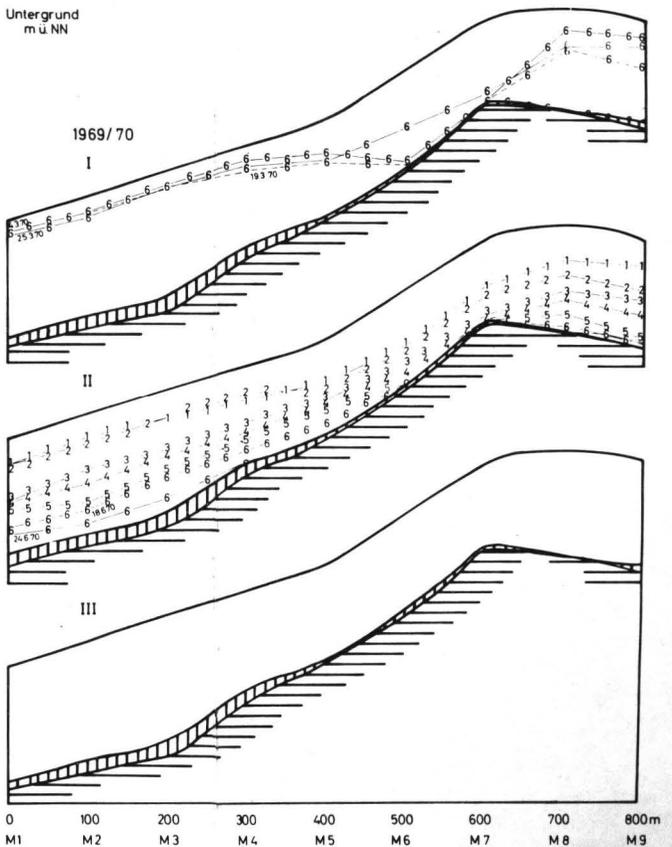
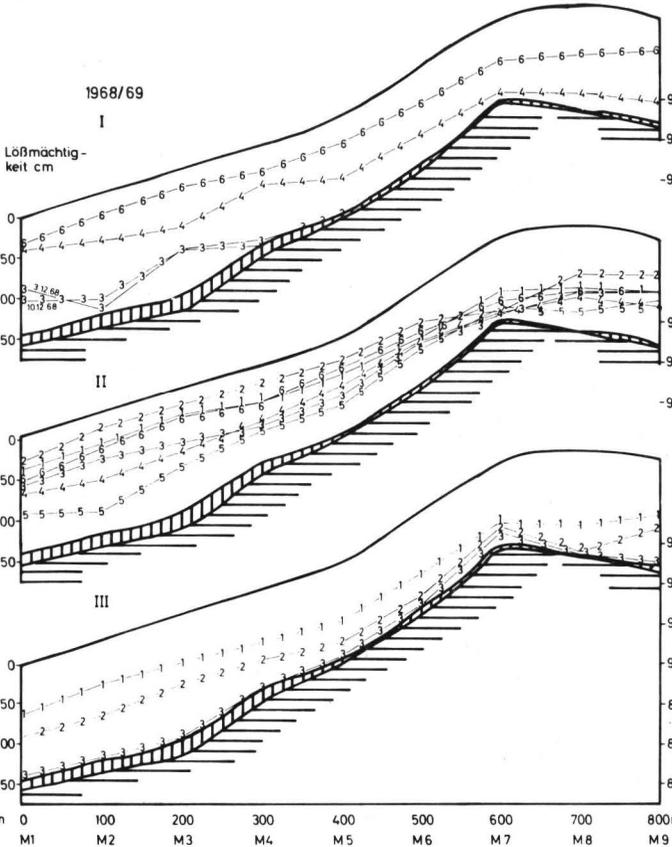
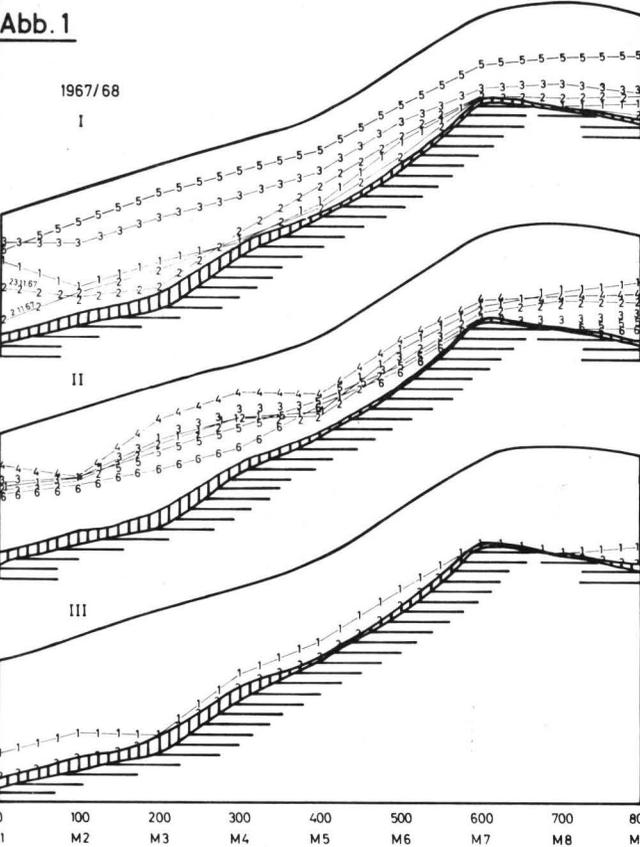
III 2. Sommer-Quartal : 1. Juli bis 30. September

Linie 1 u. 2 : Juli

Linie 3 u. 4 : August

Linie 5 u. 6 : September

Abb. 1



Es ist dies ein wichtiger Umstand, der bei der Wahl und Anlage von Meßpunkten für die Gebiets-Wasser-Bilanz in verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen unbedingt berücksichtigt werden muß. Fixe Meßpunkte können insofern ein falsches Bild erzeugen, als sie bei rotierenden Anbaufrüchten nicht in jedem Jahr einen repräsentativen hydrologischen Querschnitt durch die ackerbaulich genutzte Gesamt-Fläche liefern.

Abb. 2 gibt in entsprechender Weise das Querschnitts-Profil C III wieder, das am Nordhang desselben Kreide-Ton-Hügel-Rückens in einer flachen um ca. 1 % geneigten Hang-Mulde verläuft (Mitt. I Abb. 3). In dieser ackerbaulich genutzten Mulde treten unzusammenhängende geringmächtige Sand-Lagen zwischen Ton-Sohle und Löß-Decke auf. Sie können nach visuellen Beobachtungen stellenweise eine schwach dränende Wirkung haben, leiten jedoch das Sickerwasser jeweils nur über eine kurze Strecke und lassen es dann wieder in den Löß einstauen, so daß sie praktisch nur den hydrostatischen Niveau-Ausgleich beschleunigen. Dies wird in Abb. 2 durch die Grundwasser-Niveau-Differenzen im Bereich der mittleren, etwas stärkeren Sand-Rinnen-Füllung verdeutlicht : Hangaufwärts ist eine Erniedrigung, hangabwärts eine Anhebung des Grundwasser-Niveaus und der Bodenwasser-Vorräte zu verzeichnen. Damit steht die in Mitt. I, Abb. 3, dargestellte Erscheinung in Zusammenhang, daß unterhalb der Sand-Mulde durch die verstärkte laterale Kalkzufuhr die Ausbildung von Kalk-Konkretions-Horizonten gefördert wird.

Zu betonen ist jedoch, daß die Drän-Wirkung der Sand-Rinnen hier außerordentlich schwach ist, und daß damit die Dauer und die Höhe des Grundwasser-Anstaus in der Löß-Decke nur unwesentlich verändert werden. Somit treten auch - abgesehen von der Differenzierung im Kalk-Gehalt des oberen Profil-Abschnittes und der Intensität der Marmorierung keine weiteren pedogenetischen Differenzierungen in der Feucht-Schwarzerde-Decke auf.

Wenn es im Winter-Halbjaar 1968/69 während des Winters im oberen Bereich der Plateau-Mulde (Abb. 2, Mitte, oben rechts) nicht zur Ausbildung eines Grundwasser-Spiegels kommt und erst in der zweiten April-Hälfte wieder Grundwasser entsteht, so liegt das wieder an der vorkergangenen Bedeckung mit Zucker-Rüben.

In den anderen, hier nicht dargestellten Querschnitten des Feucht-Schwarzerde-Areals zeigen die Grundwasser-Ganglinien eine ähnliche jahreszeitliche Oszillation. Als Fazit mag gelten, daß sich die pedo-morphologische Einheitlichkeit dieses Gebietes zumindest schon in der Einheitlichkeit der Grundwasser-Dynamik widerspiegelt. Da auf dem Grundwasser-Gang unter den gegebenen hydrostratigraphischen Bedingungen auch der Gang des Gesamt-Bodenwasser-Vorrates aufbaut, ist damit zu rechnen, daß auch die Vorrats-Wasser-Oszillation in diesem Gebiet nur geringe und im wesentlichen nur vom Vegetations-Mosaik abhängige lokale Differenzierungen aufweist.

2.2 FEUCHT-SCHWARZERDE/GRISERDE-LANDSCHAFTS-AUSSCHNITT Algermissen (Areal B)

Abb. 3 stellt den Grundwasser-Gang im Haupt-Querschnitts-Profil C VI des Feucht-Schwarzerde/Griserde-Areals bei Algermissen dar. In Mitt. I, Abb. 8, ist die Toposequenz der in diesem Profil enthaltenen Bodentypen dargestellt. Über den schräg zur Gefälle-Linie des Hanges dränenden Sandrinnen finden sich im Oberhang Griserden, die bis auf die Basis der Löß-Decke entkalkt sind. Im Mittelhang-Bereich steigt die Entkalkungs-Grenze an. In dieser Zone geht die Griserde kontinuierlich in die Feucht-Schwarzerde über. Die Hang-Fuß-Zone und die im Norden anschließende Senke werden wie im Areal A von einer geschlossenen Löß-Feuchtschwarzerde-Decke eingenommen.

Die Anordnung der Griserde in dieser Landschaft und ihre Beschränkung auf Oberhang- und Plateau-Lagen steht offensichtlich mit der hier - im Gegensatz zur Feucht-Schwarzerde-Landschaft - gegebenen Untergrund-Entwässerung der Löß-Decke in Zusammenhang.

Abb. 2 : Feucht-Schwarzerde Areal A
Zeitlicher Gang der Grundwasser-Niveau-Flächen im
Querschnitts-Profil C III (Mitt. I, Abb. 3) am Nordhang
des Kreide-Ton-Rückens zwischen Borsum und Hönnersum
(stark überhöht)

Abzissen: Meter-Abstände der Meßpunkte und Meßpunkt-Indices
Ordinate links : cm-Tiefen unter der Oberfläche
Ordinate rechts : Höhe der Ton-Oberfläche über NN
Horizontal-Schraffur : Ton-Untergrund
Vertikal-Schraffur: Solifluidal verknietete Grundmoränen-Reste
Punktierte Fläche : Sand-Rinnen

Darstellung der drei Bilanz-Jahre, jeweils beginnend mit dem
1. Oktober.

I Winter-Halbjahr : 1. Oktober bis 31. März

Linie 1 : Oktober
Linie 2 : November
Linie 3 : Dezember
Linie 4 : Januar
Linie 5 : Februar
Linie 6 : März

II 1. Sommer-Quartal : 1. April bis 30. Juni

Linie 1 u. 2 : April
Linie 3 u. 4 : Mai
Linie 5 u. 6 : Juni

III 2. Sommer-Quartal : 1. Juli bis 30. September

Linie 1 u. 2 : Juli
Linie 3 u. 4 : August
Linie 5 u. 6 : September

Abb. 2

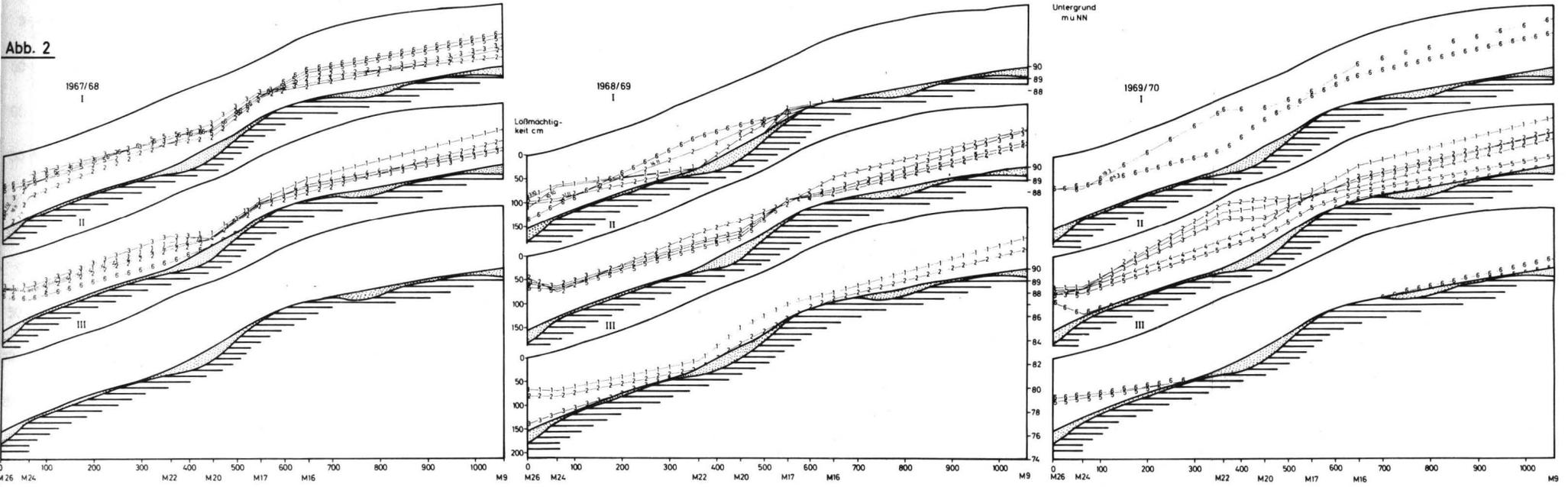


Abb. 3 : Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft, Areal B

Zeitlicher Gang der Grundwasser-Niveau-Flächen im
Querschnitts-Profil C VI (Mitt. I, Abb. 8) am
Nordhang des Galgenberges südlich von Algermissen
(stark überhöht)

Abzulesen : Meter-Abstände der Meßpunkte und Meßpunkt-Indices

Ordinate links : cm-Tiefen unter der Oberfläche

Ordinate rechts : Höhe der Ton-Oberfläche über NN

Horizontal-Schraffur : Ton-Untergrund

Vertikal-Schraffur : Solifluidal verknietete Grundmoräne-Reste

Punktierte Fläche : Sand-Rinnen

Darstellung der drei Bilanz-Jahre, jeweils beginnend mit dem
1. Oktober.

I Winter-Halbjahr : 1. Oktober bis 31. März

Linie 1 : Oktober

Linie 2 : November

Linie 3 : Dezember

Linie 4 : Januar

Linie 5 : Februar

Linie 6 : März

II 1. Sommer-Quartal : 1. April bis 30. Juni

Linie 1 u. 2 : April

Linie 3 u. 4 : Mai

Linie 5 u. 6 : Juni

III 2. Sommer-Quartal : 1. Juli bis 30. September

Linie 1 u. 2 : Juli

Linie 3 u. 4 : August

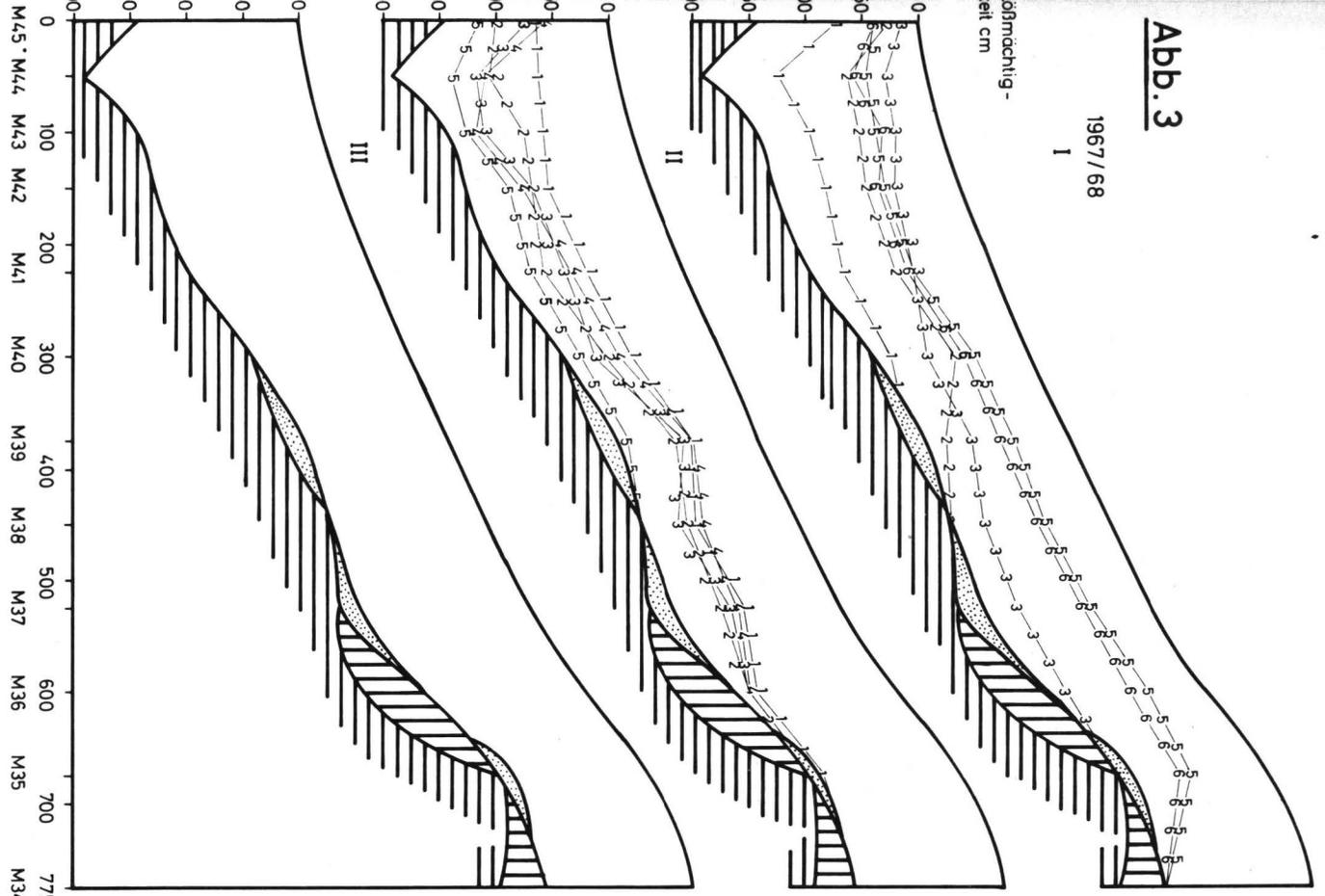
Linie 5 u. 6 : September

Abb. 3

1967/68

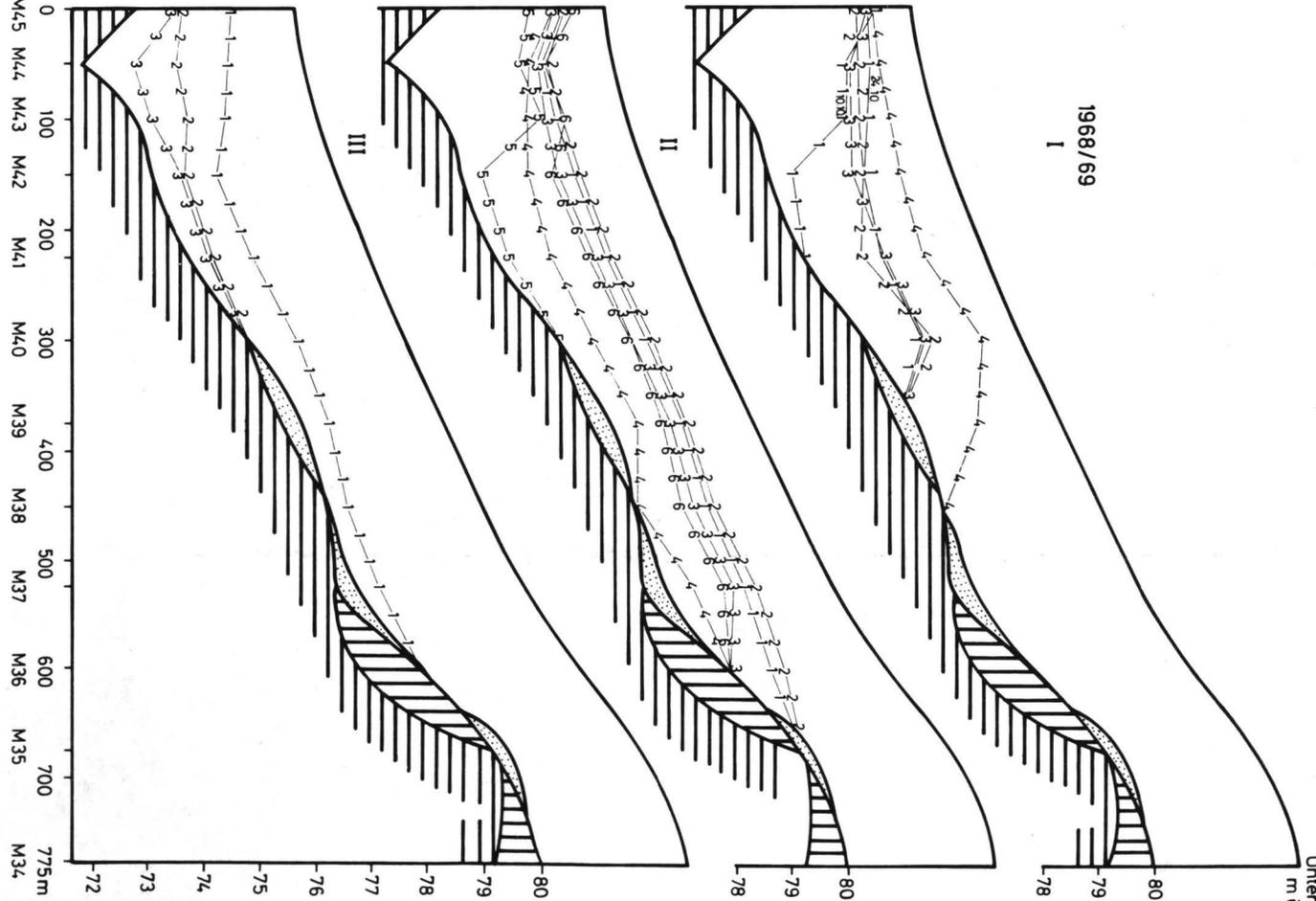
I

Abmächting-
zeit cm



1968/69

I



Dies macht Abb. 3 deutlich : Nur in den beiden oberen Sand-Rinnen kann unter der Löß-Decke ein im spitzen Winkel zur Hanglinie auf den Betrachter zu gerichteter Wasser-Abzug erfolgen. Dieser ist jedoch nicht besonders stark. Ob sich über den Sand-Körpern ein winterlicher Grundwasser-Spiegel auszubilden vermag, hängt von der Relation zwischen der Niederschlagsintensität in den Winter-Monaten und der gegebenen Abfluß-Intensität ab. Zieht man das in Mitt. III, Abb. 2, dargestellte Klimatogramm zum Vergleich heran, so reichen im Winter 1967/68 nach einem annähernd normalen zweiten Sommer-Quartal die überhöhten November- und Dezember-Niederschläge aus, um selbst im Oberhang-Bereich einen Grundwasser-Spiegel entstehen zu lassen. Im zuerst trockenem und dann niederschlags-normalen Winter-Halbjahr 1968/1969 kommt es dagegen im Oberhang-Bereich nicht zu einer Grundwasser-Bildung. Diese setzt erst mit den hohen Niederschlags-Intensitäten im April ein.

Lediglich die obersten Hang-Abschnitte im Übergang zum Plateau-Bereich bleiben stets frei von Grundwasser. Hier sind die bis zur Löß-Basis entkalkten Griserden verbreitet.

Im Gegensatz zur reinen Feucht-Schwarzerde-Landschaft zeigt die Feucht-Schwarzerde/Griserde-Landschaft bei einem ähnlichen stratigraphischen Aufbau folgende reliefbedingte Differenzierung: Im Senken- und Unterhang-Bereich (Feucht-Schwarzerde-Zone) herrscht die gleiche saisonale Grundwasser-Amplitude wie in der reinen Feucht-Schwarzerde-Landschaft, jedoch mit einem geringen oberflächennahen Zuzug von ungespanntem Wasser aus dem Oberhang-Bereich während der Wintermonate. Zum Mittelhang-Bereich hin (vergriste Schwarzerde-, Gris-Schwarzerde-Zone) und zum Oberhang- und Plateau-Bereich hin (Griserde-Zone) nehmen zunächst die Dauer des winterlichen Grundwasser-Einstaus und auch die Amplituden-Höhe der Grundwasser-Ganglinien kontinuierlich ab, bis schließlich überhaupt kein Grundwasser-Einstau in die Löß-Decke mehr stattfindet.

3 PEDO - HYDROGRAMME der BODEN - TYPEN
und VEGETATIONS - STANDORTE

In Mitt. II (2) wurden die 54 Meßpunkte beider Bilanz-Areale nach bodentypologischen und vegetationsmäßigen Gesichtspunkten zusammengefaßt:

1. Feucht-Schwarzerde, Acker, 38 Meßpunkte
2. Feucht-Schwarzerde, Wald , 5 Meßpunkte
3. vergriste Feucht-Schwarzerde, Acker, 6 Meßpunkte
4. Feuchte- Braune Gris-Schwarzerde, Acker, 3 Meßpunkte
5. Griserde, Acker, 2 Meßpunkte

Für jede dieser Gruppen ließ sich ein charakteristisches, mit den pedomorphologischen Kriterien korrespondierendes Poren-Verteilungs-Diagramm angeben. Mit diesen Diagrammen wird im folgenden weiter operiert. Wir verzichten jedoch auf die Darstellung des Übergangstyps 3 und nehmen dafür als weitere Variante die Acker-Feucht-Schwarzerde unter Zuckerrüben auf. Dies geschieht aus folgendem Grund: Schon Mitt. III (Gebiets-Wasser-Bilanz) hatte gezeigt, daß Zuckerrüben bei gleicher Poren-Verteilung des Bodens einen erheblich größeren Anspruch im Laufe des Sommer-Halbjahres an das Boden-Vorrats-Wasser stellen als die Getreide-Flächen. Sie stehen damit im Hinblick auf den Wasser-Bilanz-Typus zwischen den Getreide- und den Wald-Flächen. Gleiches bestätigte sich auch bei der Betrachtung der lokalen Grundwasser-Oszillation.

Abb. 4 : Vereinfachte Poren-Verteilungs-Diagramme mit Äquivalent-Saugspannungs-Grenzen und Vorrats-Wasser-Schwankungsbereichen verschiedener Boden/Standorts-Einheiten

Enge Schraffur : Für das Normal-Jahr kalkulierter Schwankungsbereich

Weite Schraffur : Im Beobachtungs-Zeitraum (drei Bilanzjahre) konstatierte Maximalschwankungen

obere Reihe :

Feucht-Schwarzerde unter Acker (Rotations-Durchschnitt)

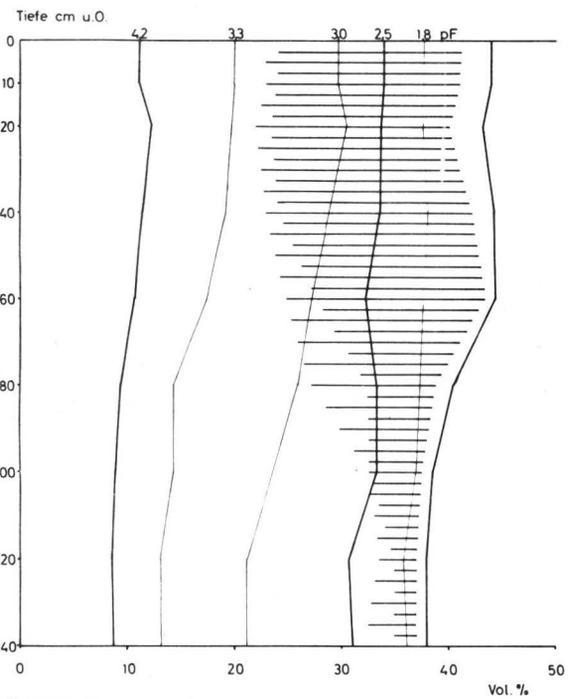
Feucht-Schwarzerde unter Zuckerrüben

Feucht-Schwarzerde unter Laub-Hochwald

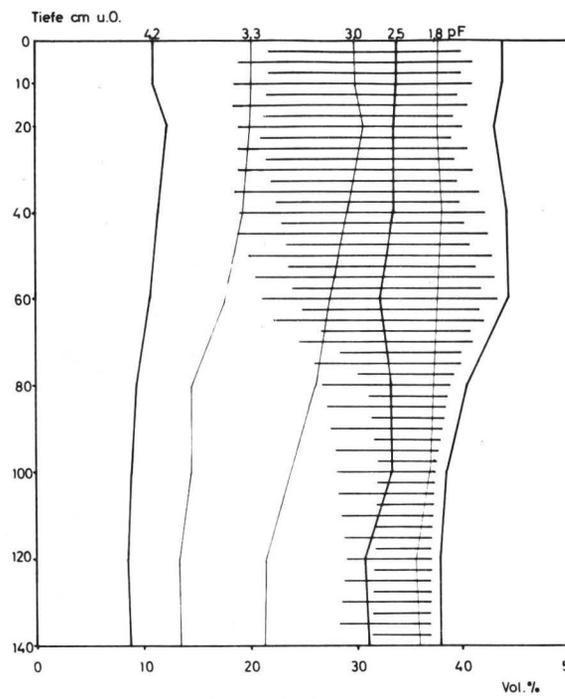
untere Reihe :

Feuchte bis Braune Gris-Schwarzerde unter Acker

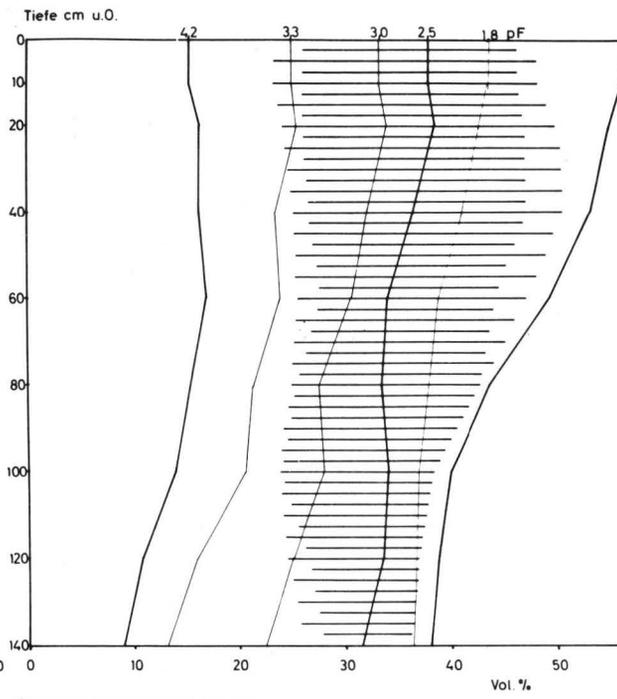
Griserde unter Acker



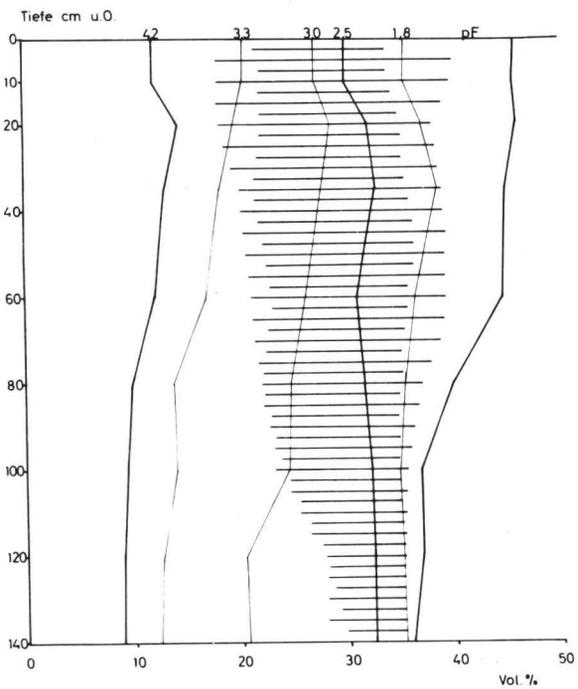
a) FEUCHT-SCHWARZERDE (Acker)



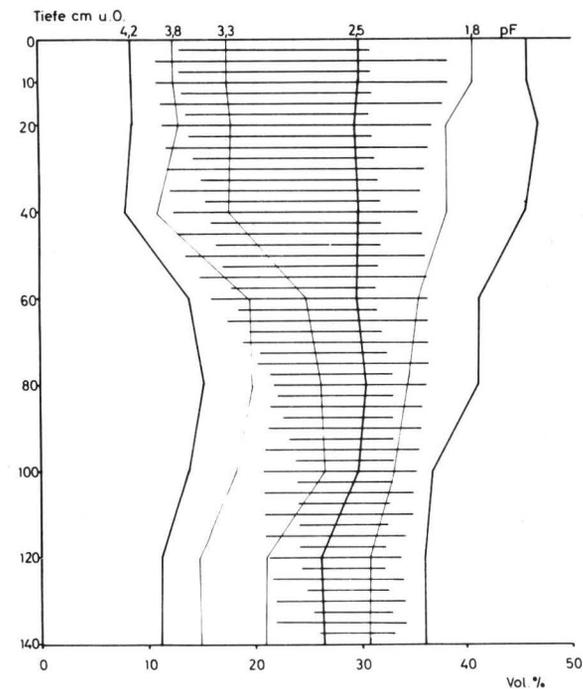
b) FEUCHT-SCHWARZERDE (Zucker-Rüben)



c) FEUCHT-SCHWARZERDE (Wald)



d) FEUCHTE-BRAUNE GRIS-SCHWARZERDE (Acker)



e) GRISERDE (Acker)

Abb. 4

Tab. 1:

| TYP | Normal-Jahr | aSK | | natürliches SÄTTIGUNGS - MAXIMUM | | | | natürliches AUSSCHÖPFUNGS-MINIMUM | | | | DIFFERENZ - BETRAG | | | |
|----------------------------------|-------------|------------------|--------|----------------------------------|--------|---------------|--------|-----------------------------------|--------|---------------|--------|--------------------|--------|---------|--------|
| | | l/m ² | | Defizit l/m ² | | Defizit % aSK | | Defizit l/m ² | | Defizit % aSK | | l/m ² | | % aSK | |
| | | Beob.-Zeit-R. | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm | 0-140cm | 0-80cm |
| FEUCHTSCHWARZERDE ACKER Ø | N | 439 | 260 | 25 | 17 | 5,7 | 6,5 | 160 | 135 | 36,3 | 51,9 | 135 | 118 | 30,8 | 45,4 |
| | | | 179 | | | | 8 | | | | 4,5 | | | | 25 |
| | B | 439 | 260 | 25 | 17 | 5,7 | 6,5 | 200 | 160 | 45,5 | 61,5 | 175 | 143 | 39,9 | 55,0 |
| | | | 179 | | | | 8 | | | | 4,5 | | | | 40 |
| FEUCHTSCHWARZERDE ZUCKERRÜBEN | N | 439 | 260 | 40 | 32 | 9,1 | 12,3 | 190 | 150 | 43,2 | 57,6 | 150 | 118 | 34,2 | 45,4 |
| | | | 179 | | | | 8 | | | | 4,5 | | | | 40 |
| | B | 439 | 260 | 25 | 17 | 5,7 | 6,5 | 250 | 185 | 56,9 | 71,1 | 225 | 168 | 51,2 | 64,6 |
| | | | 179 | | | | 8 | | | | 4,5 | | | | 65 |
| FEUCHTSCHWARZERDE WALD | N | 446 | 282 | 60 | 49 | 13,4 | 17,4 | 280 | 195 | 62,7 | 69,1 | 220 | 146 | 49,3 | 51,7 |
| | | | 164 | | | | 11 | | | | 6,7 | | | | 85 |
| | B | 446 | 282 | 36 | 25 | 8,1 | 8,9 | 305 | 210 | 68,3 | 74,4 | 269 | 185 | 60,3 | 65,6 |
| | | | 164 | | | | 11 | | | | 6,7 | | | | 95 |
| GRIS-SCHWARZERDE ACKER Ø | N | 423 | 257 | 110 | 98 | 26,0 | 38,1 | 240 | 175 | 56,7 | 68,1 | 130 | 77 | 30,7 | 29,9 |
| | | | 166 | | | | 12 | | | | 7,2 | | | | 65 |
| | B | 423 | 257 | 58 | 47 | 13,7 | 18,2 | 260 | 190 | 61,5 | 73,9 | 202 | 143 | 47,7 | 55,6 |
| | | | 166 | | | | 11 | | | | 6,6 | | | | 70 |
| GRÜSE RDE ACKER Ø | N | 415 | 269 | 140 | 113 | 33,7 | 42,0 | 270 | 183 | 65,1 | 68,0 | 130 | 74 | 31,3 | 27,5 |
| | | | 146 | | | | 27 | | | | 18,5 | | | | 83 |
| | B | 415 | 269 | 75 | 60 | 18,1 | 22,3 | 345 | 250 | 83,1 | 92,9 | 270 | 190 | 65,0 | 70,6 |
| | | | 146 | | | | 15 | | | | 10,2 | | | | 95 |

3.1 VORRATSDIAGRAMME

Abb. 4 bringt noch einmal, allerdings in vereinfachter Form, die in Mitt. II dargestellten Poren-Verteilungs-Diagramme folgender Kartierungseinheiten:

obere Reihe: Feuchtschwarzerden (Acker, Mittelwert - Acker, Zuckerrüben - Laubwald)

untere Reihe: Feuchte → Braune Gris-Schwarzerde (Acker), Griserde (Acker)

Durch Horizontal-Schraffur ist derjenige Porenbereich gekennzeichnet, der sich am saisonalen Wasserumsatz beteiligt. Das heißt, die Schraffur markiert die Obergrenze (rechts) bis zu welcher der Porenraum während des Winterhalbjahres mit Wasser angefüllt, und die Untergrenze (links), bis zu der das Bodenwasser während des Sommerhalbjahres ausgeschöpft wird. Dabei zeigt die weite Schraffur die im Meßzeitraum beobachteten Maximal- und Minimalwerte an. Die enge Schraffur dagegen kennzeichnet die Oszillationsbreite für das errechnete Normaljahr. Eine zahlenmäßige Darstellung liefert Tab. 1.

3.1.1 Feuchtschwarzerde unter Acker (Mittelwert der Rotation: 2/3 W-Getreide, 1/3 Zuckerrüben), Typ Ia

Die "aktive" Speicherkapazität, d.h. Gesamtporenraum minus Totwasser-Porenraum ($pF > 4,2$) beträgt bei einer Mächtigkeit von 140 cm für die Löß/Schwarzerde-Decke 439 mm Niederschlagshöhe (Tab. 1).

Aus der Bilanzbetrachtung (Mitt. III) ergab sich: Zu Beginn des Bilanzjahres (1. Okt.) beträgt der Wasservorrat ca. 300 mm. Weil die Intensität der winterlichen Niederschläge größer als die Grabenabflußintensität ist, steigt die winterliche Auffüllung mit intermediär gespeichertem Bodenwasser vorübergehend auf $439-25 = 414$ mm Speicherhöhe an (s.Tab.1).

Die Bilanzbetrachtung für das Sommer-Halbjahr (Mitt. III) zeigt: Bis zum Ende des 1. Quartals (1. Juli) geht der Bodenwasser-Vorrat von 370 auf 300 mm zurück (139 mm Differenz gegenüber aSK). Ausgleich von Niederschlagssumme und Summe ETI (Evapotranspiration und Interception) im 2. Quartal sorgen dafür, daß am Ende des Bilanzjahres (1. Okt.) die Speichermenge von 300 mm nicht überschritten wird. Tab. 1 zeigt, daß dabei jedoch intermediär ein sommerliches Ausschöpfungs-Maximum durchlaufen wird, das im Normaljahr eine aktiv gespeicherte Menge von 279 mm ($439-160$) hinterläßt. Im Beobachtungszeitraum betrug die minimale Speichermenge 239 mm ($439-200$).

Unter allen Ackerflächen, d.h. sowohl unter Wintergetreide als auch unter Brachflächen bei beliebiger Vorfrucht wird die Acker-Feuchtschwarzerde im Winter vorübergehend bis auf einen Rest-Betrag von etwa 6 % der aSK mit Wasser aufgefüllt. Dabei steigt der Spiegel des ungespannten Grundwassers im Mittel der Ackerflächen im Normaljahr bis 50 cm unter die Bodenoberfläche an. Nur die Poren mit Durchmesser $> 300 \mu\text{m}$ ($= pF < 1$) bleiben frei von Wasser.

Im Oberboden oberhalb des Grundwasserspiegels beruht dies darauf, daß in diesen größten Poren aufgrund des Gefälles zu den Gräben bzw. zu den Dräneträngen die Entwässerungsgeschwindigkeit groß genug ist, um es selbst bei Starkregen nicht zu einer vollständigen Aufsättigung kommen zu lassen. Im Unterboden bleiben diese Poren unterhalb des Grundwasserspiegels teilweise mit eingeschlossener Luft gefüllt.

3.1.2 Typ Ib: Feuchtschwarzerde unter Acker (Zuckerrüben)

Nach Zuckerrüben erreicht im Normaljahr der maximale winterliche Wasser-sättigungsgrad nicht ganz die Höhe wie unter Getreide. Das hängt mit dem geringeren Ansteigen des Grundwasserspiegels über das Grabenniveau zusammen. Infolge der stärkeren sommerlichen Beanspruchung des Bodenwasservorrates durch die Zuckerrüben wird der Zeitpunkt, an dem im Winter der Grabenabfluß einsetzt (Januar), später erreicht als unter Getreide (Dezember). Die Geschwindigkeit der Grundwasserspiegel-Hebung und die erreichbare Maximalhöhe hängen von dem Ausgangs-Wasservorrat des Bodens, der Niederschlagsintensität (monatliche Niederschlagshöhe) und dem Abflußwiderstand ab. Letztere Größe wird wiederum vom Vorrat beeinflusst. Vom Januar bis März sinken die Niederschlags-Monatswerte von 53 auf 41 mm. Nimmt man den Durchschnitt der Gesamt-Ackerfläche, so wird die maximale Grundwasserspiegel-Höhe im Februar erreicht (50 cm u.O.), nach Zuckerrüben erst im März mit 60 cm u.O.

3.1.3 Typ II : Feuchtschwarzerde unter Wald

Sie verhält sich im Oberboden ähnlich wie die Feuchtschwarzerde unter Zuckerrüben, erreicht aber wegen ihres hohen Anteils an Grobporen und der starken sommerlichen Beanspruchung des Wasservorrates im Verlauf des Winters geringere Sättigungsgrade als die Acker-Feuchtschwarzerden. Ungefähr 13 % der aSK bleiben belüftet. Ein deutlicher Unterschied zu den Feuchtschwarzerden unter Ackernutzung äußert sich in der hohen Wasserbeanspruchung des Unterbodens.

Im Normaljahr ist mit folgenden Maximal-Äquivalent-Saugspannungen zu rechnen:

| | | pF | | pF |
|---------------------|-------------|-----|------------|---------|
| Acker \varnothing | : Oberboden | 3,2 | Unterboden | 1,8 |
| Zuckerrüben | : " | 3,3 | " | 2,5 |
| Laubwald | : " | 3,3 | " | 2,8-3,0 |

3.1.4 Typ IV : Feuchte→Braune Gris-Schwarzerde (Acker \varnothing)

Typ V : Griserde (Acker \varnothing)

Im Gegensatz zu den Feucht-Schwarzerden mit undurchlässigem Untergrund und daher fehlender Versickerung sind die Typen III bis V durch einen zunehmenden Anteil des Sickerwassers am Wasserumsatz der Böden gekennzeichnet.

Griserde-: Der gut dränende Sand, der die Löß-Decke unterlagert, verhindert im Gegensatz zu den Feucht-Schwarzerden die Entstehung eines Grundwasser-Spiegels im Löß. Im unteren Profil-Abschnitt bleiben daher alle Poren mit Äquivalentdurchmessern größer als 50 μ m wasserfrei. Nach Tab. 1 beträgt im Oberboden die annuelle Vorrats-Normalamplitude nur 60 % der Vorrats-Schwankung im Feuchtschwarzerde-Oberboden. Das liegt daran, daß Porenwasser mit Äquivalentsaugspannungen $pF < 2,2$ relativ schnell nach unten abgeführt und nicht durch Stau gespeichert wird. Die dadurch im Oberboden gegenüber der Feuchtschwarzerde verursachte Verringerung des Frühjahrsvorrates bewirkt im Sommer eine stärkere Austrocknung bis zu Saugspannungen von $pF 3,8$, im Unterboden von $pF 3,5$.

Feuchte bis Braune Gris-Schwarzerde : Auch dieser Typ hat eine Sickerwasserspende, doch nimmt er insofern eine hydrologische Zwischenstellung zwischen der Acker-Feuchtschwarzerde und der Griserde ein, als sich im Winter - wenn auch nur kurzfristig - ein Grundwasserspiegel bis etwa 90 cm u. O. aufbaut. Die Ursache für den behinderten Abfluß ist in der, besonders im Winter, mangelnden Drainage durch die den Löß unterlagernden Sandrinnen zu suchen.

3.1.5 Ackerböden: Vergleich der Vorratsamplituden

Nach Tab. 1 haben alle betrachteten Ackerböden im Schnitt der Rotation - unabhängig vom Wasserhaushaltstyp dem sie angehören - bezogen auf ihre 140 cm mächtige Löß-Decke eine annuelle Vorrats-Normalamplitude von insgesamt 130 mm. Unterschiedlich ist nur die Verteilung dieses Betrages auf Oberboden (0-80 cm) und Unterboden (80-140 cm).

| | | | | | |
|-----------------------------------|---|-----------|--------|------------|-------|
| Feuchtschwarzerden | : | Oberboden | 118 mm | Unterboden | 17 mm |
| Feuchte → Braune Gris-Schwarzerde | : | " | 77 mm | " | 59 mm |
| Griserde | : | " | 74 mm | " | 56 mm |

Die 113 mm Vorratsminderung zwischen Wintermaximum und Sommerminimum im Oberboden der Feuchtschwarzerden enthalten noch einen wesentlichen Anteil an spätwinterlichem Grabenabfluß, während die 74 mm der Griserde hauptsächlich aus der sommerlichen Verdunstung bestehen - abgesehen von einer geringen Sickerwasser-Spende.

Im Unterboden der Feuchtschwarzerden sind die 17 mm Winter-Sommer-Differenz ausschließlich das Resultat der Sommer-Verdunstung, die große Schwankung bei der Griserde (56 mm) dagegen neben der Sommerverdunstung zu wesentlichen Teilen das Ergebnis der fortschreitenden Sommer-Ver-sickerung.

Eine Gesamt-Differenz von 130 mm Speicherwasser zwischen winterlichem Sättigungemaximum und sommerlicher Ausschöpfung kann nach Aussagen von HASE et al. (7) annäherungsweise auch für Parabraunerden aus tiefgründigen Lössen angesetzt werden.

Auf dem Weg vom Wintermaximum zum Sommerminimum sind danach für beackerte Lößböden größenordnungsmäßig von 130 mm

70 mm Wasserverlust der Evaporation

60 mm Wasserverlust der Versickerung bei stausohlenfreien

Lößprofilen, bzw. dem Drän- und Grabenabfluß bei den

Feuchtschwarzerden.

zuzuordnen.

3.1.6 Maximal- und Normalamplitude

Die im Beobachtungszeitraum gemessenen Abweichungen von den für das Normaljahr errechneten Werten sind bei den einzelnen Bodentypen unterschiedlich.

Die Speicherwassermenge zur Zeit des winterlichen Sättigungsmaximums variiert bei den Feuchtschwarzerden - in Abhängigkeit von der tatsächlichen Niederschlagsintensität - weniger als bei den Gris-Schwarzerden und Griserden.

Abweichungen vom Normal-Maximum kommen in erster Linie in zu feuchten Wintern zustande. Dadurch bedingte Niederschlagsüberschüsse werden offenbar bei den Feuchtschwarzerden durch den Drän- und Graben-Abfluß schneller beseitigt als es der Sickerwasserstrom in den Griserden zu bewerkstelligen vermag.

Die Abweichungen vom sommerlichen Normal-Minimum sind bei den Feuchtschwarzerden, die immer etwa den gleichen winterlichen Ausgangs-Wassergehalt aufweisen, gering. Zuckerrüben in trockenen Sommern können jedoch stärkere Erhöhungen des Ausschöpfungs-Maximums bewirken als der Wald.

Bei den Griserden sind die im Beobachtungszeitraum ermittelten Abweichungen des sommerlichen Vorrats-Minimums vom Normal-Jahr sehr groß. Starke Abweichungen beim winterlichen Sättigungsmaximum addieren sich zu den Differenzen der sommerlichen Evapotranspiration, besonders bei Zuckerrüben. Die für die Griserde im trockenen Sommer 1969 gemessenen Vorrateminima (Tab. 1 letzte Spalte) weichen von den Normal-Minima so stark ab, weil sie nicht den Rotationsquerschnitt repräsentieren, sondern nur unter Zuckerrüben ermittelt wurden.

3.2 PEDOHYDROGRAMME

In Abb. 5 wird der Versuch unternommen, den kalkulatorischen normalen Jahresablauf des Wasser- und Luftfüllungs-Zustandes des Bodenraumes in Form sog. "Pedohydrogramme" darzustellen. Dazu sind 1.) die Flächen gleichen Luftfüllungszustandes (Luft-Chronoisopleten, Angaben in Volumen-Anteilen luftgefüllter Poren, bezogen auf das Gesamt-Bodenvolumen) angegeben. Die %-Angaben stellen gleichzeitig das Wassersättigungs-Defizit in mm Wasserhöhe je 10 cm Bodenschicht gegenüber vollständiger Wassersättigung dar. Unter der Monatsabzisse finden sich 2.) in mm Wasser-

höhe die jeweiligen Monats-Wasser-Defizit-Beträge der 140-cm-Boden-decke gegenüber dem Zustand vollständiger Wassersättigung. Ferner sind 3.) die Ganglinien des Grundwasserspiegels angegeben. Da 2.) und 3.) bereits im Abschnitt 3.1 besprochen wurden, sollen hier nur die Luft-Chronoisopleten-Diagramme besprochen werden.

3.2.1 Unterböden (80 - 140 cm), Feuchteamplitude und morphologische Merkmale

Im Durchschnitt der Ackerflächen dringt in den Unterböden der Feuchtschwarzerde im Zuge der sommerlichen Evapotranspiration Luft ein, und zwar nicht mehr als 2 - 3 Vol% an der Basis und 6 - 7 Vol% in 80 cm Tiefe. Die stärker transpirierenden Rüben durchlüften den Unterboden stärker: 6 - 7 Vol% bzw. 8 - 9 Vol% Luft. Der Belüftungs-Grad reicht jedoch nicht an den unter Laub-Hochwald heran, der im Sommer im Unterboden 12 - 13 bzw. 20 - 21 Vol% luftgefüllte Poren aufweist. Im Winter ist unterhalb des Grundwassers, dessen maximale Spiegelhöhe vom Acker \varnothing über Zuckerrüben zum Wald sinkt, eine fast vollständige Wasserfüllung der Poren gegeben. Allerdings treten beim Acker unterhalb des Grundwasserspiegels Zonen mit eingeschlossener Luft auf, die bis zu 3 Vol % einnehmen kann.

Es handelt sich um bestimmte obere Abschnitte des CCa-Horizontes, die im Sommer soweit entwässern, daß sie etwa 6 - 9 Vol % Luft aufnehmen. Die Abhängigkeit des Lufteinschlusses unter dem steigenden Grundwasserspiegel vom vorausgegangenen Austrocknungs-Zustand wird besonders beim Wald deutlich. Nach einer sommerlichen Luftfüllung von 12 - 19 Vol % bleiben unter dem winterlichen Grundwasserspiegel durchweg bis zu 3 % Luft eingeschlossen. In allen drei Pedohydrotypen finden sich jedoch dicht unter dem Grundwasserspiegel, wenn dieser zur Zeit des winterlichen Sättigungmaximums den unteren A-Horizont erreicht, wieder Zonen mit fast vollständiger Sättigung. Es handelt sich dabei um denjenigen Horizont-Abschnitt, in dem aufgrund seines Reichtums an Grobporen bevorzugt die laterale Grundwasser-Bewegung zum Entwässerungssystem erfolgt. Dadurch scheint die eingeschlossene Luft verdrängt zu werden.

Die Dauer des Grundwasser-Einstaus ist ein unbefriedigendes Maß für den Befeuchtungs-Austrocknungs-Rhythmus des Unterbodens. Gibt man stattdessen die Luftfüllungs-Grade an, so ergibt sich:

Jährliche Dauer bestimmter Luftfüllungs-Grade bzw.

Wassersättigungs-Defizite in den Unterböden der Feuchtschwarzerden

Zahl der Monate mit Luftfüllung

| | > 3 Vol% | | > 6 Vol% | | > 8 Vol% | |
|----------------------------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 80 cm | 140 cm | 80 cm | 140 cm | 80 cm | 140 cm |
| Feuchtschwarzerde Acker Ø | 7,0 | 0 | 5,5 | 0 | 1,5 | 0 |
| Feuchtschwarzerde Z.-Rüben | 7,5 | 1,5 | 6 | 1 | 3,5 | 0 |
| Feuchtschwarzerde Wald | 11 | 6,5 | 10,5 | 5,5 | 9 | 5,5 |

Die vegetationsbedingten Unterschiede in der Länge der Wassersättigungs-Phasen des Unterbodens sind beachtlich. Trotz der Tatsache aber, daß diese Unterschiede im hydrologischen Verhalten schon über Jahrhunderte hinweg bestehen, geben die bodenmorphologischen Merkmale noch keinen Hinweis auf standörtliche Unterschiede. Vegetationsbedingte Intensitätsunterschiede in der Marmorierung der carbonathaltigen C-Horizonte sind nicht vorhanden, blaugraue Reduktionszonen fehlen. Zur Erklärung dieses Fehlens bodenmorphologischer Zeiger für derartig starke vegetationsbedingte hydrologische Unterschiede im Unterboden mag der Umstand genannt sein, daß in dieser Tiefe bei dem herrschenden Profilaufbau kaum mit der Anwesenheit oder Infiltration reduzierender organischer Komponenten zu rechnen ist und der betrachtete, insgesamt recht dichte Unterboden nur wenig durchwurzelt wird. Die im Jahreslauf wechselnde Durchlüftungsintensität und das auch in der Phase des Grundwasseranstaus eingeschlossene Luftvolumen mag ausreichend sein, um stärkere Reduktionsphänomene des Fe zu unterbinden.

Die mangelnde Durchwurzlung des Unterbodens läßt darauf schließen, daß seine sommerliche Entwässerung nach oben hauptsächlich durch kapillares Nachströmen des Wassers von unten in die Hauptentnahme-horizonte erfolgt.

Stellt man die Pedohydrogramme der drei Ackerböden 5a, 5d und 5e, die jeweils das Durchschnitte-Normal-Diagramm für den Acker darstellen,

Abb. 5 : Chronoisoplethen-Darstellung des luftgefüllten Porenraumes
in Vol % des Gesamtbodens
= Wasser-Sättigungsdefizit (volle Sättigung - tatsächliche
Sättigung) in mm, bezogen auf 10 cm Boden-Mächtigkeit

Die Zahlen unter der Monats-Leiste geben die Profil-Summe des Wasser-
Sättigungsdefizits an.

obere Reihe:

Feucht-Schwarzerde unter Acker (Rotations-Durchschnitt)

Feucht-Schwarzerde unter Zuckerrüben

Feucht-Schwarzerde unter Laub-Hochwald

untere Reihe:

Feuchte bis Braune Gris-Schwarzerde unter Acker
(Rotations-Durchschnitt)

Griserde unter Acker (Rotations-Durchschnitt)

Tiefe cm u.O.

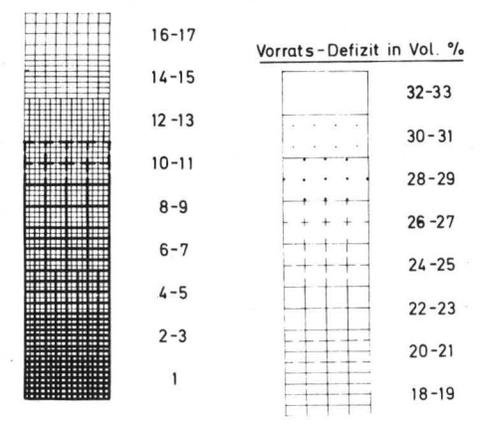
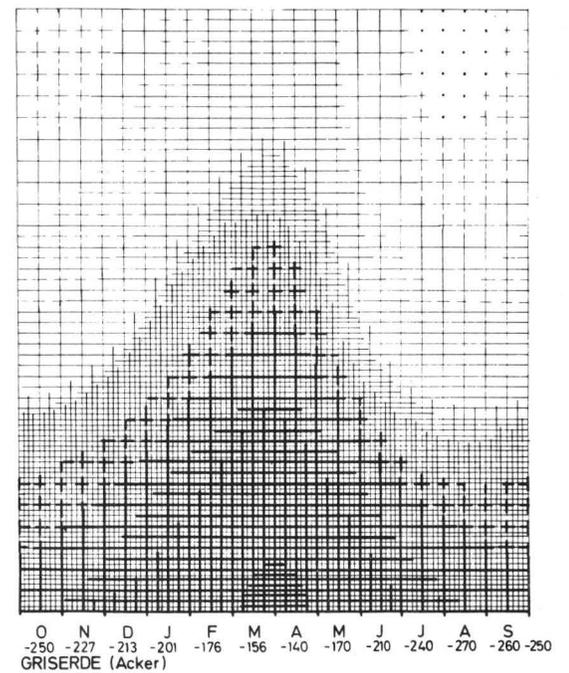
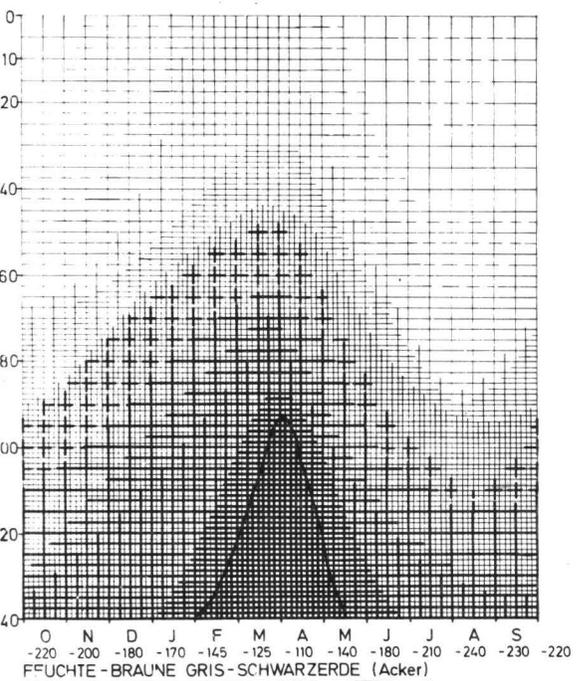
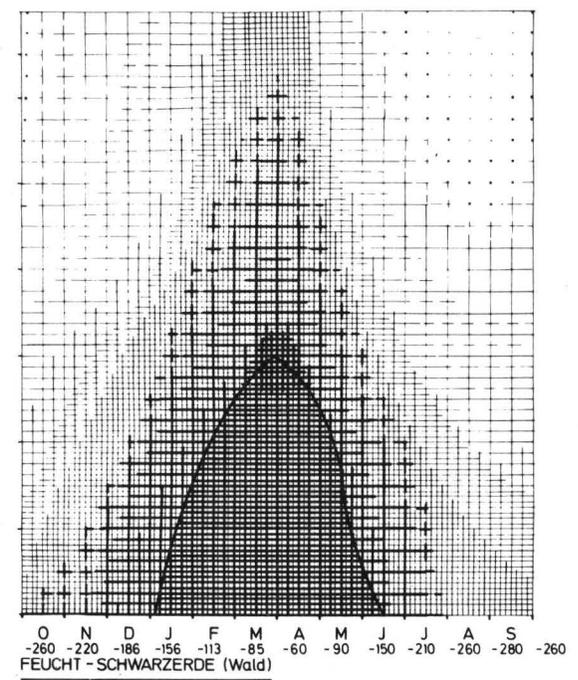
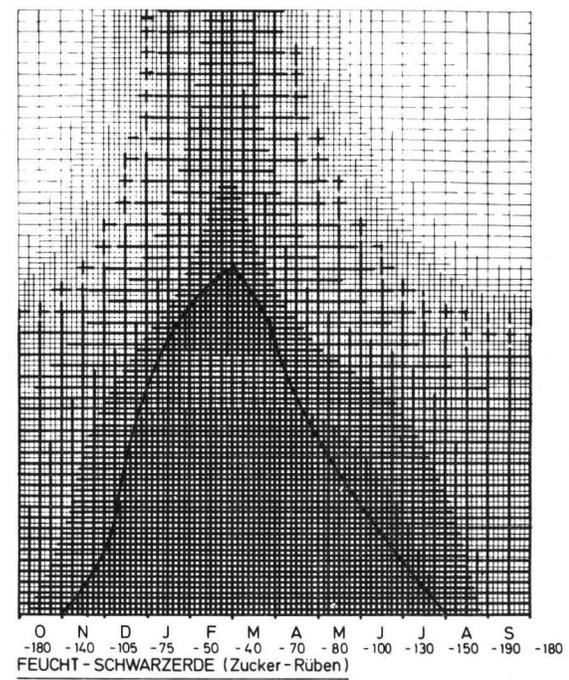
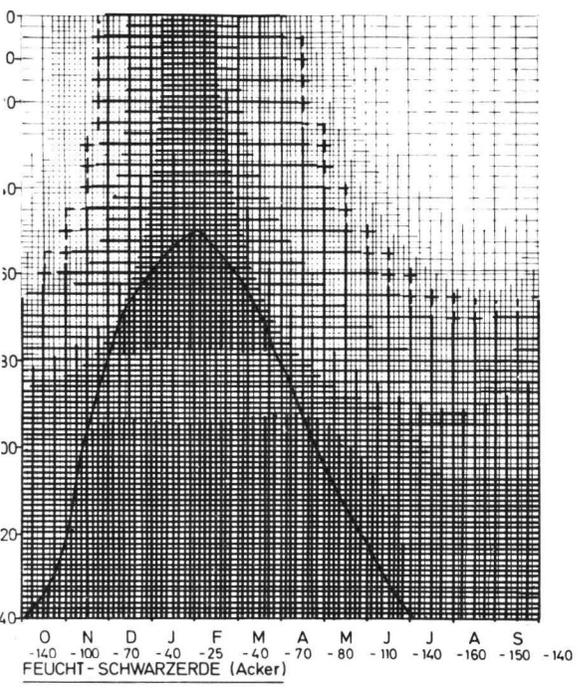


Abb. 5

in eine Reihe, so ergibt sich für den Unterboden eine Sequenz mit abnehmender Länge der Feuchtphasen. Allerdings erreicht der am besten durchlüftete Typ, die Griserde (5e) nicht den sommerlichen Austrocknungsgrad der Feuchtschwarzerde unter Wald. In der Ackerbodenreihe Feuchtschwarzerde → Griserde nimmt die Intensität der ohnehin schwachen Marmorierungserscheinungen, insbesondere der Anteil an weißlichen Reduktionsflecken, nicht so sehr der Anteil an Rostflecken, ab.

Leider kann nur eine Sequenz für die drei Bodentypen unter Ackernutzung dargestellt werden. Für den Wald fehlen die Vergleichsmöglichkeiten. Wenn sich aber bei den Feuchtschwarzerden zeigt, daß die Böden durch die anthropogene Waldbeseitigung erheblich feuchter geworden sind, so ist auch für die Feuchte → Braune Gris-Schwarzerde wie auch für die Griserden anzunehmen, daß die Pedohydrogramme für Waldstandorte wesentlich stärkere sommerliche Austrocknungsgrade erreichen als das unter dem Feuchtschwarzerde-Wald der Fall ist.

Es scheint, daß bei den Feucht-Schwarzerden die anthropogene Umwandlung des Waldes in Acker (mit Rübenbau und Drainage) zwar eine erhebliche Veränderung der Pedohydrogramme, aber - trotz der relativ langen Wirkungsdauer - keine wesentliche Änderung der morphologischen Merkmale des Unterbodens ausgelöst hat. Das kann wohl auch für die dränierten Pedohydrotypen 5d und 5e angenommen werden, denn die entsprechenden heutigen, außerhalb des engeren Untersuchungsgebietes unter Wald liegenden Bodentypen weisen eine etwa gleich starke Marmorierung auf.

3.2.2 Oberböden (0 - 80 cm)

Die recht starken heutigen morphologischen und analytischen Unterschiede der Oberböden (0 - 80 cm) dürfen weniger mit den jahreszeitlichen Wasser-Luft-Gehaltsschwankungen als mit den Auswaschungsvorgängen innerhalb des Oberbodens und vom Oberboden in den Unterboden zusammenhängen. Sie werden deshalb in einem besonderen Absatz (3.2.3) behandelt.

Biologische Untersuchungen, die eventuelle Zusammenhänge mit dem Feuchtegang aufzeigen könnten, wurden nicht durchgeführt.

Eine Übersicht über den Gang der Durchlüftung bzw. des Sättigungsdefizits gibt Tab. 3.

Tab. 3 : Oberböden der Pedohydrotypen : Luftgehalte (Vol % d.Ges.Bod.) bzw. Wassersättigungsdefizite (gegenüber Totalsättigung, in mm Wasserhöhe je 10 cm Bodenschicht) in der Periode Nov.-April (I,II,III) und während des sommerlichen Wasser-Auschöpfungs-Maximums (IV)

| A-Hor. | FEUCHT-SCHWARZERDE | | | | FEUCHTE - BRAUNE GRIS-SCHWARZERDE | | | | GRISERDE | | | | FEUCHTE SCHWARZERDE | | | | | | | |
|--------|--------------------|----|-----|----|-----------------------------------|----|-----|----|---------------|----|-----|----|---------------------|----|-----|----|------|----|-----|----|
| | Acker β | | | | Rüben | | | | Acker β | | | | Acker β | | | | Wald | | | |
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV |
| 10 cm | 13 | 3 | 13 | 21 | 21 | 4 | 13 | 23 | 23 | 17 | 19 | 25 | 25 | 18 | 19 | 29 | 25 | 12 | 19 | 31 |
| 50 cm | 11 | 3 | 9 | 19 | 15 | 3 | 9 | 21 | 19 | 10 | 19 | 21 | 21 | 12 | 19 | 23 | 23 | 8 | 11 | 25 |

Nach Tab. 3 lassen sich die drei Ackerflächen einschließlich der Feuchtschwarzerde unter Zuckerrüben in eine Reihe mit abnehmendem winterlichen Durchfeuchtungsgrad und zunehmendem sommerlichen Wasser-Auschöpfungsgrad des Oberbodens einordnen.

3.2.3 Wasser-Austausch Unterboden/Oberboden bei Feuchtschwarzerden als Folge sommerlicher Transpiration

Die relativ große Ähnlichkeit der 5 pF/Volumen-Diagramme der verschiedenen Bodentypen in Abb. 5 täuscht darüber hinweg, daß die räumliche Anordnung der einzelnen Poren-Fractionen sehr unterschiedlich sein kann.

Die Feuchtschwarzerden, Abb. 4 und 5 (a, b, c), sind durch den in der Tiefe von 60 bis 80 cm auftretenden Gefügesprung zwischen dem Kohärent- und Leitbahn-Gefüge des Unterbodens (Löß, CS-Horizont) und dem lockeren Krümel- oder Schwamm-Gefüge des A-Horizontes gekennzeichnet.

Aufgrund dieser bodenstrukturellen Differenzierung kann geschlossen werden, daß die Kontinuität der einzelnen Porenfraktionen eine sprunghafte Veränderung erfährt.

Die generell für eine schnelle kapillare Wasserleitung in Betracht kommenden Porengrößen-Bereiche von pF 1,8 bis pF 2,8, entsprechend 50-6 μm , sind aufgrund theoretischer Überlegungen sowie aufgrund hydraulischer Leitfähigkeits-Vergleiche in Lößboden-Horizonten mit

Aggregat-Gefüge (ILBASMISH, 8; KRAMER, 9) sehr viel weniger zum Wassertransport im ungesättigten Zustand befähigt als in kohärenten. Die genannten Porengrößen-Anteile sind in aggregierten Lößboden-Horizonten überwiegend innerhalb der Aggregate enthalten und erfahren infolgedessen eine vielfältige Unterbrechung durch die Aggregat-Oberflächen.

Eine Entwässerung gut aggregierter Lößboden-Horizonte, wie sie in den Feuchtschwarzerden gegeben sind, ist daher auf dem Wege reiner Evaporation von der Bodenoberfläche her geringer anzusetzen als bei einem kohärenten Lößboden-Horizont. Eine vermehrte und beschleunigte Entwässerung der aggregierten Horizonte ist daher im wesentlichen nur auf dem Wege der Durchwurzelung und der transpirativen Wasserentnahme denkbar, die gleichzeitig an vielen Stellen und in verschiedenen Tiefen erfolgt.

Im Absatz 3.2.2 wurde bereits die Hypothese vertreten, daß der sommerliche Austrocknungsvorgang des Oberbodens (A + AC-Horizont) im wesentlichen auf der Durchwurzelung und dem direkten transpirativen Wasserentzug am Ort seiner Bindung und ohne größeren Kapillar-Transport erfolgt. Ein Argument dafür war der in der Reihe Getreide-Rüben-Wald beobachtete zunehmende sommerliche Austrocknungsgrad der Oberböden.

Die transpirative Entwässerung der Unterböden wurde dagegen als eine überwiegend indirekte angesehen: Von einer gedachten, nicht scharf begrenzten horizontalen Entnahmefläche her, die etwa der Untergrenze der Durchwurzelung bzw. der Untergrenze des A- bzw. AC-Horizontes gleichzusetzen ist, erfolgt der transpirative Wasserentzug. Die Nachlieferung von Wasser aus den tieferen Teilen des CS-Horizontes zu der "Entnahmefläche" hin sollte dabei auf dem Wege der kapillaren Nachlieferung erfolgen. Allerdings ist die Grenzziehung zwischen direktem und indirektem Wasserentzug nicht in dieser Schärfe vertretbar. Vielmehr nimmt der direkte Entzug durch die Wurzeln vom AC-Horizont bis zur Profil-Sohle m.o.w. kontinuierlich ab, während die indirekte Entnahmekomponente zunimmt. Dies gilt insbesondere für die Wald-Standorte, aber auch für die Rüben-Bestände, unter denen die Vertiefung des Wurzel-Systems im Sommer dem absteigenden Grundwasser-Spiegel folgt.

3.2.3.1 Saugspannungs-Messungen unter Acker

Teil-Bestätigungen für die aufgrund der Pedohydrogramme entwickelten Modell-Vorstellungen lieferten Aufnahmen der Saugspannungs-Profile in Acker-Feuchtschwarzerden, die im Sommer 1970 unter Winter-Roggen- und Zuckerrüben-Beständen bei langsam absinkendem Grundwasser-Spiegel an verschiedenen Standorten des Flachhanges entlang Catena C₁ Abb. 1 durchgeführt wurden (Abb. 6).

Die Meßperiode fällt in einen Zeitabschnitt, der in seiner monatlichen Niederschlagsverteilung von Ende April bis August annähernd dem Normaljahr entsprach.

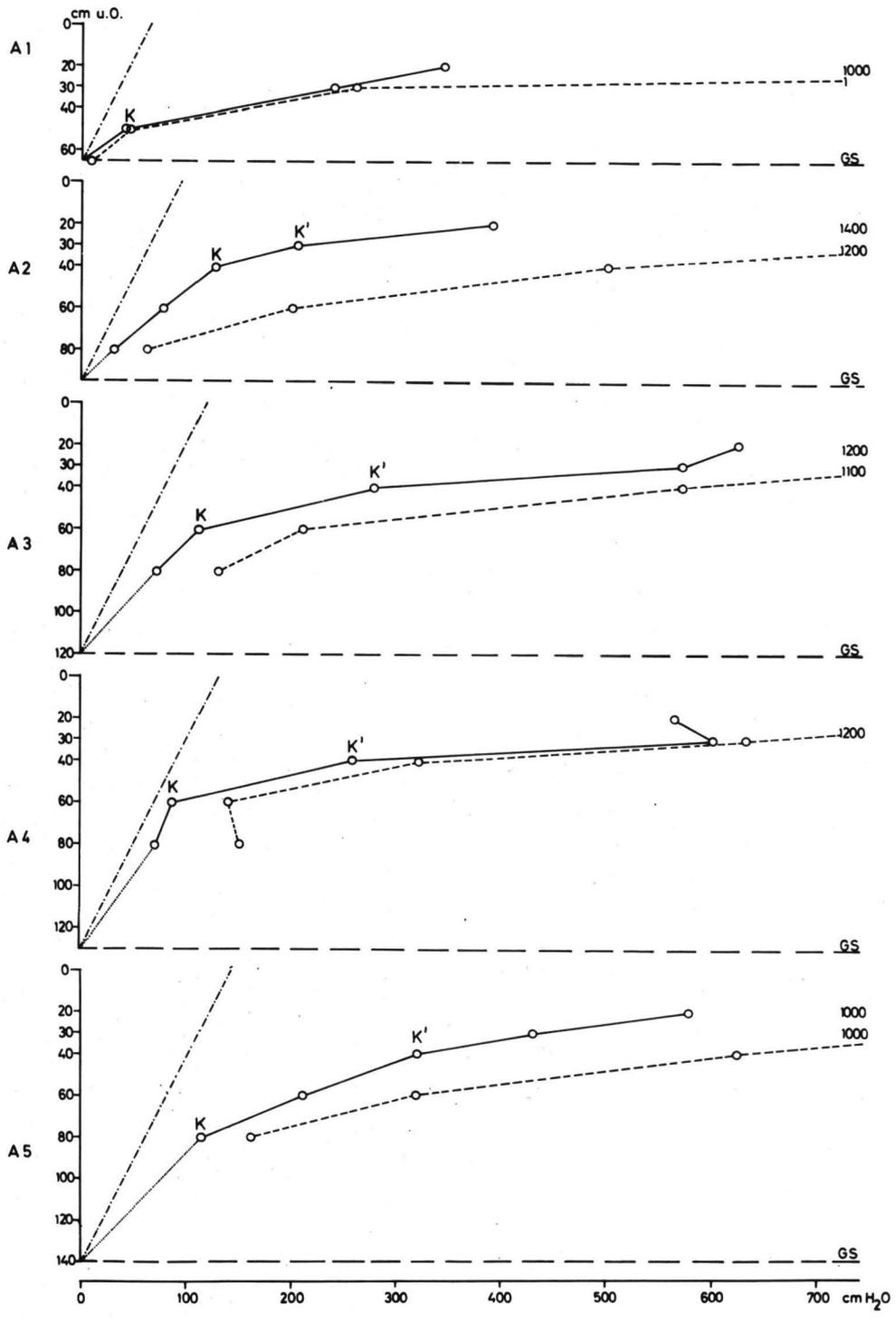
Die Saugspannungs-Kurven unter Roggen zeigen, wenn man sie mit der Φ_0 -Linie vergleicht, während der gesamten Meß-Zeit eine aufwärts gerichtete Bewegungs-Tendenz des Bodenwassers an.

Alle Saugspannungskurven haben, solange noch ungespanntes Wasser im Profil ansteht, einen Knickpunkt (K), der bei etwa 50 (40-60) cm Tiefe, also nahe der Untergrenze des A-Horizontes liegt. An diesem Punkt schwankt die Saugspannung etwa um 100 cm, und steigt nicht über $p_f 2,1$ an.

Zwischen K und dem langsam absinkenden Grundwasserspiegel (GS), also innerhalb des AC und CS-Horizontes, bildet sich ein annähernd linearer, geringer hydraulischer Gradient aus. Sein Wert liegt zu Beginn bei etwa +2 (bez. auf GS-Niveau) und sinkt entsprechend der GS-Absenkung auf +0,4. Dies zeigt an, daß die Wasserbewegung im Unterboden in einem gleichmäßigen, kapillaren Aufstieg zur Entnahme-Front bei Sättigungs-Graden entsprechend $p_f - \infty$ bis $p_f 2$ erfolgt.

Erst bei A5, d.h. nach Verschwinden des GS, verlagert sich K in den CS-Horizont hinein, unter Zunahme des hydraulischen Gradienten.

Die Lage von K, die der Wasser-Entzugs-Front für den Unterboden entspricht, scheint mit der Untergrenze der Wasser-Entzugs-Aktivität der Roggenwurzeln in dieser Jahreszeit identisch zu sein. In Zeiten mit einem stärkeren Evapotranspirations-Wasserentzug bildet sich offenbar noch ein zweiter, höher gelegener Knickpunkt K' in etwa 30 bis 40 cm Tiefe heraus. Er könnte mit der Haupt-Durchwurzelungsgrenze des Roggens im Krumbereich und darunter zusammenfallen.



Bei K' schwanken die Saugspannungen zwischen p_F 2,3 und p_F 2,5. Es bildet sich zwischen K und K', also in der unteren Hälfte des A-Horizontes, ein zweiter hydraulischer Gradient aus, der zu allen Zeitpunkten ziemlich konstant bei +7 liegt. Dies könnte so interpretiert werden, daß in dieser Zone neben dem direkten Transpirations-Wasserentzug durch die anwesenden Wurzeln noch ein erheblicher aufwärtsgerichteter Kapillarwasser-Durchzug nach oben herrscht. Erst oberhalb K', d. h. im A_p - und im oberen A-Horizont, treten in Abhängigkeit vom Evapotranspirations-Anspruch starke Zunahmen der hydraulischen Gradienten auf. Es wurden Werte bis zu +38 bestimmt. Doch fielen sie nicht unter den Wert des Gradienten zwischen K und K' - abgesehen von A4, kurz nach einem Regenfall innerhalb des A_p -Horizontes. Bei p_F -Werten über 2,5 ist jedoch selbst bei derartig hohen Gradienten in Anbetracht der Porenverteilung des oberen A-Horizontes nicht mehr mit einer nennenswerten aufsteigenden Kapillarwasserbewegung zu rechnen. Der Wasser-Entzug dürfte überwiegend direkt durch die Wurzeln erfolgen.

Unter Zuckerrüben wird erst in der 2. Juni-Hälfte (B4) ein Saugspannungszustand erreicht, wie er unter Roggen bereits Ende Mai (A2) vorgelegen hat. Der geringe Transpirations-Anspruch der jungen Rüben hält die Saugspannungen im A-Horizont lange Zeit unter p_F 2. Die schwache Evapotranspiration bewirkt im A-Horizont einen geringen hydraulischen Gradienten mit aufwärtsgerichteter Bewegungstendenz des Bodenwassers. Dieser weicht jedoch nur wenig von der Gleichgewichtslinie (Φ_0) ab. Der direkte transpirative Wasserentzug aus dem A-Horizont scheint gering zu sein. Bei den hohen Wasser-Sättigungsgraden des A-Horizontes und den geringen Wasser-Entzugsraten durch die jungen Rüben ist offensichtlich ein indirekter Wasser-Entzug durch kapillares Nachströmen des Wassers selbst innerhalb des aggregierten A-Horizontes zu der Entnahmefront möglich, die hier dicht unter der Oberfläche anzusetzen wäre. Immerhin ist der Entzug bereits so stark, daß die auftretenden Niederschläge nicht mehr zu einer abwärtsgerichteten Wasser-Bewegung führen, die eine Anhebung des GS bewirken würde .

3.2.3.2 Real-Saugspannungen und Äquivalent-Saugspannungen (Hysterese-Erscheinungen)

In Abb. 6 sind neben den mit Tensiometern gemessenen Saugspannungen (Real-Saugspannungen) auch die aus den Wassergehalten über die p_f -Charakteristik errechneten Äquivalent-Saugspannungen dargestellt. Die p_f -Kurven wurden im Labor an Stechzylinder-Proben bestimmt, die im Luft-Vakuum mit Wasser aufgesättigt und anschließend stufenweise entwässert wurden (Grenz-Sättigungs-Desorptionskurve).

Die Äquivalent-Saugspannungs-Kurven zeigen zwar einen ähnlichen Verlauf wie die der Real-Saugspannungen, doch sind sie durchweg zu höheren Saugspannungswerten hin verschoben. D. h. die wirklichen Saugspannungen sind niedriger, als aufgrund der wirklichen Wassergehalte zu erwarten wäre. Die Differenz zwischen Real- und Äquivalent-Saugspannung nimmt in den Darstellungen von unten nach oben zu. Dies könnte somit ein Effekt der zunehmenden Austrocknung, aber auch eine Wirkung der nach oben hin zunehmenden Aggregierung sein.

Eine Interpretation der Erscheinungen kann von der Austrocknungs-Wiederbefeuchtungs-Hysterese ausgehen: Die dargestellten Real-Saugspannungs-Kurven sind ja nicht das Resultat eines kontinuierlichen Austrocknungsprozesses, sondern das Ergebnis mehrfacher Austrocknung und Befeuchtung. Es kann daher sein, daß bestimmte, bereits einmal ausgetrocknete Poren-Anteile bei neuerlicher Wiederbenetzung nicht vollständig mit Wasser aufgefüllt werden. Sie werden "ausgespart" oder "übersprungen", während andere, gröbere Poren mit Wasser aufgefüllt werden, die dann die Real-Saugspannung bestimmen. Je stärker die vorausgegangene Austrocknung war, desto größer kann das Ausmaß der luft gefüllten Porenanteile sein. Gleiches kann auch für einen zunehmenden Aggregierungsgrad gelten (ILBASMISH, 8).

Eine Hysterese dieser Art wird hier innerhalb eines p_f -Bereiches beobachtet, der zwischen ca. 1,8 und 3,0 liegt.

In einem weiteren Versuch wurden an den Meßpunkten Stechzylinder in verschiedenen Bodentiefen entnommen. Diese wurden — vom lufttrockenen Zustand ausgehend — kapillar und anschließend durch Wasser-Einstau bis zur Oberkante des Zylinders - aufgesättigt. Dies geschah einmal unter

Tab.2: Porenvolumen- Anteile (PVA) nach vollständiger Sättigung und Wassergehalts- Differenzen (D) bei Entwässerung von Proben, die vorher im Luftvakuum vollständig mit Wasser aufgesättigt und solchen, die unter Atmosphären- Druck unter partiellem Lufteschluß aufgesättigt worden waren.

| Tiefe(cm) | | PF - Bereich | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|--------|
| | | -∞-1,0 | 1,0-1,8 | 1,8-2,0 | -∞-2,0 | 2,0-2,3 | 2,3-2,5 | 2,5-2,8 | 2,8-3,0 | 2,0-3,0 | > 3,0 | -∞-3,0 |
| 40 | PVA | 2,3 | 3,7 | 1,4 | 7,4 | 1,8 | 1,4 | 2,4 | 2,0 | 7,6 | 30,6 | 15,0 |
| | D | 1,6 | 1,9 | 0,5 | 4,0 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 2,0 | 0,5 | 6,0 |
| 60 | PVA | 1,9 | 4,7 | 1,7 | 8,3 | 2,1 | 1,7 | 2,8 | 2,1 | 8,7 | 29,4 | 17,0 |
| | D | 1,4 | 1,7 | 0,3 | 3,4 | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 2,0 | 0,4 | 5,4 |
| 80 | PVA | 0,9 | 2,6 | 0,8 | 4,3 | 1,4 | 1,7 | 4,0 | 3,4 | 10,5 | 25,8 | 14,8 |
| | D | 0,4 | 1,9 | 0,6 | 2,9 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 2,3 | 0,7 | 5,2 |
| 100 | PVA | 0,7 | 1,7 | 0,9 | 3,3 | 1,1 | 2,0 | 5,8 | 3,7 | 12,6 | 22,9 | 15,9 |
| | D | 0,6 | 1,4 | 0,6 | 2,6 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 3,1 | 0,8 | 5,7 |
| 120 | PVA | 0,5 | 1,6 | 1,1 | 3,2 | 1,6 | 2,4 | 5,5 | 3,7 | 13,2 | 21,6 | 16,4 |
| | D | 0,4 | 1,3 | 0,7 | 2,4 | 1,0 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 2,9 | 0,8 | 5,3 |

Atmosphärendruck und zum anderen im Luft-Vakuum. Anschließend wurde bei verschiedenen pF -Stufen entwässert. Tab. 2 gibt die Wassergehalts-Differenzen für die verschiedenen Bereiche als Hysterese-Werte wieder. Die Tabelle zeigt, daß in allen Proben die Hysterese im Schnitt 6 Vol % betrug, von denen im Löß-C-Horizont ca. 3 % auf die Porenfraktion 2,0 - 3,0 entfallen (MOSCHREFI, 11).

In den A-Horizonten verlagert sich der Bereich starker Hysterese in den Poren-Bereich $pF < 2,0$, der hier bis zu 4 Vol % Luft enthalten kann. Diese Befunde liefern eine Stütze für die o.g. Interpretation. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Werte im Modell größer sind als in der Natur, da ja nur die Porenbereiche Hysterese aufweisen können, die zuvor entwässert worden waren. Diese Entwässerung war im Gelände sicher nicht über pF 3,0 hinausgegangen.

4 WASSERUMSATZ - STOFFTRANSPORT - PEDOGENESE

In Abb. 7 ist noch einmal die typische Feuchtschwarzerde der Plateau- und Unterhanglagen in der Feuchtschwarzerde-Teillandschaft A schematisch dargestellt. Betrachtet man die Ausbildung des 60 cm tiefen A-Horizontes als das Ergebnis eines früh- bis mittelholozänen Überwiegend mechanischen Bioturbations-Prozesses, der vor oder auch noch während der Entkalkung abgelaufen ist, so bestehen die beiden heute mengenmäßig ins Auge fallenden pedogenetischen Prozesse in der Entkalkung des A-Horizontes und in der Ton-Verlagerung innerhalb des A-Horizontes. Bei den Wald-Feuchtschwarzerden tritt die Versauerung des oberen A-Horizont-Abschnittes hinzu.

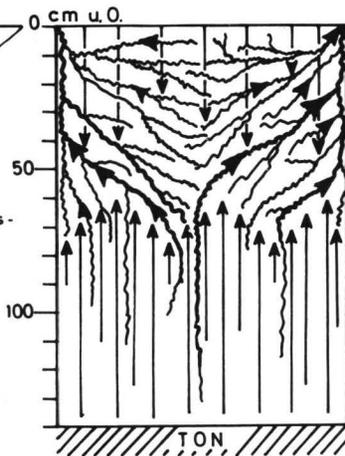
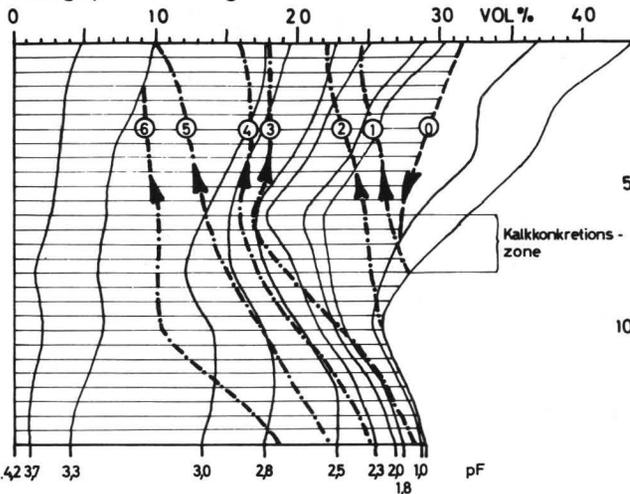
4.1 DER ENTKALKUNGS-PROZESS

Die Kalk-Verlagerung ist als der mengenmäßig bedeutendste pedogenetische Teil-Prozeß in der Entstehungsgeschichte der heutigen Feucht-Schwarzerden anzusehen. Für eine Bilanz-Betrachtung ist die Kenntnis des Ausgangszustandes, d. h. der Kalkverteilung innerhalb der Löß-Decke zu Ende der würmzeitlichen Löß-Anwehung und vor Einsetzen der holozänen

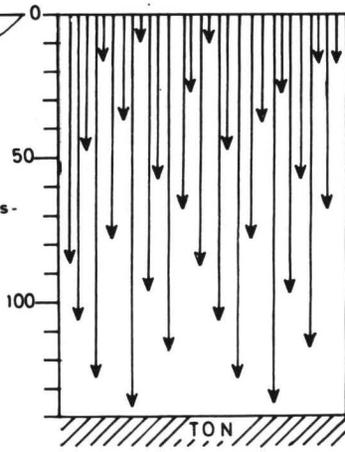
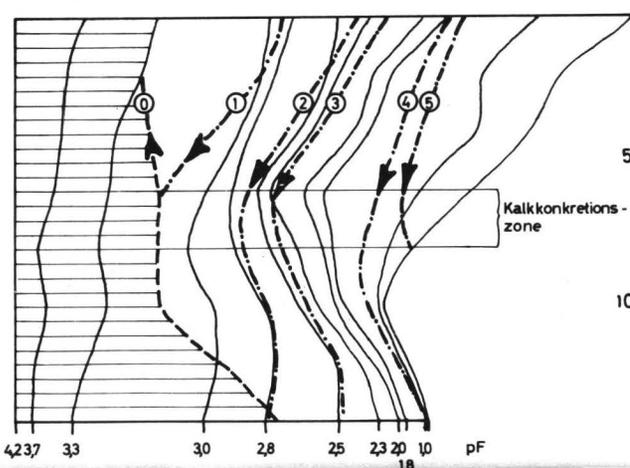
Abb. 7



Anfang April - Ende August



Anfang September - Ende März



Bodenbildung Voraussetzung. Eine Rekonstruktion dieses Ausgangszustandes ist heute nicht mehr exakt möglich. Wir sind deswegen bei den folgenden Modell-Betrachtungen zu Annahmen gezwungen, die zwar ein gewisses Maß an Wahrscheinlichkeit besitzen, aber doch nur gestatten, die rechnerischen Angaben als ungefähre Richtgröße zu bewerten. In den tieferen Abschnitten der CS-Horizonte werden in der Regel 5 - 7 % CaCO_3 ermittelt. Diese Horizonte dürften aufgrund der hydrologischen Bedingungen am wenigsten von Änderungen des primären Kalk-Gehaltes betroffen sein. Setzt man ihren Kalk-Gehalt als den Ausgangs-Kalk-Gehalt der gesamten Löß-Decke an, so sind aus den heutigen 50 - 60 cm starken, in der Regel völlig entkalkten A-Horizonten 35 - 60 kg Calciumcarbonat pro m^2 abgeführt worden.

Ein Teil dieses abgeführten Kalks ist in bestimmten Gebietsteilen (Mitt. I, Karte 6) im AC- und CS-Horizont in Form von Kalk-Konkretionen angereichert worden. Das ist in einigen Plateau-Lagen, in fast allen Unterhangs-Lagen und häufig über den Sand-Rinnen der Fall. Die Kalk-Kindel finden sich hauptsächlich in 80 bis 100 cm Tiefe (AC), ausklingend auch bis 100 cm Tiefe und nur gelegentlich auch in den unteren Abschnitten der A-Horizonte.

Die Konkretionen bestehen aus Inkrustationen der Löß-Matrix. Sie umgeben feine und gröbere, meist verzweigte Leitbahnen, die mitunter als offene Röhren im Inneren der Konkretionen erhalten geblieben sind. Der Poren-Raum der umgebenden Löß-Matrix ist in den Konkretionen vollständig mit Kalk aufgefüllt, wie gravimetrische Analysen ergaben. Ein anderer Teil des aus den A-Horizonten abgeführten Kalks muß durch lateralen Hangtransport in den basalen A-Horizont-Abschnitten und in dem noch einigermaßen gut leitenden AC-Horizont innerhalb der Teil-Landschaft verlagert oder gänzlich aus der Landschaft abgeführt worden sein.

Wann im Laufe des Holozäns der Entkalkungs-Prozeß eingesetzt, sein Maximum durchlaufen und den heutigen Zustand erreicht hat, den man eventuell als eine Art End- oder Gleichgewichtszustand (s. u.) auffassen kann, ist bislang kaum zu rekonstruieren. Nach einer überschlägigen Bilanz-Rechnung handelt es sich zweifellos um einen mehrtausend-jährigen Prozeß, der mit großer Wahrscheinlichkeit die längste Zeit unter Waldbedeckung abgelaufen ist.

Wenn man nämlich für die initiale Phase der tiefgründigen A-Horizont-Bildung ein frühholozänes Steppen- oder Waldklima konzidiert, so wäre diese Phase sicher nicht als eine Epoche einer starken Kalkauswaschung anzusetzen, da eine klimatische Trockenheit und eine starke Rückvermischung durch Bioturbation die Kalk-Auswaschung gehemmt haben dürfte. Außerdem setzt die Auswaschung von Kalk aus dieser Landschaft hoch ansteigende, d. h. über die Grenze A/C hinausgehende winterliche Grundwasser-Niveaus voraus, die nicht mit einer derartig tiefwühlenden Bodenfauna der damaligen Zeit in Einklang zu bringen wären. Es kommt hinzu, daß viele biogene Strukturen (Krotowinen, Wurmgänge etc.) erst durch nachträgliche Kalk-Inkrustation fossilisiert worden sind. Der Beginn der starken Kalk-Verlagerung muß mit dem Einsetzen von Klima-Bedingungen in Zusammenhang gebracht werden, die den heutigen ähnlich, wenn nicht sogar feuchter gewesen sind. Damit ist spätestens vom Beginn des Atlantikums an zu rechnen. Solche Klima-Bedingungen haben aber sicher eine geschlossene und dichte Bewaldung des Gebietes zur Folge gehabt. Die untersuchten Schwarzerde-Teilareale stellen offenbar keine Alt-siedlungsgebiete mit durchgehender Ackerbau-Nutzung seit dem Neolithikum dar. Neolithische Siedlungsreste fanden sich bei der Gelände-Aufnahme nur auf den trockenen Parabraunerden und Griserden der Feuchtschwarzerde/Griserde-Teillandschaft B bei Algermissen. Die Siedlungsgruben sind hier noch mit Schwarzerde-Material gefüllt, das erst nach der Aufgabe der Siedlungen von der Entkalkung und Tonverlagerung als Attribut der Wiederbewaldung erfaßt worden ist. Zwar finden sich in den heutigen Feuchtschwarzerde-Waldungen zwischen Borsum und Asel Wölb-Äcker als Reste mittelalterlicher Ackerfluren, doch dürften große Flächen permanent mit Wald bedeckt geblieben sein. Die Plateau-Flächen zwischen Borsum und Hönnersum haben noch bis 1870 Hochwald (FLEIGE, 6) getragen. Unter den heutigen Bedingungen wäre es - bei Fehlen der Drainage - schwierig, die Entkalkungs-Intensitäten von Acker und Wald abzuschätzen. Zwar fällt die "Säurewirkung" des Waldes unter Acker fort, dafür aber steigt der Hang-Abfluß im A-Horizont beim Acker im Normaljahr auf 124 mm gegenüber 0 mm beim Wald an. Aus vielen Einzelwerten ermittelte Durchschnittstiefen der Entkalkung lagen unter Wald bei 69 cm, unter Acker bei 54 mm. Eine Abgrenzung der klimatischen Grenzwerte für lateralen Kalktransport innerhalb und aus der Feuchtschwarzerde-Landschaft wäre auch aufgrund folgender Überlegung möglich: Ein lateraler Transport ist vorstellbar, wenn der Grundwasser-Spiegel in den AC- oder A-Horizont hinein ansteigt, d. h. Tiefen von 80 cm u. O. übersteigt (s. Mitt. III). In einem heutigen Normaljahr (665 mm Niederschlagshöhe) ist dies unter Wald nicht mehr der Fall. Unter Ackerland wäre diese Situation aber noch gegeben, wenn die Niederschlagshöhe um 124 mm unter der heutigen läge. Unter diesem Aspekt wäre die Ackernutzung in historischer Sicht nicht als verzögernder Faktor in der Entkalkungs-Geschichte der Landschaft zu bewerten, besonders wenn man den zusätzlichen Entwässerungs-Effekt der heutigen Dränagen mit einbezieht.

Probleme wirft die Tatsache auf, daß unter der heutigen Waldbedeckung in einem Niederschlags-Normaljahr ein lateraler Transport von Grundwasser so gut wie nicht auftritt. Daraus ergibt sich die Frage, ob unter den heutigen Bedingungen - kalkhaltige A-Horizonte vorausgesetzt - unter Wald überhaupt eine laterale Kalkabfuhr denkbar wäre. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß in einem Normaljahr im Frühjahr gerade der Sättigungsgrad erreicht wird, an dem der Lateral-Abfluß im AC- bis A-Horizont einsetzen könnte. D. h., jede geringe Abweichung von einer Niederschlags-Normaljahr-Kombination in Richtung auf eine höhere Feuchte kann sofort den lateralen Abfluß auslösen.

Der laterale Wassertransport innerhalb der Feucht-Schwarzerde-Landschaft, auf den in Mitt. V besonders eingegangen wird, findet heute im wesentlichen nur in bereits entkalkten Bodenhorizonten statt. Dies legt den Schluß nahe, daß der Prozeß der lateralen Kalkabfuhr als mehr oder weniger abgeschlossen zu betrachten ist. Allerdings ist infolge der im letzten Jahrhundert durchgeführten Dränierung lokal mit einer weiteren Absenkung des Kalkpiegels zu rechnen. Auch scheint an verschiedenen Stellen eine weitere Absenkung der Carbonat-Grenze im AC/CS-Horizont dadurch möglich zu sein, daß oberhalb dieser Horizonte lateral abströmendes Hangwasser durch Diffusion und hydrodynamische Dispersion Kalk aus den darunter liegenden Horizonten aufnimmt und abführt. Doch diese gegenwärtigen Erscheinungen ändern nur wenig an dem Eindruck, daß der laterale Entkalkungs-Prozeß weitgehend abgeschlossen ist. Wann dieser Abschluß in historischer Sicht erreicht war, ist schwer zu entscheiden. Ein "Terminus ante quem" ist die nacheisenzeitliche, wahrscheinlich hochmittelalterliche Rodungsperiode. Die von (NIEDERBUUDE, 13) beschriebenen Lokalitäten am Bruchgraben zeigen z. B., daß die mittelalterlichen dunklen A-Horizont-bürtigen Hang- und Auenlehme bereits kalkfrei umgelagert wurden und bereits entkalkte A-Horizonte überdecken.

Der vertikale Wassertransport und die vertikale Kalkverlagerung - besonders unter Wald - scheinen dagegen noch weiter anzuhalten. Dies wird im folgenden an einem Modell - Feuchtschwarzerde unter Wald - diskutiert.

4.1.1 MODELL I : VERTIKAL- und LATERAL-TRANSPORT IN DER FEUCHTSCHWARZERDE

Ein Gedanken-Modell hierfür wurde bereits in Mitt. III, Abs. 9.1 entwickelt. Will man den Wasserhaushalt einer isolierten Pede-Tessera innerhalb einer homogenen Feucht-Schwarzerde-Fläche beschreiben, so bietet sich folgender Näherungs-Ansatz an:

Aus der Boden-Decke wird ein Block von beliebig großer Querschnitts-Fläche bis hinunter zum Ton-Untergrund herausgeschnitten. Dessen vertikale Begrenzungs-Flächen werden durch einen wasserundurchlässigen Mantel isoliert. In 50 bis 80 cm Tiefe unter der Oberfläche wird ein Kranz von Löchern gebohrt.

WINTERHALBJAHR:

Abb. 7 unten, erläutert die Vorgänge während des Winter-Halbjahres. Unter Wald besteht in einem Niederschlags-Normaljahr zu Anfang September im Unterboden zwischen 80 und 140 cm Tiefe (AC- und CS-Horizont) ein Wassersättigungs-Defizit von ca. 85 mm. Diese Daten sind aus Tab. 1 zu entnehmen. Die winterlichen Niederschläge dringen durch den A-Horizont in den AC- und CS-Horizont ein. Dieser Aufsättigungs-Prozeß wird etwa durch die Reihenfolge 0 - 5 der Saugspannungskurven in Abb. 7 unten, wiedergegeben. Der AC- und CS-Horizont wird mit Wasser aufgesättigt und füllt sich schließlich von unten her mit ungespanntem Grundwasser. Dieses staut sich bis in Höhe der unteren seitlich angebrachten Ausflußlöcher in 80 cm Tiefe an. Dann kann der laterale Abfluß einsetzen, der aber unter Wald in Normaljahren und Jahren mit unternormalen Niederschlägen nicht wirksam wird. Oberhalb dieses Grundwasserspiegels stellt sich annähernd der hydraulische Saugspannungs-Gleichgewichtszustand ein.

Bei Ackerland beträgt dagegen das normale vorwinterliche Ausgangs-Defizit im Unterboden nur 25 bzw. 40 mm. Es kommt nach Erreichen des unteren Lochkranzes bei 80 cm zu einem lateralen Abfluß von ca. 124 mm, wobei sich der Grundwasserspiegel aufgrund der K_f -Beziehungen bis auf die Höhe des oberen Lochkranzes bei 50 cm Tiefe anhebt. Zum Vergleich mögen die Pedohydrogramme in Abb. 5 dienen.

Solange der A-Horizont kalkhaltig gewesen ist, kann das in den AC- und CS-Horizont eindringende Sickerwasser als Ca-Hydrogencarbonatlösung betrachtet werden. Ein hinreichend langer Kontakt mit dem Kalk des A-Horizontes vorausgesetzt, kann mit CaCO_3 -Konzentrationen des Sickerwassers von ca. 180 mg/l gerechnet werden. Diese theoretischen Werte wurden durch Messungen an Schwarzerde-Lysimetern (Mitt. III Abs. 9) bestätigt.

Ein jährlicher Sickerwasser-Auffüllungs-Betrag des Unterboden-Sättigungs-Defizits in Höhe von 74 l/m^2 (85 minus 11 mm für Lufteinschluß) würde demnach bedeuten:

- 13 g CaCO_3 - Auswaschung $A \rightarrow C$ pro Jahr, entsprechend 130 kg/ha
- 35 kg CaCO_3 - Auswaschung/ m^2 in 2700 Jahren 48 kg/ m^2 in 3700 Jahren
- 60 kg CaCO_3 - Auswaschung/ m^2 in 4600 Jahren

SOMMERHALBJAHR:

Abb. 7, oben, erläutert die Wasser-Austausch-Vorgänge am Modell während des Sommer-Halbjahres.

Entsprechend der Anordnung des Wurzel-Netzes des Laub-Waldes findet im oberen Teil des Profils, besonders im A-Horizont, ein "direkter" transpirativer Entzug des Wassers statt, der im A-Horizont seine Untergrenze findet und sich nur in wenigen Wurzelbahnen bis in den CS-Horizont hinein erstreckt.

Bis zum Ende des Sommer-Halbjahres wird der Grundwasser-Spiegel im Unterboden bis an die Basis abgesenkt. Es bleibt kein ungespanntes Wasser erhalten. Dann wird der Vorrat des Unterbodens an gespanntem Kapillarwasser angegriffen.

Der Entzug erfolgt "indirekt". Dazu stelle man sich etwa in Höhe der Wurzelmassen-Untergrenze (ca. 60 - 70 cm Tiefe) eine "Entnahme-Front" vor, zu der hin das Wasser aus dem Unterboden kapillar nachgeliefert wird. Dementsprechend nehmen im Unterboden zur Zeit des sommerlichen Ausschöpfungs-Maximums die Wassergehalts-Defizite wie folgt mit der Tiefe ab:

| | | |
|------------|-------|---------|
| 60 - 70 cm | 20 mm | } 38 mm |
| 70 - 80 cm | 18 mm | |
| 80 - 90 cm | 18 mm | } 84 mm |
| 90 -100 cm | 16 mm | |
| 100-110 cm | 16 mm | |
| 110-120 cm | 12 mm | |
| 120-130 cm | 12 mm | |
| 130-140 cm | 10 mm | |

Der Verlauf des Wasser-Entzuges im Unterboden wird ungefähr durch die Folge an Saugspannungs-Kurven (0 - 6) in Abb. 7, oben, wiedergegeben. In den letzten Phasen der Austrocknung nach Überschreiten von p_f -Werten um 2,8, bei denen die kapillare Leitfähigkeit sprunghaft sinkt, tritt dann offenbar der direkte Wasserentzug durch die wenigen tiefgehenden Baumwurzeln stärker in den Vordergrund.

Die Entstehung von Kalk-Konkretionen fällt hauptsächlich in denjenigen Bereich (AC-Horizont), in dem die Untergrenze des überwiegend direkten Wasser-Entzuges durch die Baumwurzeln liegt und in dem der aufwärts gerichtete kapillare Wasser-Nachstrom endet.

Modellmäßig ließe sich dieses etwa so vorstellen: Das sommerliche Wasser-Defizit des Unterbodens, das oben groß, unten klein ist, wird im Winter durch gesättigte Ca-Hydrogencarbonat-Lösung aufgefüllt. Ein Lösungsangriff auf den Kalk des Unterbodens erfolgt nicht oder kaum.

Kalkhaltiges Grund- und Kapillar-Speicherwasser steigen kapillar zur Haupt-Wasser-Entnahmefront der Wurzeln auf, die sich etwa mit dem Gefügesprung an der Grenze A/C deckt. Sie setzen hier als Folge der biologischen Wasser-Filtration ihren Kalk-Gehalt frei, der sich - wie beschrieben - hauptsächlich um Wurzelgänge herum abscheidet. Ein geringer Teil der Abscheidung mag auch auf Sprünge des CO_2 -Partial-Druckes, der Temperatur und der Verdunstung am Übergang vom dichten CS- zum lockeren AC- oder zum gut aggregierten A-Horizont zurückzuführen sein. Dafür sprechen z. B. Umkrustungen von Krotowinen und Regenwurm-gängen. Die mangelnde kapillare Kohärenz des A-Horizontes in denjenigen pf-Bereichen, die für eine hinreichende kapillare Wasserleitung in Frage kommen, muß praktisch als Ursache dafür angesehen werden, daß ein Wiederansteigen des in den Unterboden ausgewaschenen Kalks in den A-Horizont hinein unterbunden wird.

Theoretisch könnte der geschilderte Prozeß dazu führen, daß der gesamte Kalk des A-Horizontes an Ort und Stelle in den oberen C-Horizont über-führt und hier in Form von Kalk-Konkretionen abgeschieden wird. Das würde dazu führen, daß ein etwa 10 cm mächtiger AC-Horizont-Abschnitt zu 60 % aus Kalkkindeln bestehen würde. Dies ist tatsächlich an einigen Stellen der Senke im Nordteil der Untersuchungs-Fläche A gegeben, wo ein Zuzug von kalkhaltigem Wasser im A-Horizont tatsächlich den perma-nenten Ablauf dieses Modell-Prozesses gewährleistet hat.

In der Regel ist jedoch der Kalk des A-Horizontes nicht vollständig im Unterboden wiederzufinden, da im Laufe der Bodengeschichte von den in vielen feuchten Wintern die Grenzfläche A/C-Horizont erreichenden Ca-Hydrogencarbonat-Lösungsmengen nach Aufsättigung des Unterboden-Defizits ein erheblicher Teil seitlich durch die "Ausfluß-Löcher" des Modells abgeströmt ist.

Dies wäre - hätten wir heute noch carbonathaltige A-Horizonte - auch in Niederschlags-Normaljahren bei allen Ackerflächen der Fall. Von den im Winter fallenden 284 mm Niederschlag würden als Ca-Hydrogencarbonat-Lösung nur 17 - 32 mm in den Unterboden eindringen, 124 mm dagegen lateral abströmen. Beim Wald würden es allerdings - wie bereits ausgeführt - 74 mm sein, die in den Unterboden ein-dringen.

Wenn heute jedoch - abgesehen von ausgesprochenen Senken-Lagen - alle typischen Feucht-Schwarzerden der Plateau- und Senken-Lagen

in ihren Kindel-Horizonten weniger Kalk enthalten, als dem Fehlbetrag im A-Horizont entspricht, so deutet dies darauf hin, daß auch in der Wald-Phase der Boden-Geschichte eine starke laterale Kalk-Fortfuhr geherrscht haben muß.

Geht man z. B. davon aus, daß 1.) die Lößdecke ursprünglich einen homogen verteilten Kalkgehalt von 5,5 - 7,0 % gehabt hat, 2.) die CO_2 -Partialdrucke und Temperatur-Verteilungen etwa den heutigen entsprachen und 3.) in den Kalk-Konkretions-Horizonten nur 50 % des aus dem A-Horizont abgeführten Kalk angereichert worden sind (meist ist es weniger), so bedeutet dies, daß in den Haupt-Phasen der Entkalkung - auch unter Wald - ebensoviel Wasser, d. h. Ca-Hydrogencarbonatlösung lateral abgeführt worden sein muß, wie vertikal in den Untergrund einsickern konnte.

Man kann eine Kalkulation auf die Frage gründen: "Wieviel feuchter muß der Sommer sein, damit das Unterboden-Wasserdefizit so gering wird, und wieviel feuchter muß der Winter sein, damit der Lateral-Abfluß so groß wird, daß der Kalk des A-Horizontes zu 50 % im AC- und CS-Horizont angereichert und zu 50 % lateral abgeführt wird? Das ist der Fall, wenn

... der Sommer die gleiche Niederschlagsmenge wie jetzt, der Winter aber um 25 % erhöhte Niederschläge aufweist, oder der Sommer 10 % und der Winter 12 % mehr Niederschläge bringt.

Für eine Disproportionierung des Kalkes entsprechend 25 % Anreicherung und 75 % lateraler Auswaschung ergibt sich:

... der Sommer bringt 15 - 20 %, der Winter 36 - 22 % mehr Niederschlag. In den drei Beispielen würden dann für die Abfuhr der vollen Carbonat-Menge des A-Horizontes 1900, 2500 und 1500 - 2000 Jahre benötigt.

Klimatische Bedingungen wie im 2. Beispiel bietet heute Bremen und der niedersächsische Küstenraum, Klimate wie sie Beispiel 3 entsprechen würden, sind im Raum Niederrhein/Belgien und, abgesehen von der 1-2^o C höheren Jahres-Mitteltemperatur, im nördlichen Alpenvorland (Donauraum) zu finden.

Sucht man in der Vergangenheit klimatische Verhältnisse, die für die heutige Umverteilung des Calciumcarbonats der A-Horizonte in der Feuchtschwarzerde-Landschaft unter Wald verantwortlich gemacht werden könnten, so wären diese wohl in erster Linie in der Klima-Phase des Atlantikums, der feucht-wärmeren Eichen-Mischwald-Zeit, zu finden, die trotz möglicher Siedlungs-Interruptionen in der Wald-Geschichte dieses Gebietes von hinreichender Dauer gewesen ist.

Zu diskutieren bleibt die Frage, ob auch Verhältnisse in der Vergangenheit denkbar sind, unter denen im Sommer keine Beanspruchung des Grundwassers im Unterboden eintrat, d. h. die Sommer so feucht waren, daß ihre Niederschläge voll die ETI-Verluste deckten. Dann wäre - eine genügend lange Dauer dieser Klimabedingungen vorausgesetzt - sämtlicher Kalk der A-Horizonte dem lateralen Abtransport anheim gefallen. Solch eine Annahme ist unwahrscheinlich, obwohl sie eine einfache Möglichkeit böte, die großen Flächen in Oberhang-Lage - im Wasserscheiden-Bereich auch auf die Plateaus übergreifend - zu erklären, auf denen unter

kalkfreien A-Horizonten keine Kalk-Konkretionen auftreten. Unter solchen Bedingungen hätte es demnach aber im Senkenbereich zu Dauch-(Kalksinter)-Durchwuchsbildungen, zumindest aber zu einer völligen Konservierung der Carbonatgehalte in den A-Horizonten kommen müssen, was nicht der Fall ist.

4.1.2 MODELL II : LATERAL-TRANSPORT an FLACHHÄNGEN der FEUCHTSCHWARZERDE-LANDSCHAFT

Aus Mitteilung I, Abb. 1, 2, 3 und Karte 6 sind die pedostratigraphischen Verhältnisse und aus Abb. 1, 2 und 3 der vorliegenden Arbeit der jahreszeitliche Gang der Grundwasser-Spiegelhöhen in den Flachhang-Catenaen zu entnehmen. Die A-Horizonte sind durchweg entkalkt - bis auf einige Hangfuß-Partien, in denen Kindel-Lagen im unteren A-Horizont-Abschnitt erhalten geblieben sind oder der Kalkspiegel ohne Kindel-Bildung sekundär wieder angestiegen ist. In den oberen Hang-Abschnitten finden sich unter den A-Horizonten meist keine Kalk-Konkretions-Horizonte. Die Kalk-Grenze kann sogar in den AC-Horizont abgesunken sein, wobei der Carbonat-Gehalt kontinuierlich zum CS-Horizont ansteigt. Zum Hangfuß hin verstärken und verdichten sich die Konkretions-Lagen im AC- bis CS-Horizont und erreichen in den Senken-Lagen ihr Maximum. Dort ist die Packung mitunter so dicht, daß die angereicherte Kalkmenge die aus den A-Horizonten ausgewaschene erreichen oder übersteigen kann.

Die Differenzierung der aus den A-Horizonten ausgewaschenen Kalkmengen in der Abfolge der Flachhang-Catena ist - wie bei der Betrachtung der "isolierten Standorte" bereits diskutiert - ebenfalls nicht als das Produkt der heutigen hydrologischen Bedingungen unter Acker anzusehen. Die Erklärung der Kalk-Konkretions-Verteilung in der Landschaft muß, wie im Abs. 4.1.1, von der Umverteilung des A-Horizont-Kalks durch vertikalen und lateralen Transport und deren unterschiedlichen Anteilen an der Gesamtverlagerung ausgehen.

Wir stellen uns dazu modellmäßig vor, daß zu Beginn der Entkalkungs-Phase unter Wald am Ende des normalen Sommer-Halbjahres im Unterboden der Feucht-Schwarzerden ein Wasserspeicher-Defizit herrschte, das keine großen Differenzen aufwies, aber vom Oberhang zum Hangfuß hin abnahm.

Im Winterhalbjahr wurde dieses Defizit überall mit Ca-Hydrogencarbonat-Lösung aufgefüllt - allerdings nur so lange, wie der Vorrat an ausgewasch-

barem A-Horizont-Kalk reichte. Gleichzeitig erfolgte der laterale Abtransport von A-Horizont-Kalk in den unteren A-Horizont-Abschnitten und im oberen AC-Horizont hangabwärts. Vorstellungen über die Geschwindigkeit des oberflächen-parallelen Hangwasser-Durchsatzes in diesen Horizonten sind für Wald schwer zu entwickeln. Unter Acker, wo sie bedeutend niedriger sein dürfte, liegt sie heute bei ca. 0,5 m pro Tag bei Grundwasser-Spiegeltiefen von ca. 50 cm u.O. Dabei nimmt die Durchsatzmenge hangabwärts zu. Am Ende des Winters hört der Lateral-Abfluß im A-Horizont des Oberhangbereichs eher auf als in den tieferen Hang-Abschnitten, wo — wenn wir die einzelne Pedotessera betrachten — noch immer ein lateraler input und output von mit Ca-Hydrogencarbonat-gesättigter Lösung stattfindet. Dieser Hang-Abfluß wird nicht dadurch beendet, daß der "Hangwasser-Speicher" leerläuft, sondern dadurch, daß er von April an durch die Vegetation leergepumpt wird. Dabei trocknet die in den tiefer gelegenen Hang-Abschnitten noch im Überschuß vorhandene Ca-Hydrogencarbonat-Lösung ein, bildet CaCO_3 und schont so die Carbonat-Reserve des Oberbodens. Dies ist in den oberen Hang-Abschnitten nicht der Fall.

Hier tritt zuerst die Situation ein, daß der A-Horizont-Kalk völlig abgeführt ist und dementsprechend keine Kalk-Konkretionsbildung mehr stattfinden kann. Vielmehr könnte schon wieder durch Diffusion und hydro-dynamische Dispersion eine Auflösung und Abfuhr vorhandener Kalk-Anreicherungen im AC erfolgen. In den weiter hangabwärts gelegenen Flächen-Teilen kann sich dieser Zustand erst später ausbreiten, nämlich dann, wenn diese Partien von oben her kein kalkhaltiges Hangwasser mehr beziehen. Es besteht hier wegen der Schonung der A-Horizont-Kalk-Reserven über längere Zeiten hinweg die Chance, daß das sommerliche Wasser-Defizit des Unterbodens mit kalkhaltiger Winter-Sicker-Lösung von oben her aufgefüllt wird.

In den Senken schließlich ist durch den ständigen Zuzug von kalk-haltigem A-Horizont-Hangwasser z. T. bis heute die Möglichkeit zur fortgesetzten Kalk-Konkretionsbildung gegeben, doch gibt es bereits Senken, in denen über kompakten Kindel-Lagen auch die A-Horizonte entkalkt sind.

Wie bereits in Mitt. I ausgeführt wurde, können die unter dem Löß in den Ton eingeschalteten Sand- und Kies-Rinnen das homogene Bild stören. Sie können lokal von unten her kalkhaltiges Druckwasser in den Löß

einstauen lassen und dadurch zur Zeit der sommerlichen Verdunstung für einen stetigen Nachschub von kalkhaltiger Lösung zur Kindel-Bildung im A/C-Grenzbereich sorgen.

Eine nachträgliche Bilanzierung des Kalkhaushaltes der Feucht-Schwarzerde-Landschaft ist insofern außerordentlich schwierig, als selbst bei Annahme eines ursprünglich homogen im Löß verteilten Carbonatgehaltes, die heutigen Vorräte der Bodendecke nur schwer zu bestimmen sind. Die Konkretionen treten zu unregelmäßig auf, als daß ihr Anteil durch einfache Probe-Entnahmen zu ermitteln wäre. Die heutige Kalk-Abfuhr mit den Fließ-Gewässern liefert insofern keinen Anhalt, als die Hydrologie unter Ackernutzung eine andere ist als unter Wald, unter dem die Kalkabfuhr erfolgte. Darüber hinaus stören die Dränagen, die heutige Kalkdüngung und der Umstand, daß wir es mit einer Landschaft zu tun haben, die eigentlich schon fast am Ende ihrer Entkalkungs-Geschichte steht. Zur Klärung dieser Fragen bedürfte es noch eingehender Stoff-Abfluß-Messungen.

4.1.3 Die Griserden und die Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft

Die Bodentypen der Morphosequenz "Vergriste Feucht-Schwarzerde, feuchte Gris-Schwarzerde, braune Gris-Schwarzerde, Griserde" finden sich in der Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft (B) in solchen Situationen, in denen unterlagernde Sand- und Kies-Rinnen die Basis-Dränage der Löß-Decke ermöglichen.

Nach den Pedohydrogrammen (Abb. 5) beruht die pedogenetische Differenzierung dieser Sequenz auf der jahreszeitlichen Wasserführung der die Löß-Decke unterlagernden Drän-Rinnen. Bei den Gliedern bis zur braunen Gris-Schwarzerde kommt es regelmäßig im Winter zum Aufbau eines Grundwasser-Spiegels im CS-Horizont über der völlig mit Wasser gefüllten Sand-Rinne. Die Anstau-Höhe und -Dauer nehmen in der Sequenz zur Griserde hin ab. In der Griserde selbst wird nur noch episodisch in sehr stark vom Normal-Jahr abweichenden nassen Wintern Grundwasser in der Löß-Decke angestaut.

In keinem Fall steigt jedoch der Grundwasser-Spiegel so hoch, daß er den A-Horizont erreicht und damit einen lateralen Abfluß auslösen kann.

Die Absenkung des Grundwasser-Spiegels erfolgt im Frühjahr durch Abfluß nach unten, wenn sich die Sand-Rinnen zu leeren beginnen. In der Phase, in der im Feuchtschwarzerde-Gebiet die Ausschöpfung des angestauten Grundwassers durch die Evapotranspiration beginnt, hat bei den Übergangs-Bodentypen zur Griserde bereits der vertikale Abfluß eingesetzt. Bei den Anfangs-Gliedern der Morphosequenz ist noch Grundwasser vorhanden, bei den Endgliedern dagegen nicht mehr.

Dies ist als Ursache dafür anzusehen, daß sämtlicher Kalk vertikal abgeführt worden ist, daß es nicht zu einer konkretionären Kalk-anreicherung im AC- oder C -Horizont kommen konnte, daß in der Morphosequenz die Entkalkungs-Tiefe zunimmt und daß der Zeitpunkt, zu dem die Entkalkung des A-Horizontes abgeschlossen war, vom Beginn des Holozäns ab gerechnet, immer früher erreicht würde.

Voraussetzung für diese morphogenetische Differenzierung innerhalb der Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft gegenüber der Feuchtschwarzerde-Landschaft ist die unterschiedliche hydrologische Beschaffenheit der Sand-Rinnen. In der Feuchtschwarzerde-Landschaft (A) enden sie blind und können daher nur wenig zur Verlagerung des Kalks innerhalb der Landschaft beitragen. In der Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft stellen sie dagegen aufgrund ihrer Kontinuität ausgeprägte Wasser-Sammel- und Leitstränge dar, die das Wasser und die gelösten Stoffe schnell aus den Flachhang-Bereichen abführen und den ober- und unterirdischen Vorflutern zuleiten - ohne die Hangfuß-Zonen einer Wasser- und Kalk-Zufuhr auszusetzen. Druckwasser-Austrittsstellen und dichtgepackte Kalk-Konkretions-Horizonte fehlen hier.

Somit besteht die hydrologische Verschiedenheit der beiden Boden-Landschaften im wesentlichen darin, daß in der Feuchtschwarzerde-Landschaft (A) die laterale Wasser-Bewegung und der laterale Stoff-Transport auf den Abfluß im unteren A- und A-C-Horizont und damit nur auf eine bestimmte kurze Jahreszeit beschränkt sind - während in der Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft die vertikale Versickerung und subterrestrische Abfuhr in den die Löß-Decke unterlagernden Sand-Rinnen als differenzierendes Moment hinzutritt.

4.2 DIE TON-VERLAGERUNG

Im Gegensatz zu Beobachtungen auf dem Schmiedener Feld bei Stuttgart ist in beiden untersuchten Teil-Landschaften eine Kongruenz von Entkalkungs-Grenze und Einwaschungs-Grenze des schwarzen Tons aus dem A-Horizont gegeben.

Innerhalb der Morphosequenz "Feucht-Schwarzerde bis Feucht-Gris-Schwarzerde" ist nur eine Migration von schwarzem A-Horizont-Ton zu beobachten, bei der Braunen Gris-Schwarzerde und der Griserde wird auch brauner Ton aus dem B-Horizont mobilisiert.

In der Feucht-Schwarzerde wird Ton nur innerhalb des 60 cm starken A-Horizontes verlagert. Die Intensität der heutigen Ton-Umverteilung (SCHONLAU, 14) mag mit der Lage des Zeitpunktes zusammenhängen, zu dem die Entkalkung des A-Horizontes abgeschlossen war.

In den übrigen Typen der Morphosequenz ist der schwarze Ton, der Absenkung der Kalk-Grenze folgend, in den größeren sichtbaren Poren mit Durchmessern $> 300 \mu\text{m}$ abwärts gewandert. Seine Anordnung unterscheidet sich dadurch von der des braunen verlagerten B-Horizont-Tones, der meist in mehr oder weniger deutlicher bändriger Akkumulation diffus die B-Horizont-Matrix durchzieht.

Eine derartige Verlagerung des schwarzen Tones setzt ein vertikales Abfließen ungespannten Sickerwassers (wässriger Ton-Suspension) in groben Poren voraus. Der Ablagerungs-Prozeß des Tons dürfte dabei durch Infiltration des Wassers in die die Poren umgebende Matrix begünstigt werden.

Eine derartige Ton-Infiltration ist bereits bei der vergristeten Feucht-Schwarzerde zu beobachten. Das Schema in Abb. 7 vermittelt Vorstellungen über den Gang der jahreszeitlich bedingten Wasser-Aufsättigung und Ausschöpfung in Feucht-Schwarzerden, das unter entsprechender Abwandlung noch eine gewisse Gültigkeit für die vergristete Feucht-Schwarzerde besitzt.

Für die Ton-Infiltration in den entkalkten ehemaligen AC-Horizont kommt danach nur die winterliche Phase der Aufsättigung des Unterbodens in Betracht. Diese hat man sich etwa wie folgt vorzustellen. Nach weitgehender Aufsättigung des kapillaren Speicher-Volumens des A-Horizontes

dringt ungespanntes (mit Ton beladenes) Sickerwasser bis zur Obergrenze des C-Horizontes durch und wird hier von den feineren Matrix-Poren resorbiert. Solange in dieser Zone Kalk vorhanden ist, kommt es zu Ausflockung des im Sickerwasser suspendierten Tones. Erst nach weitgehender Absättigung des kapillaren Speicher-Defizits im C-Horizont, d.h. wenn sich von unten her aufgrund "ungesättigter" Wasser-Ableitung ein Grundwasser-Spiegel aufzubauen beginnt, kommt es auch zu einer Infiltration von A-Horizont-Sickerwasser in die groben AC- und C-Horizont-Poren. Dieser Prozeß kommt bei den typischen Feucht-Schwarzerden mit ansteigendem Grundwasser sehr bald zum Erliegen. Bei den vergristeten Feucht-Schwarzerden sowie allen anderen Typen der Sequenz kann er länger anhalten, da ja der Grundwasser-Spiegel durch Vertikal-Drainage niedrig gehalten wird oder gar nicht erst entsteht.

Der vom Sickerwasser mitgeführte suspendierte Ton kann dabei nur so weit in den Grobporen mit abwärts wandern wie das Wasser bereits entkalkte Zonen passiert. Bei Erreichen der Kalkgrenze erfolgen Ca-Anreicherung des Sickerwassers von den Poren-Wandungen und aus der Matrix her offenbar so rasch, daß es zur unmittelbaren Ton-Flockung kommt. Dabei spielen der Durchmesser der Grobporen und die Bewegungs-Geschwindigkeit des Sickerwassers in Relation zum Kalk-Zustand der umgebenden Matrix und ihrer mit Ca-Hydrogencarbonat-Lösung gefüllten Kapillarporen eine bodenspezifische Rolle.

4.3 FE-KONKRETIONEN

Vom Wasserhaushalt her zeigen die Feucht-Schwarzerden weitgehende Ähnlichkeiten mit Pseudogleyen oder auch bestimmten Gleyen (vgl. BLUME, 5). Ein wesentliches morphologisches Kriterium - die sektorale, d. h. horizontal innerhalb eines Horizontes erfolgende Umverteilung des Eisens fehlt jedoch den Feucht-Schwarzerden, wenn man von der relativ schwachen Marmorierung der CS-Horizonte absieht. Eisenoxid-Konkretionen im oberen Teil der CS-Horizonte wurden bislang nicht beobachtet.

Darin unterscheiden sich die Feucht-Schwarzerden des Untersuchungs-Gebietes grundlegend von den Gley-Schwarzerden z. B. des Göttinger Raumes. Diese finden sich überwiegend auf mächtigeren wie auch geringmächtigeren Lössen mit höherem und tieferem, zwar schwankendem, aber permanentem Grundwasser (vgl. z.B. HASE, 7; MÜCKENHAUSEN, 12, Profil 50).

Nach (BEESE, 4) und (MEYER et. al, 10) ist neben der geringen oder fehlenden sektoralen Differenzierung des Boden-Fe auch keine wesentliche Abweichung der vertikalen Fe-Differenzierung von derjenigen normaler automorpher Böden festzustellen. Dies gilt für die Gradienten der dithionit- und oxalat-löslichen Anteile des Boden-Gesamt Fe.

Nach BLUME sind Pseudogleye aus homogenen Sedimenten wie z. B. Löß durch flächige oder konkretionäre Fe-Anreicherungen unterschiedlicher Dimension im unteren Teil des Al- und oberen Teil des Bt-Horizontes bzw. Bg-Horizontes gekennzeichnet. Dieses Phänomen wird mit der Strukturierung dieser Horizonte in Flächen-Poren (Spalten, Zungen) und groben Matrix-Aggregaten (Prismen, Polyeder) in Zusammenhang gebracht. Eindringen von chelatoren-belastetem Wasser in die Prismen-Fugen und Infiltration in die Prismen-Matrix führen zur Konzentrierung des Eisens innerhalb der Matrix-Aggregate.

Als Gründe für das Fehlen dieser Phänomene bei den Feuchtschwarzerden sind anzuführen:

- 1.) Der noch immer relativ hohe Ca-Sättigungsgrad der A-Horizonte, selbst unter Wald.
- 2.) Der mächtige Ah-Horizont (als "ererbtes" morphologisches Phänomen) innerhalb dessen sich die Hauptmasse der Wald-Wurzeln ausbreitet, ohne dabei strukturell zu differenzieren.
- 3.) Der kohärente, d. h. nicht in Prismen und Spalten gegliederte AC- und CS-Horizont, dessen Leitbahnen m.o.w. eng, röhrenförmig und homogen verteilt sind und nur einen geringen Anteil des Poren-Volumens ausmachen.
- 4.) Der Weg der Wasser-Infiltration vom A- in den AC- und CS-Horizont. Er erfolgt Überwiegend durch Übertritt ungespannten Wassers aus dem A-Horizont in gespannter Form in den C-Horizont. Die Matrix des C-Horizontes wird eher aufgesättigt als die Leitbahnen.
- 5.) Der Einschluß von ca. 2-3 Vol% Luft selbst unterhalb des winterlichen Grundwasser-Spiegels.
- 6.) Der hohe Kalkgehalt (pH-Effekt) des AC- und CS-Horizontes.

Zur Nomenklatur: Da die Hildesheimer Feucht-Schwarzerden zwar vom Aspekt des Wasserhaushaltes her den Pseudogleyen zugeordnet werden könnten, ihnen jedoch wesentliche morphologische Merkmale der Stoff-Dynamik von Pseudogleyen - selbst kalkreichen - fehlen, haben wir in den vorliegenden Arbeiten dem Begriff "Feucht-Schwarzerde" den Vorrang gegeben und analog die stark mit Kalkkonkretionen besetzten Schwarzerden in Hangfuß-Lage als Naß-Schwarzerden bezeichnet.

5 Z U S A M M E N F A S S U N G

Im Rahmen der bodenhydrologischen Untersuchung der Löß-Schwarzerde-Griserde-Landschaft nordöstlich von Hildesheim (Mitteilungen I, II, III) befaßt sich die vorliegende Arbeit IV mit der hydrologischen Charakterisierung (Wasserhaushalts-Typ) der heutigen Bodentypen bzw. Boden-/Schichtungstypen und dem modifizierenden Einfluß der Pflanzendecke (Laubwald-Ackerland, Getreide-Rüben).

Ausgehend von den Wasserhaushalts-Diagrammen der einzelnen Bodentyp-/Wasserhaushaltstyp-Areale wird deren hydrologische Verknüpfung im Hinblick auf den Gesamt-Wasserhaushalt der beiden untersuchten Bodenteillandschaften (A: Feucht-Schwarzerde-Landschaft, B: Feuchtschwarzerde-Griserde-Landschaft) behandelt.

In der reinen Feuchtschwarzerde-Landschaft besteht die hydrologische Verknüpfung in den Flachhang-Bereichen des Gebiets im lateralen Wasser-Transport, der im unteren Abschnitt des A-Horizontes erfolgt. Er ist auf die Frühjahrs-Monate beschränkt, nachdem die Winter-Niederschläge die Auffüllung des sommerlichen Wassersättigungs-Defizits im CS-Horizont bewirkt haben und der sich langsam aufbauende Grundwasser-Spiegel in den A-Horizont hinein ansteigt. In der Feuchtschwarzerde-Griserde-Teillandschaft wird dagegen der laterale Wasser-Transport durch den Grundwasser-Abfluß in den zwischen Löß-Decke und Ton-Untergrund eingeschalteten Sand- und Kiesrinnen modifiziert. Das heutige Spektrum der morphologischen Übergangs-Bodentypen zwischen der Feuchtschwarzerde und der Griserde ist pedo-hydrologisch als Spektrum der Übergänge zwischen den Wasserhaushalts-Typen dieser beiden Bodentypen zu deuten: In der Normal-Jahreswasserhaushalts-Bilanz der Feuchtschwarzerde (1.4 m Löß über Ton) besteht bei einer langen und hohen winterlichen Anstau-Phase des Grundwassers zwischen Niederschlags-Summe (N) und Evapotranspiration + Interception (ETI) ein vegetationsbedingter Differenz-Betrag (=Lateral-Abfluß im unteren A-Horizont) von 0 (Wald) bis 125 mm (Ackerland). In der Griserde (Löß über durchgehenden Sandrinnen) fehlt dagegen der Grundwasser-Anstau. Die Differenz (N-ETI) - etwa von gleicher Höhe wie bei den Feucht-Schwarzerden - stellt die Jahresmenge an vertikal abströmendem Sickerwasser dar.

Der dominierende pedogenetische Prozeß und ebenso der mengenmäßig vorherrschende Stoff-Verlagerungs- und Abfuhr-Prozeß in den untersuchten Teillandschaften betrifft das Calciumcarbonat der jungpleistozänen Löß-Decke. Vergleiche zwischen dem heutigen Normal-Wasserhaushalt bzw. der Jahres-Wasserdynamik und der Kalk-Bilanz bzw. -Verteilung am Einzelstandort wie auch in den ausgedehnten Flachhang-Arealen und Senken zeigen, daß die "Entkalkungs-Geschichte" der Bodentypen wie auch der gesamten Teillandschaften unter den heutigen hydrologischen Bedingungen als in der "Endphase" befindlich angesehen werden kann.

Das heutige Bild der Kalk-Verteilung in den Profilen der einzelnen Bodentypen wie auch in den Querschnittsprofilen der Landschaft ist - ähnlich wie bei den mächtigen Schwarzerde-A-Horizonten - als ein Relikt-Phänomen früherer holozäner Klimaeпоchen zu deuten (Atlantikum?). Für diese Klima-Эпоche, die sich an die Phase der Schwarzerde-A-Horizont-Bildung anschloß, werden aufgrund der heutigen pedohydrologischen Befunde kalkulatorische Ansätze hinsichtlich Feuchte-Regime und Zeitdauer gemacht.

Für die rezenten pedomorphologischen Prozesse "Tonverlagerung" (Griserden) und "Marmorierung" (Feucht-Schwarzerden) werden die pedohydrologischen Voraussetzungen diskutiert und die pedohydrologisch-morphologischen Abweichungen und Abgrenzungen zwischen Gleyen und Pseudogleyen einerseits und den Naß- und Feucht-Schwarzerden andererseits behandelt.

Die Untersuchungen basieren auf Messungen von Bodenwasser-Vorräten und Grundwasser-Spiegelständen, die über 3 Jahre hinweg an vielen Standorten fortlaufend durchgeführt wurden, sowie Bestimmungen von Saugspannungs-Gradienten mit Hilfe von Tensiometern in einer Vegetations-Periode. Aus früheren Arbeiten werden die Labor-pF-Charakteristiken herangezogen und mit den natürlichen Saugspannungs-Wassergehalts-Beziehungen verglichen und analytisch erweiternd verfolgt, um Aussagen über Luft-Okklusion und Hysterese-Ursachen zu erhalten.

Im Einzelnen werden behandelt:

- 1.) Die zeitlichen Grundwasser-Ganglinien in den Flachhang-Lagen zur Darlegung der hydrologischen und stofflichen Differenzierung innerhalb der Bodentypen-Catenen (Vergleich Oberhang - Unterhang).

- 2.) Die Beeinflussung der Standorts-Pedohydrologie durch bestimmte Kulturpflanzen mit unterschiedlicher Beanspruchung des Vorrats-Wassers im Hinblick auf die Repräsentanz von stationären Meß-Standorten und die Übertragung von Meß-Werten auf ganze Rotationen (Vergleich Getreide - Zuckerrüben).
- 3.) Methoden der Charakterisierung und Darstellung von Pedohydrotypen mit Hilfe von Vorrats-Amplituden-Jahresdiagrammen und sog. "Pedohydrogrammen", d. h. Normal-Chronoisoplethen-Darstellungen des Luftfüllungs-Grades, der Grundwasser-Ganglinien und der Wassergehalts-Defizite gegenüber voller Wasser-Sättigung.
- 4.) Die jahreszeitliche Abfolge der Wasser-Austausch-Prozesse zwischen Ober- und Unterboden und die Entwicklung eines darauf basierenden Denk- und Kalkulations-Modells für die Standorts-Wasser- und Stoff-(hier: Kalk-)Bilanz.
- 5.) Der Mechanismus der Bodenwasser-Entnahme durch landwirtschaftliche Kulturen (Vergleich Getreide - Rüben) unter den besonderen Struktur-Bedingungen der Schwarzerde (Gefüge-Sprung an der Grenze A/C-Horizont) im Hinblick auf die Frage nach dem "direkten" und "indirekten" Transpirations-Wasserentzug und die wechselnde Lage der Entzugs-Bezugsebene (Wurzelzone).
- 6.) Die Frage der Aufsättigungs-/Entwässerungs-Hysterese in den Saugspannungs-/Wassergehalts-Beziehungen (pF-Charakteristiken). Diese Hysterese beruht im wesentlichen auf Luft-Blockaden des Porengrößen-Bereiches 50 bis 3 $\mu\text{m } \phi$ (pF 1.8 bis 3.0) bei der Wiederaufsättigung des vorher ausgetrockneten Bodens. Sie kann bis zu 6 Vol% betragen und wirkt sich einerseits in Form beträchtlicher Luft-Einschlüsse unterhalb des periodisch auf- und absteigenden Grundwasser-Spiegels aus. Dies ist als eine der Ursachen für das geringe Ausmaß der "Hydromorphie-Merkmale" (Marmorierung) zu bewerten. Andererseits führt die Luft-Okklusion in Aufsättigungs-Phasen zu beträchtlichen "Aussparungen" des potentiell gut wasserleitenden Poren-Raumes des unteren A- und oberen C-Horizont-Abschnittes mit entsprechenden Beeinflussungen der vertikalen und horizontalen pF/K -Beziehungen.

6 L I T E R A T U R

1. Bartels, G., F. Beese, u. B. Meyer, 1973: Der Wasserhaushalt von Feucht-Schwarzerde- und Griserde-Landschaften im Niedersächsischen Löß-Vorland der Mitteldeutschen Schwelle, I: Hydrologische Abgrenzung repräsentativer Landschafts-Ausschnitte. Stratigrafie und Hydrorelief als Faktoren der Bodenvergesellschaftung. Göttinger Bodenkundl. Ber. 22, 1-46(1973)
2. Beese, F., u. B. Meyer, 1973: siehe 1.) II: Poren-Raum und -Verteilung in Beziehung zum Bodentyp als Grundlage für die Kalkulation der Speicher-Kapazität der Bodendecke in der Landschaft, Göttinger Bodenkundl. Ber. 22, 47-81(1973)
3. Beese, F., u. B. Meyer, 1973: siehe 1.) III: Die Hydrobilanz des Feuchtschwarzerde-Repräsentativ-Gebietes Borsum bei Hildesheim, Göttinger Bodenkundl. Ber. 22, 83-135(1973)
4. Beese, F., 1968: Chemische Untersuchungen zur Eisen-Verteilung in den Hildesheimer-Schwarzerden als mögliche Ursache der Oberboden-Aufhellung, Diplomarbeit, Inst.f.Bodenkde, Göttingen
5. Blume, H. P., 1968: Stauwasserböden, Verl. E. Ulmer, Stuttgart
6. Fleige, H., 1967: Die Genese der Hildesheimer Schwarzerden unter besonderer Berücksichtigung der Pedohydrologie, Diplomarbeit, Inst.f.Bodenkunde, Göttingen
7. Hase, D., u. B. Meyer, 1969: Feuchte-Jahresgang, Wasser-Bewegung und -Bilanzen in dicken Würmlöß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichem Grundwasserstand im Raum Niedersachsen, Göttinger Bodenkundliche Berichte 11, 85-183(1969)
8. Ilbasmis, S., 1971: Hysterese der Wasserbindung und der Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Feuchtezustand des Bodens. Am Beispiel einer Parabraunerde aus Löß, Dissertation Landwirtschaftliche Fakultät, Göttingen

9. Kramer, W., u. B. Meyer, 1968: Messungen der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit von Bodenproben natürlicher Lagerung mit Hilfe der Doppelmembran-Apparatur, Göttinger Bodenkundl. Ber. 1, 127-154(1968)
10. Meyer, B., u. Roeschmann, G., 1969: Lößböden im Vorland der Mitteldeutschen Schwelle - Schwarzerde-Gebiet Hildesheim, Exkursionsführer der JBG-Tagg. 1971, Mitteilgn. Dtsch.Bodenkundl.Gesellsch. 13, 287-312(1971)
11. Moschrefi, N., u. B. Meyer, 1968: Bedeutung der Wasserbewegung im ungesättigten Feuchtezustand (unsaturated flow), des Lufteinschlusses und des Grundwasserstandes für Niederschlagsversickerung und Grundwasserspense; Modellversuche an Lößsäulen, Göttinger Bodenkundl. Ber. 1, 1-31(1968)
12. Mückenhausen, E., 1962: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland, DLG-Verlags - G.m.b.H., Frankfurt a.M.
13. Niederbudde, E.A., 1956: Zur Kenntnis der Hildesheimer Schwarzerden, Diplomarbeit, Inst.f.Bodenkunde, Göttingen
14. Schonlau, H.G., 1966: Schwarzerden und daraus herzuleitende Bodenformen im Hildesheimer Raum (Morphosequenzen), Diplomarbeit, Inst.f.Bodenkunde, Göttingen

BEESE, F., B. MEYER u. N. MOSCHREFI

**DER WASSER-HAUSHALT VON FEUCHT-
SCHWARZERDE - UND GRISERDE-LAND-
SCHAFTEN IM NIEDERSÄCHSISCHEN LÖSS-
VORLAND DER MITTELDEUTSCHEN
SCHWELLE**

V

LATERALER WASSER-TRANSPORT IN
DER BODENDECKE ALS POTENTIELLER
FAKTOR DER LANDSCHAFTS-
STOFFBILANZ

(MESSUNGEN MIT TRITIUM-MARKIERTEM WASSER)

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 22, 197-226
(1973)**

G L I E D E R U N G

| | | Seite |
|---|--|-------|
| 1 | <u>Ü B E R S I C H T und F R A G E S T E L L U N G</u> | 199 |
| 2 | <u>S T A N D O R T E und M E T H O D E N</u> | 201 |
| | 2.1 <u>M E S S - S T A N D O R T E</u> | 201 |
| | 2.2 <u>M E T H O D E N</u> | 201 |
| | 2.3 <u>L A B O R - K _F - W E R T E</u> | 203 |
| 3 | <u>E R G E B N I S S E</u> | 204 |
| | 3.1 <u>P L A T E A U - R A N D - S C H W A R Z E R D E O H N E L A T E R A L E M W A S S E R Z U G</u> | 204 |
| | 3.1.1 <u>D i f f u s i o n</u> | 206 |
| | 3.1.2 <u>M e t h o d i s c h e F e h l e r</u> | 207 |
| | 3.1.3 <u>B i l a n z</u> | 208 |
| | 3.2 <u>H A N G - S C H W A R Z E R D E N M I T L A T E R A L E M W A S S E R Z U G</u> | 208 |
| | 3.2.1 <u>K_F-W e r t - K a l k u l a t i o n u n d - V e r g l e i c h</u> | 210 |
| | 3.2.2 <u>N e t ü r l i c h e F i l t e r - G e s c h w i n d i g k e i t</u> | 215 |
| | 3.2.3 <u>T H O - B i l a n z</u> | 218 |
| | 3.2.4 <u>P h a s e n d e r T r a c e r - V e r l a g e r u n g</u> | 218 |
| | 3.2.5 <u>D i s k u s s i o n</u> | 221 |
| 4 | <u>Z U S A M M E N F A S S U N G</u> | 223 |
| 5 | <u>L I T E R A T U R</u> | 225 |

1 ÜBERSICHT und FRAGESTELLUNG

In Mitteilung III (3) dieser Publikations-Folge wurde die Gebiets-Wasserbilanz einer typischen Feucht-Schwarzerde-Teillandschaft im NE von Hildesheim beschrieben. Die Oberflächen-Schicht dieser flach-welligen, weit Überwiegend ackerbaulich genutzten Landschaft wird von einer im Schnitt 1.4 m starken Löß-Decke gebildet, in deren oberen 60 cm ein Schwarzerde-Horizont ausgebildet ist. Die Unterlage besteht aus mächtigen Ton-Gesteins-Schichten der Unterkreide-Formation.

Unter der üblichen Rotation des landwirtschaftlichen Pflanzenbaues - Zucker-Rüben, Winter-Weizen, Winter-Gerste - werden im Schnitt des Witterungs-Normal-Jahres von 665 mm Jahres-Niederschlags-Höhe rund 21 % in Form von Graben-Abflüssen aus der Landschaft abgeführt.

Nach den stratigraphischen Untersuchungen in Mitteilung I (1) bildet der Kreideton die Grundwasser-Sohle der Landschaft. Bei einer Mächtigkeit von über 100 m und einer - zumindest im oberen geomechanischen Kompaktierungs-Abschnitt - extrem geringen Wasser-Leitfähigkeit (vgl. Tab. 1) ist diese Kreideton-Unterlage als nahezu wasser-undurchlässig anzusehen. Eine Vertikal-Versickerung des Boden-Wassers aus der Löß-Decke ist daher in dieser Landschaft als vernachlässigbar gering anzusetzen.

Würde kein lateraler Abfluß des in der Boden-Decke periodisch angestauten Grundwassers innerhalb der Boden-Decke eintreten, so würde bei Zugrundelegung der Normal-Jahreswasserbilanz und Normal-Niederschlags-Verteilung der winterliche Niederschlags-Überschuß ausreichen, um den durch den sommerlichen Evapotranspirations-Wasserentzug beanspruchten Bodenwasser-Vorrat nicht nur völlig aufzufüllen, sondern sogar als Grundwasser-Spiegel an der Boden-Oberfläche auszutreten und dann oberflächlich abzufließen.

Dieser Fall tritt jedoch nicht ein. Nach den in den Mitteilungen III (3) und IV (4) gemachten Ausführungen über die Relationen zwischen Grundwasser-Spiegellhöhen, der Porengrößen-Verteilung in den Boden-Profilen, den Änderungen der Bodenwasser-Vorräte und der Dauer und Intensität der Grabenwasser-Abflüsse ergibt sich folgendes Bild: Schon wenn der im Winter ansteigende Spiegel des Boden-Grundwassers die Höhe von 80 cm unter Oberfläche, d. h. den gegenüber dem tieferen CS-Horizont

gropfporen-reicheren AC-Horizont erreicht, muß ein laterales Fließen des Grundwassers in diesem Horizont einsetzen. Der Grundwasser-Spiegel steigt bis auf 30 cm u.O.. Während dieser Zeit und während der im Frühjahr anschließenden Phase der Wiederabsenkung durch Abfluß und Evapotranspiration auf 80 cm u.O. müssen ca. 125 mm Niederschlags-Höhe lateral in der unteren Hälfte des Schwarzerde-A-Horizontes und im AC-Horizont (also zwischen 30 und 80 cm u.O.) abströmen und auf direktem Wege oder indirekt über eventuell noch wirksame Dräns dem Oberflächen-Entwässerungs-System zugeführt werden.

Im folgenden soll versucht werden, diese - wenn auch gut gesicherten, so letztlich doch nur auf Schlüssen beruhenden Aussagen - auf einem methodisch anderen Wege zu stützen und, wenn möglich, zu ergänzen. Dabei interessiert die Frage, in welchem Ausmaß bei den im Gelände in Hanglage piezometrisch gemessenen Neigungs-Winkeln des Grundwasser-Spiegels eine laterale Verdrängung auch des

- a) Grundwassers zwischen 80 und 140 cm innerhalb des CS-Horizontes und des
- b) gespannten Boden-Wassers oberhalb des Grundwasser-Spiegels im A-Horizont

zu berücksichtigen sind. Dazu soll die Markierung des Boden-Wassers mit THO Anwendung finden. Dies geschieht zugleich in der Erwartung, damit auch eine methodische Möglichkeit zu erhalten, um mit Hilfe von Messungen im Gelände die lediglich im Labor bestimmten K_f -Werte der Boden-Horizonte zu kontrollieren. Zugleich werden auch gewisse Bestätigungen der Hypothesen über den Stoff-Transport in der Landschaft, in erster Linie den Kalk-Transport, erwartet, der in Mitteilung IV (4) behandelt wurde und das Ergebnis von Lösungs-Transport-, Diffusions-, Ausfällung- und Auflösungs-Prozessen in Bezug zur Grundwasser-Dynamik darstellt.

2 STANDORTE und METHODEN

2.1 MESS-STANDORTE

Die THO-Tracer-Messungen wurden an den in Mitteilung I (1), in Karte 2 eingetragenen Tritium-Meßpunkten (TM) durchgeführt und zwar 1969 nur in Hanglage (2 Parallelen), 1970 einmal in Hanglage (Wiederholung) und einmal in Plateau-Randlage (Vergleich). Die Messungen erfolgten unter Winterweizen in der Phase zwischen Grundwasser-Höchststand (Anfang April) bis zur vollständigen Grundwasser-Ausschöpfung (Juli/August). Die Bodentypen der Meß-Areale entsprachen in ihrem Schicht- und Horizont-Aufbau sowie ihren sonstigen morphologischen Eigenschaften dem "Normaltyp" der Hildesheimer Feucht-Schwarzerde: 140 cm Löß-Auflage direkt über der Ton-Unterlage, 60 - 65 cm A-Horizont. Um möglichst starke Grundwasser-Ströme zu erfassen, würden die Meß-Strecken in den Bereich der stärksten Hang-Neigung (ca. 1 %) im südlichen Mittelhang des Höhenrückens zwischen Hönnersum und Borsum gelegt (Catena C I, Mitt. I, Karte 2, südliche TMs).

2.2 METHODEN

Die im Felde verwendete THO-Injektions-Lösung wurde durch Verdünnen von 1 cm^3 THO-Ausgangs-Lösung mit der spez. Aktivität $6.6 \times 10^{10} \text{ dpm} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$ mit Wasser auf 6 l (1969: spez. End-Aktivität $1.1 \times 10^7 \text{ dpm} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-3}$) bzw. 4 l (1970: spez. End-Aktivität 1.65×10^7) hergestellt. Für jeden Injektions-Punkt wurden 10 ml dieser Lösung verwendet.

Im Felde wurden senkrecht zur Oberflächen- (und Grundwasser-)Gefälls-Linie Injektions-Netze angelegt. In Horizontal-Abständen von je 15 cm und Vertikal-Abständen von je 20 cm wurden im Boden unterhalb einer hangparallelen 3 m-(1969) bzw. 2 m-(1970)Linie 176 bzw. 117 THO-Markierungs-Punkte durch Injektion geschaffen. Das dadurch geschaffene Injektions-Netz reichte von der Boden-Oberfläche bis auf die Basis der 1.4 m mächtigen Löß-Decke, d. h. bis auf den Ton-Untergrund.

Die Injektion geschah wie folgt: Mit einer 9 mm starken Stahl-Nadel wurde von oben her bis zur Tiefe des jeweils gewünschten Markierungs-Punktes vorgebohrt. Dann wurde eine 8 mm starke hohle Messing-Lanze

mit einer an mehreren Stellen perforierten Spitze eingeführt. Die 10 ml Injektions-Lösung wurden in die Lanze gefüllt und mittels einer Luftpumpe in den Boden gedrückt. Anschließend wurde mit 5 ml H₂O nachgespült. Durch die Anwendung von Druckluft wurde erwartet, daß bei vorsichtiger Handhabung des Verfahrens auch unterhalb des Grundwasser-Spiegels markiert werden konnte.

Injektions-Termine 1969: 3. u. 4. April 1970: 1. u. 3. April
Probenahme-Termine 1969: 13. Juli 1970: 5. August

Zur Probenahme am Ende der Meß-Zeit wurden senkrecht zur Schnitt-Linie des Injektions-Netzes mit der Oberfläche 3 Linien hangabwärts und auch ein Stück hangaufwärts gezogen. Auf ihnen wurden vom Meß-Netz ausgehend in Horizontal-Abständen von 30 cm mit dem Pürckhauer-Bohrer Bohrkern bis in den Kreideton hinein entnommen. Die Bohr-Kerne wurden in 10 cm lange Proben-Abschnitte zerlegt. Bei diesem Verfahren muß selbst bei sehr sorgfältiger Arbeit mit einem Fehler von ± 5 cm Vertikal-Verschiebung der Tiefen-Meßabschnitte durch Material-Verschleppung und Kompression gerechnet werden. Diese Fehler fallen jedoch bei der Betrachtung der lateralen Wasser-Bewegung kaum ins Gewicht.

Bei einem der 1969 durchgeführten Markierungs-Versuche wurden ferner in ca. 4-wöchigem Abstand vom Injektions-Termin in 0, 20 und 50 cm Abstand vom Injektions-Netz die Veränderungen der spez. Aktivität verfolgt, um Vorstellungen über den zeitlichen Ablauf des Verlagerungs-Prozesses zu erhalten.

Extraktion und Aktivitäts-Messung erfolgten nach dem von HASE et al.(12) beschriebenen Verfahren: Die Bohrkern-Proben werden in 50 ml-Polypropylen-Fläschchen gefüllt, feucht gewogen, mit 5 ml CaCl₂-Lösung versetzt (Konz. 30 mg Ca/l), um den Ton in geflocktem Zustand zu halten und damit die Sedimentation sicher zu stellen, 4 Stunden geschüttelt und anschließend zentrifugiert. Der Bodensatz wird bei 105°C getrocknet und wieder gewogen, um den Ausgangs-Wassergehalt der Probe berechnen zu können. Das Dekantat wird durch ein Blauband-Filter gegeben, um beim Dekantieren eventuell mitgerissene Boden-Flöckchen abzutrennen. 1 ml des Filtrats wird mit der Szintillations-Flüssigkeit im Verhältnis 1:10 gemischt und in einem Flüssigkeits-

Szintillations-Spektrometer (Fa. Packard) gemessen. Um den dabei störenden Einfluß der Phosphoreszenz auszuschalten, wurden die Proben ca. 24 Stunden im Dunkeln aufbewahrt und danach 10 min lang gemessen. - Als Szintillator wurde das Flüssigkeits-Szintillations-System nach WENZEL u. SCHULZE (16) verwendet.

primärer Szintillator: 2.5-Diphenyl-oxazol 7 g

sekundärer Szintillator: 1.4-Di-(5-phenyl-oxazol-2-yl)benzol 0.15 g
Naphtalin 100 g, mit Dioxan als Lösemittel zu 1 l gelöst.

Der Zähl-Wirkungsgrad ($\text{Impulsrate} \times \text{Zerfallsrate}^{-1}$) liegt bei dieser Methode bei ca. 0.13.

Zur Darstellung der Ergebnisse wird einerseits die gemessene spezifische Aktivität der Boden-Lösung ($\text{Impulsrate} \times \text{cm}^{-3} \times \text{min}^{-1}$) und die Aktivitäts-Menge (spez. Aktivität $\times \text{cm}^3$ Boden-Lösung eines bestimmten Boden-Volumens) verwendet.

2.3 LABOR-K_f-WERTE

Als Vergleichs-Basis für die mit Hilfe des Tracers im Felde zu bestimmenden Wasser-Durchlässigkeiten (spez. hydraul. Leitfähigkeiten) der einzelnen grundwasser-führenden Boden-Horizonte wurden im Labor die K_f-Werte an Stechzylinder-Proben aus diesen Horizonten bestimmt. Zu diesem Zweck wurden aus einer Wald- und einer Acker-Feuchtschwarzerde aus den Tiefen 25-30, 55-60, 85-90 und 115-120 cm je 18 100 ml-Stechzylinder-Proben in horizontalem Einstich und aus dem unterlagernden Kreideton (sowie einer Griserde) in vertikalem Einstich entnommen.

Die Proben wurden in der von HARTGE (11) beschriebenen Weise freigeschabt, randlich verdichtet und im Luft-Vakuum mit Wasser aufgesättigt. Die Perkolations erfolgte bei geringen Fließ-Geschwindigkeiten, stationärer Strömung und Raum-Temperatur (22°C). Die K_f-Werte wurden nach der Darcy-Gleichung berechnet.

$K_f = q \cdot J^{-1}$ oder - auf die einzelnen Meß-Größen zurückgeführt:
 $K_f = V \cdot L \cdot F^{-1} \cdot h^{-1} \cdot t^{-1}$

q perkolierende Wassermenge durch Zeit und Querschnitts-Fläche
J Gefälle des hydraulischen Potentials
V Durchfluß-Menge L Probenhöhe F Querschnitts-Fläche
h Druck-Differenz (cm H₂O) t Meß-Zeit

In Locker-Gesteinen und Böden ist die Wasser-Durchlässigkeit eines Grundwasser-Leiters analog definiert

$$K_f = V_f \cdot J^{-1} = Q \cdot F^{-1} \cdot J^{-1}$$

Q Grundwasser-Abflußmenge

F betrachtete Querschnitts-Fläche

J Grundwasser-Gefälle

V_f Filter-Geschwindigkeit (flux)

3 ERGEBNISSE

3.1 PLATEAU-RAND-SCHWARZERDE OHNE LATERALEN WASSERZUG

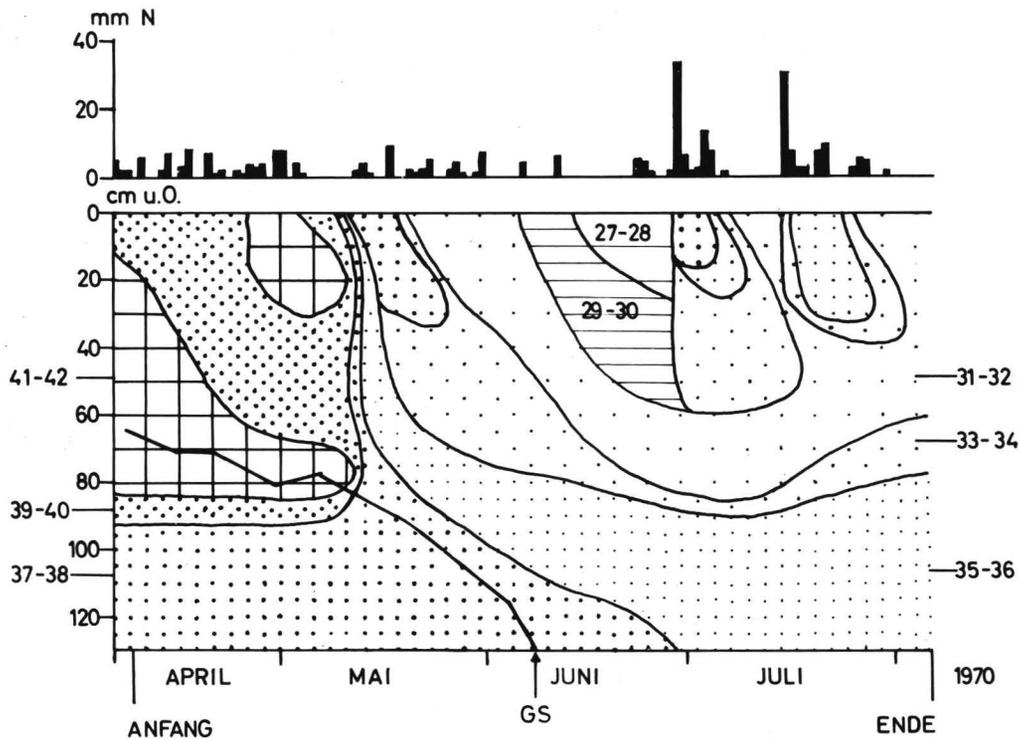
Das THO-Injektions-Netz wurde am 3. April 1970 angelegt, die Probe-Entnahme am 5. August 1970 durchgeführt. Meß-Standort war die Feuchtschwarzerde-Plateaulage zwischen Borsum und Hönnersum NE Hildesheim (vgl. Mitt. I, Karte 2, nördlicher "TM"-Punkt, 1). Unter hydrologischen Normal-Bedingungen ist auch an diesem Standort mit einem lateralen Wasser-Abzug zu rechnen, weil der Grundwasser-Spiegel höher ansteigt, als das im Versuchsjahr 1970 der Fall war. Dann wird die in Mitt. IV, Abb. 1 (4) erkennbare hydraulische Wasserscheide nicht wirksam, Grundwasser zieht lateral über die Kante des die Löß-Decke unterlagernden Kreide-Tons ab.

Der vorausgegangene Sommer 1969 war jedoch relativ trocken gewesen, und die Meß-Fläche hatte unter Zucker-Rüben gestanden, deren Wasserverbrauch wesentlich höher als der von Getreide ist. Dadurch war das Sättigungs-Defizit des Bodenwassers zu Beginn des Winters 1969/70 so groß geworden, daß die winterliche Wiederauffüllung der Bodenwasservorräte - abweichend von den hydrologischen Normal-Verhältnissen - nicht ausreichte um den Grundwasser-Spiegel höher als 65 cm u. 0. ansteigen zu lassen. Demzufolge konnte im Frühjahr 1970 kein lateraler Grundwasser-Abfluß stattfinden.

Abb. 1 bringt das Wassergehalts-Chronisoplethen-Diagramm und den Gang des Grundwasser-Spiegels im Boden dieses Meß-Standortes.

Das Injektions-Netz war so angelegt, daß sich theoretisch innerhalb jedes 10 cm Tiefen-Abschnittes eine Aktivitäts-Menge von $7 \cdot 10^{-7}$ [Impuls-Zahl \times (cm³ Boden-Lösung)⁻¹ \times min⁻¹ \times Bodenwasser-Menge] unter Berücksichtigung eines Zählwirkungs-Grades von 13 % befinden mußte.

Abb.1: Wassergehalts - Chronoisoplethen (Vol%), Grundwasser - Gang und Niederschläge für die Plateau - Feuchtschwarzerde während des THO-Versuchs.



Nach Ablauf der 124-tägigen Versuchs-Dauer wurde für jeden 10 cm-Tiefen-Abschnitt, soweit sich die horizontale Ausbreitung des Tracers nachweisen ließ - das waren beidseitig ca. 60 cm Abstand vom Injektions-Netz - die Aktivitäts-Mengen aufsummiert. Abweichend vom fiktiven Ausgangs-Zustand wurden die in Tab. 1 angegebenen Aktivitäts-Mengen wiedergefunden.

Tab. 1: Aktivitäts-Mengen und Grundwasserstands-Dauer in den Tiefen-Abschnitten der Feucht-Schwarzerde in Plateau-Lage

| cm Tiefe | Straten | Horizonte | Grundwasserstand-Tage (nach Injektion) | Aktivitäts-Menge nach 124 Tagen in % der vorgegebenen Gesamtmenge |
|----------|-----------|-----------|---|---|
| 0- 10 | Löß | Ap | | 0,41 |
| 10- 20 | " | " | | 2,04 |
| 20- 30 | " | " | | 5,31 |
| 30- 40 | " | Ah | | 5,10 |
| 40- 50 | " | " | | 11,53 |
| 50- 60 | " | " | | 8,47 |
| 60- 70 | " | A/CS | 7 | 12,04 |
| 70- 80 | " | " | 20 | 11,94 |
| 80- 90 | " | CS | 40 | 5,61 |
| 90-100 | " | " | 45 | 6,63 |
| 100-110 | " | " | 52 | 4,90 |
| 110-120 | " | " | 57 | 2,86 |
| 120-130 | " | " | 60 | 3,57 |
| 130-140 | " | " | 60 | 0,61 |
| 140-150 | Kreideton | " | | 0,20 |
| | | | | 81,22 |

3.1.1 Diffusion

Trotz unterschiedlicher Aktivitäts-Mengen zeigte sich in allen Tiefen-Abschnitten fest dieselbe horizontale Verteilung der spez. Aktivität. Setzt man die in der Vertikal-Ebene des Injektions-Netzes wiedergefundenen spezifischen Aktivitäten gleich 100 und bezieht die

in bestimmten Abständen von dieser Netz-Fläche gefundenen spezifischen Aktivitäten auf diesen Wert, so ergeben sich für den Gesamt-Querschnitt des Bodens folgende Durchschnitts-Werte für die laterale Aktivitäts-Verteilung.

| | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| cm | -40 | -30 | -20 | -10 | +0 | +10 | +20 | +30 | +40 |
| | 4 | 7 | 35 | 65 | 100 | 70 | 38 | 9 | 4 |

Diese Verteilung ist allein der Diffusions-Ausbreitung des Tracers zuzuordnen. Die Verteilungs-Symmetrie läßt erkennen, daß die diffusive Ausbreitung nicht von einem lateralen Wasser-Transport gestört wurde.

3.1.2 Methodische Fehler

Die vertikale Verteilung der Aktivitäts-Mengen läßt ein meßmethodisches Problem erkennen, das in gleicher Weise auch für die weiter unten behandelten Messungen im Hang-Bereich gilt. Es besteht darin, daß die vorgesehene gleichmäßige Verteilung des Tracers über das Injektions-Netz mit Hilfe des gewählten Injektions-Verfahrens nicht gelungen war.

Unterhalb des zum Injektions-Termin existierenden Grundwasser-Spiegels sind die Aktivitäts-Mengen weit geringer als vorgesehen, im Bereich dicht unterhalb und oberhalb des Spiegels dagegen wesentlich höher. Die beträchtlichen Differenzen können kaum durch einen kapillaren Wasser-Austausch während der Versuchs-Zeit erklärt werden. Sie müssen auf Fehlern bei der Injektion beruhen. Es besteht die Möglichkeit, daß nach erfolgter Vorbohrung während des Einbringens des Tracers mit der Injektions-Sonde unterhalb des Grundwasser-Spiegels das aus der Sonde herausgedrückte Tritium-markierte Wasser durch hochdrückendes Grundwasser nach oben verdrängt wurde. Auch kann wegen der vollständigen Wasser-Erfüllung der Bohrloch-Wandung die Tracer-Lösung beim Auspressen aus der Lanze direkt im Bohrloch nach oben gedrückt worden sein.

3.1.3 Bilanz

Die injizierte Aktivitäts-Menge ist während der Versuchs-Dauer, die sich nahezu mit der Haupt-Transpirations-Zeit des Winter-Weizens deckt, um 18.8 % verringert worden. Gleichzeitig hat sich der Ausgangs-Wasservorrat des Bodens um 17 % erniedrigt. Aus Abb. 1 geht jedoch hervor, daß nach einer annähernd kontinuierlichen Abnahme des Wasser-Vorrates bis Ende Juni eine vorübergehende partielle Wiederauffüllung der Vorräte durch Niederschläge erfolgt ist. Bis zu diesem Zeitpunkt waren die Wasser-Vorräte des Bodens um 22 % erniedrigt worden. Es besteht somit eine recht gute Deckung der Wassergehalts-Abnahme mit der Verringerung der Aktivitäts-Menge im Boden.

3.2 HANG-SCHWARZERDEN MIT LATERALEM WASSERZUG

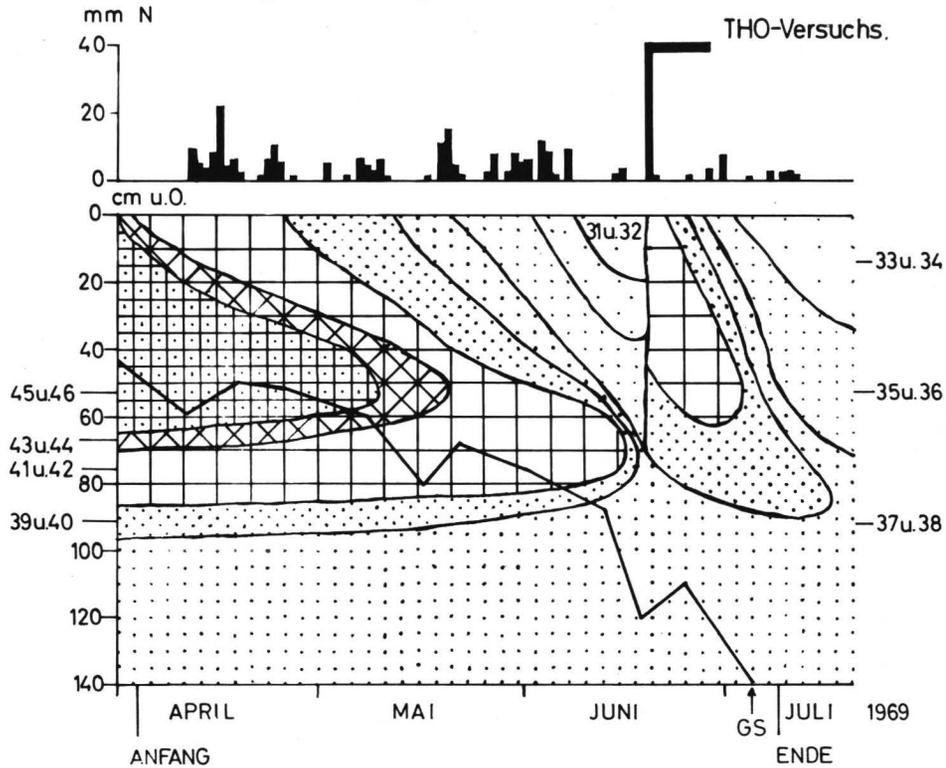
Die beiden 1969 und der eine in 1970 durchgeführte Versuch zeigen in ihrem End-Ergebnis - wenn man die Unterschiede im Verlauf der Boden-Wassergehalts-Änderungen und des Grundwasser-Ganges zwischen diesen beiden Versuchs-Jahren berücksichtigt - trotz unterschiedlicher Meß-Dauer eine so weitgehende Übereinstimmung, daß nur eines der 3 Meß-Beispiele dargestellt zu werden braucht. Gewählt wird dasjenige, bei dem zusätzlich während der Laufzeit des Versuchs Probe-Entnahmen in bestimmten Zeit-Abständen vom Injektions-Termin und bestimmten Distanzen vom Injektions-Netz vorgenommen worden waren.

Abb. 2 stellt das Chronoisoplethen- und Grundwassergangs-Diagramm des Bodens an diesem Meß-Standort während der Versuchs-Zeit dar.

Abb. 3 gibt rechts für die einzelnen Tiefen-Abschnitte des Bodens die Dauer der Füllung mit Grundwasser in Tagen vom Injektions-Termin an gerechnet an. In der Mitte ist die Verteilung der spezifischen Aktivität der Bodenlösung am Versuchs-Ende im Aufriß dargestellt. Links sind die Aktivitäts-Mengen für die einzelnen Tiefen-Abschnitte und für das Profil aufsummiert.

Die Verteilung der spezifischen Aktivität läßt auf den ersten Blick gegenüber dem Plateau-Standort eine beträchtliche hangabwärts gerichtete Verlagerung des Tracers erkennen. Sie übertönt die beidseitig

Abb. 2: Wassergehalts-Chronoisoplethen(Vol%),Grundwasser-Gang und Niederschläge für die Hang-Feuchtschwarzerde während des



vom Injektions-Netz aus erfolgende diffusive Ausbreitung des Tracers stark.

Die Bilanz der Aktivitäts-Menge zeigt einen Gesamt-Verlust gegenüber der Ausbringungs-Menge von 20 %, ist also fast genau so groß wie in der Plateau-Situation. Doch ergibt sich hier die Frage, ob dieser Verlust ebenfalls nur der Evapotranspiration während der Versuchsdauer zuzuschreiben ist, oder ob es sich hier um Verluste durch laterales Abströmen oder laterale Verdrängung durch abströmendes oberflächennahes Grundwasser handelt.

3.2.1 K_f-Wert-Kalkulation und -Vergleich

Tab. 2 bringt eine Zusammenstellung von den K_f-Werten, die im Labor an Stechzylinder-Proben aus Horizonten der Bodentypen des Untersuchungs-Gebietes bestimmt worden waren. Im folgenden wird die hangabwärts gerichtete Tracer-Verlagerung für die Kalkulation von K_f-Werten verwendet, die mit den labormäßig ermittelten Werten zu vergleichen sind. Dazu sind aus Tab. 1 die für die Feuchtschwarzerde unter Acker angegebenen Werte für die Tiefen unterhalb von 35 cm Tiefe heranzuziehen.

Voraussetzungen für die Kalkulation der K_f-Werte aufgrund von Messungen der lateralen THO-Ausbreitung sind:

- 1.) Vollständige Sättigung des betreffenden Boden-Tiefen-Abschnitts mit Grundwasser,
- 2.) die Anwendung eines verlässlichen Kapillar-Modells für den Strömungs-Transport.

Zu 2.) ist auszuführen: Das Auftreten des Tracers in einem bestimmten Abstand von der Injektions-Stelle nach Ablauf einer bestimmten Zeit gibt allein noch nicht die tatsächlich vom Grundwasser durchlaufene Filter-Strecke an. Dies liegt an der in Kapillar-Systemen gegebenen unterschiedlichen Strömungs-Geschwindigkeit der einzelnen Lamina. Nach NIELSEN u. BIGGAR (13) bietet sich ein modellmäßiger Lösungs-Ansatz auf dem Wege über das Strömungs-Verhalten von Lösungen in Kapillar-Röhren mit konstantem Durchmesser. Verdrängt hierin eine

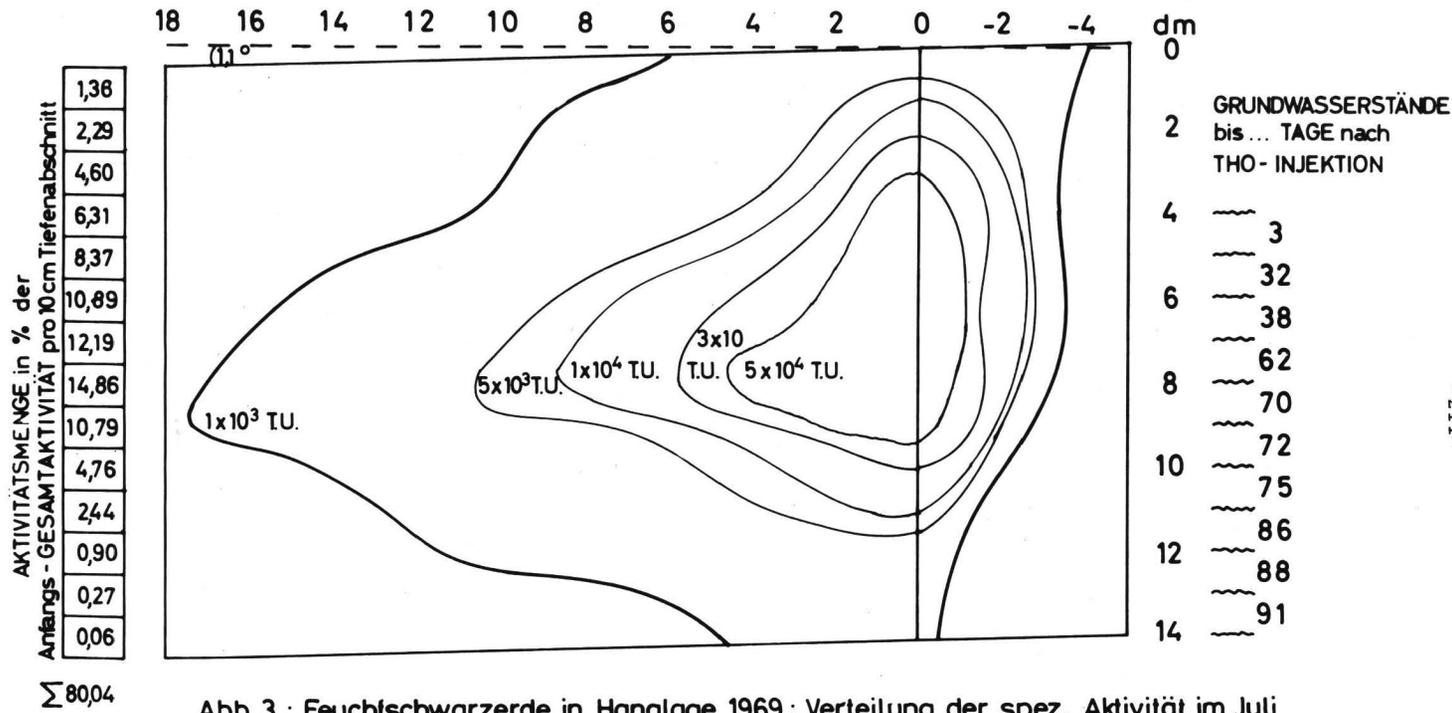


Abb. 3 : Feuchtschwarzerde in Hanglage 1969 : Verteilung der spez. Aktivität im Juli (0 Injektionsnetz, 3. April), Aktivitäts-Mengen und Dauer der Grundwasser - Stände in den Tiefen - Abschnitten.

Lösung das reine Lösemittel (z. B. Wasser mit THO das reine Wasser), so hat aufgrund der Paraboloid-Form für die Strömungs-Front im Augenblick des "Durchbruchs", d. h. wenn die Spitze des Paraboloids das andere Ende des Kapillar-Rohres erreicht und hier die ersten Spuren der Lösung nachweisbar sind, die verdrängende Lösung erst die Hälfte des in der Kapillare enthaltenen Lösemittels ersetzt. Die mittlere Fließ-Strecke der Lösung wäre demnach die Hälfte der Distanz zwischen der Injektions-Ebene und der Ebene, in der die geringsten Spuren des Tracers nachweisbar sind. In Untersuchungen von BIGGAR u. NIELSEN (7) sowie COREY u. HORTON (9) an definiert aus Aggregaten zusammengesetzten Boden-Proben erwies sich das genannte Kapillar-Modell in Verbindung mit der Bestimmung des Durchbruchs-Verhaltens in der Boden-Probe für eine Festlegung der Filter-Strecke geeignet, wenn Fließ-Geschwindigkeiten eingehalten wurden, die den in unserem Falle aus den Labor- K_f -Werten und den im Gelände vorliegenden hydraulischen Druck-Verhältnissen berechneten entsprechen.

Die Berechnung der K_f -Werte aus der Tracer-Wanderung wurde wie folgt durchgeführt. Am Ende der Meß-Zeit wurden für jeden Tiefen-Abschnitt des Bodens die maximalen Ausbreitungs-Distanzen (Nachweisbarkeits-Grenzen) vom Injektions-Netz bestimmt (s.o.), die Hälfte dieser Distanz als mittlerer Verdrängungs-Weg genommen und durch die Zeit dividiert, während derer der betreffende Horizont, vom Injektions-Termin an gerechnet, mit Grundwasser gefüllt war. Als hydraulischer Gradient wurde die Neigung des Grundwasser-Spiegels zwischen den Endpunkten der Meß-Strecke genommen. Das war möglich, weil sich der Grundwasser-Spiegel im Verlauf der Meß-Zeit oberflächenparallel absenkte.

3.) Die dritte Voraussetzung für einen solchen Weg, deren Berechtigung aber nach den Befunden von BERTSCH u. SCHWILLE (6) gegeben ist, besteht darin, daß das Grundwasser in den einzelnen Horizonten, soweit sie in sich strukturell homogen und unterschieden gegenüber den darunter und darüber angrenzenden Horizonten sind, ohne turbulente Vermischung in abgegrenzten Straten unterschiedlicher Fließ-Geschwindigkeit strömt. Soweit diese Straten parallel zur Stau-Sohle angeordnet sind, spielt die Höhe des Grundwasser-Spiegels keine Rolle. Im Falle unseres THO-Injektions-Netzes müßte es auf diese Weise zu relativen Verschiebungen der THO-Konzentrationen durch die unterschiedlich rasche

Tab.2: Labor K_f -Werte

Acker- u. Wald-Feuchtschwarzerde = horizontal, n=18

Griserde u. Kreideton = vertikal, n=18

| TYP | TIEFE | K_f -WERTE | | SCHWANKUNGSBER. | | DURCH- LÄSSIGKT. |
|-----------------------------------|---------|----------------------|------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | | cm/sec | cm/d | | | |
| Feucht- Schwarzerde (Acker) | 25-30 | $6,3 \times 10^{-3}$ | 550 | $8,1 \times 10^{-2}$ | $1,2 \times 10^{-4}$ | mittlere |
| | 55-60 | $6,1 \times 10^{-2}$ | 5300 | $8,9 \times 10^{-2}$ | $3,1 \times 10^{-3}$ | starke |
| | 85-90 | $4,8 \times 10^{-3}$ | 420 | $3,6 \times 10^{-2}$ | $7,4 \times 10^{-4}$ | mittlere- schwache |
| | 115-120 | $1,8 \times 10^{-4}$ | 15 | $4,9 \times 10^{-3}$ | $1,2 \times 10^{-5}$ | schwache- sehr schw. |
| Feucht- Schwarzerde (Wald) | 25-30 | $8,8 \times 10^{-2}$ | 7400 | $8,6 \times 10^{-2}$ | $2,9 \times 10^{-3}$ | starke |
| | 55-60 | $7,7 \times 10^{-2}$ | 6700 | $1,7 \times 10^{-1}$ | $4,2 \times 10^{-3}$ | starke |
| | 85-90 | $8,6 \times 10^{-3}$ | 750 | $6,1 \times 10^{-2}$ | $8,2 \times 10^{-4}$ | mittlere |
| | 115-120 | $2,5 \times 10^{-4}$ | 20 | $7,1 \times 10^{-3}$ | $6,8 \times 10^{-5}$ | schwache- sehr schw. |
| Griserde (Acker) | 25-30 | $8,6 \times 10^{-3}$ | 730 | $2,1 \times 10^{-2}$ | $8,5 \times 10^{-4}$ | starke - mittlere |
| | 55-60 | $4,2 \times 10^{-3}$ | 360 | $3,4 \times 10^{-2}$ | $4,1 \times 10^{-4}$ | mittlere- schwache |
| | 85-90 | $2,8 \times 10^{-3}$ | 250 | $8,5 \times 10^{-3}$ | $1,6 \times 10^{-4}$ | mittlere- schwache |
| | 115-120 | $1,8 \times 10^{-3}$ | 160 | $2,8 \times 10^{-2}$ | $3,1 \times 10^{-4}$ | mittlere- schwache |
| Kreideton | >140 | $5,4 \times 10^{-6}$ | 0,5 | $4,1 \times 10^{-5}$ | $7,8 \times 10^{-7}$ | extrem schwache |

Lateral-Verdrängung der Grundwasser-"Blöcke" in den einzelnen Horizonten kommen. Daneben muß jedoch auch berücksichtigt werden, daß im Falle einer solchen durch Lateral-Strömung ausgelösten vertikalen Konzentrations-Differenzierung auch ein diffusiver Wiederausgleich der vertikalen Konzentrations-Unterschiede stattfindet. Dieser mag im Vergleich zum lateralen Transport gering sein, kann aber besonders bei einer nur geringen Geschwindigkeits-Differenz der einzelnen Grundwasser-Straten eine Verwischung der Konzentrations-Sprünge an den Horizont-Grenzflächen bewirken.

Geht man davon aus, daß das in Abb. 3 dargestellte Verteilungs-Diagramm der spezifischen Aktivitäten des Boden-Wassers, successiv zu den Zeitpunkten fixiert wurde, zu denen in den einzelnen Tiefen-Abschnitten die Grundwasser-Füllung zum Erliegen kam und setzt man als Tracer-Laufzeit für die einzelnen Horizonte die Zahl der Tage mit Grundwasser-Füllung an, so ergeben sich die in Tab. 3 aufgeführten K_f -Werte:

Tab. 3: Labor- und Gelände- K_f -Werte in cm/d (bzw. cm/sec)

| Tiefe cm | im Gelände bestimmte K_f -Werte | | Labor- K_f -Werte |
|-------------|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | 1969 | 1970 | |
| 50-60 | 113 (13×10^{-4}) | 135 (16×10^{-4}) | 5300 (610×10^{-4}) |
| 80-100 | 49 (5.6×10^{-4}) | 55 (6.3×10^{-4}) | 420 (48×10^{-4}) |
| 110-130 | 24 (2.82×10^{-4}) | 18 (2.03×10^{-4}) | 15 (1.8×10^{-4}) |

Danach stimmen im CS-Horizont (110-130 cm) die anhand der THO-Verlagerung bestimmten K_f -Werte recht gut mit den Labor-Werten überein. Nach oben hin vergrößert sich die Differenz, wobei den Labor-Werten mehr Vertrauen gebührt. Die mit Tritium-Markierung gewonnenen K_f -Werte sind zu niedrig, um bei den bestehenden natürlichen hydraulischen Gradienten einen lateralen Grundwasser-Abfluß von der Größe zustandekommen zu lassen, wie er sich aus den Bilanz-Untersuchungen ergeben hatte. Selbst wenn man das doppelte Verdrängungs-Volumen für die Berechnung der K_f -Werte verwenden würde, d. h. den Abstand der Tracer-Front vom Injektions-Netz als Filter-Strecke ansetzen würde, wie das HAMID u. WARKENTIN (10) getan haben, würden

sich keine mit dem tatsächlichen lateralen Abfluß korrespondierenden K_F -Werte ergeben. D. h. die oben unter 2.) und 3.) gemachten Voraussetzungen scheinen für den unteren A-Horizont-Abschnitt der Feucht-Schwarzerde nicht zuzutreffen.

Ursachen dafür können sein: Der Grundwasser-Transport ist in den stabil und grob aggregierten Horizonten auf die wenigen groben Sekundär-Poren zwischen den Aggregaten beschränkt. Zwischen dem in den Aggregat-Zwischenräumen schnell fließenden Grundwasser und dem innerhalb der großen Aggregate ruhenden Wasser findet nur ein langsamer diffusiver THO-Ausgleich statt. Nach BIGGAR u. NIELSEN (7) führt dies zu einer Verwischung der Tracer-Fronten, die so stark sein kann, daß überhaupt keine "Front" zustande kommt. Die zur Berechnung der K_F -Werte herangezogenen "Fronten" sind oberhalb von 80 cm Tiefe auch insofern problematisch, als sie Fronten der "Tracer-Nachweisbarkeit" darstellen, deren Lage zusätzlich durch den im Wechsel von Evapotranspiration und Niederschlägen sowie durch Diffusion erzeugten vertikalen THO-Konzentrations-Ausgleich im Boden-Profil verändert wurde. Sie stellen somit im eigentlichen Sinne keine Transport-Fronten dar.

3.2.2 Natürliche Filter-Geschwindigkeit

Im Chronoisoplethen-Diagramm der Abb. 3 zeigen die rechts, d. h. hangaufwärts vom Injektions-Netz (0-Linie) liegenden Abschnitte der Flächen gleicher spez. Aktivität der Boden-Lösung an, daß entgegengesetzt zu der hangabwärts, d. h. von rechts nach links gerichteten Strömungs-Verlagerung des Tracers auch eine diffusive Ausbreitung hangaufwärts stattgefunden hat. Dieses Phänomen ist nur unter zwei Bedingungen denkbar:

- 1.) Der laterale Flux des Hangwassers ist kleiner als die Geschwindigkeit der (nachweisbaren) Diffusions-Front. Dies trifft wohl im wesentlichen nur für die unteren grundwasser-führenden Horizonte zu (CS).
- 2.) Der Grundwasser-Flux ist größer als die Geschwindigkeit der Diffusions-Front, aber die Grundwasser-Bewegung kommt zu einem bestimmten Zeitpunkt durch Wasser-Aufbrauch zum Stillstand.

Im gespannten Restwasser-Anteil des betreffenden Horizontes (z. B. A, AC) kann dann die Rück-Diffusion wirksam werden.

Links von der in Abb. 3 stark ausgezogenen äußeren Begrenzungslinie des Tracer-Feldes wird im Boden nur die natürliche Grund-
Impulsrate des Bodenwassers (0-Effekt) gemessen. Bei einer weniger kritischen Betrachtung ließe sich aus der Form des Aktivitäts-Verteilungsfeldes folgern, daß die laterale Verdrängung (lateral displacement) des Grundwassers in den einzelnen Tiefen-Abschnitten des Profils etwa der halben Distanz zwischen Injektions-Netz und Tracer-Front entspricht. Dann würde z. B. die unterhalb von 120 cm Tiefe durchlaufene kurze Filter-Strecke von 20 cm allein durch den geringen K_f -Wert zu erklären sein, weil hier fast die ganze Versuchs-Zeit hindurch eine volle Sättigung des Poren-Raumes durch Grundwasser herrschte. Im Mittel-Abschnitt (70 - 100 cm) wäre die längere Filter-Strecke von bis zu 90 cm Länge einerseits durch den wesentlich höheren K_f -Wert, andererseits aber durch das frühere Ende der Grundwasser-Füllung in dieser Tiefen-Lage zu erklären. - Man könnte dann ferner den sich von unten nach oben verbreiternden Diffusions-Saum rechts vom Injektions-Netz als Ausdruck für die von oben nach unten zunehmende Dauer der Grundwasser-Durchtränkung des Bodens bewerten.

Diese oberflächliche Interpretation begegnet jedoch sofort der Schwierigkeit, daß eine laterale THO-Verlagerung auch in denjenigen Oberboden-Horizonten nachzuweisen ist, in denen nicht das Grundwasser gestanden hat. Da hier nicht angenommen werden kann, daß die laterale Verlagerung des Tritiums in wesentlichem Umfang durch eine laterale Verdrängung des gespannten Boden-Wassers zustande gekommen ist, muß auf einen vertikalen Tracer-Aufstieg aus tieferen Horizonten mit stärkerer lateraler Grundwasser-Bewegung geschlossen werden. Dieser Aufstieg basiert einerseits auf Diffusion, andererseits auf kapillarem Anstieg infolge Kompensation des Evapotranspirations-Wasserentzuges im Oberboden.

Dieser Prozeß des vertikalen THO-Konzentrations-Ausgleichs zwischen Horizonten mit fließendem Grundwasser und Horizonten mit ruhendem Kapillar-Wasser verschleiert gerade in den Grundwasser-Horizonten das Oberbodens mit hoher Wasser-Leitfähigkeit die tatsächliche

Filter-Geschwindigkeit, weil sie zu einer fortgesetzten Tracer-Verdünnung im lateral strömenden Grundwasser führt. Dabei kann die THO-Konzentration leicht auf den 0-Wert sinken. Das bedeutet, daß der Betrag der lateralen Grundwasser-Verdrängung um ein Vielfaches größer sein kann als der Verschiebungs-Betrag der Tracer-Front, die hier überhaupt keine Front im Sinne eines Konzentrations-Sprunges zu sein braucht, sondern lediglich eine Nachweisbarkeits-Grenze in einem Konzentrations-Feld mit sanft abfallendem Gradient.

Wenn es in solch einem oberflächen-nahen Grundwasser-Horizont nach einem anhaltenden lateralen Wasser-Durchsatz zum Stillstand der Wasser-Bewegung kommt, kann es in diesem Horizont durch Zudiffusion von Tracer aus drunter- oder drüberliegenden Horizonten sowie durch aufsteigende Wasser-Bewegung im ET-Wasserstrom aus drunterliegenden Horizonten zu einer Wiederanreicherung von THO kommen, die allein schon wieder zu einer lateralen Verschiebung der Tracer-Nachweisbarkeits-Front führen würde. Dies ist im vorliegenden Beispiel mit einiger Sicherheit im Tiefen-Abschnitt zwischen 40 und 80 cm u. 0. zu vermuten.

Als komplizierendes Moment tritt hinzu, daß es genau so wie in Plateau-Lage (vgl. Abs. 3.1.2) auch hier in Hanglage nicht gelungen war, innerhalb des Injektions-Netzes gleiche Tracer-Konzentrationen auszubringen. Die dadurch verursachten Fehler würden sich allerdings mehr im unteren Profil-Abschnitt auswirken, wo sich der laterale Verdrängungs-Prozeß andererseits recht gut quantitativ verfolgen läßt. In den problematischen, d. h. für den Haupt-Grundwasser-Abfluß in Frage kommenden Horizonten zwischen 40 und 100 cm Tiefe war dagegen von vornherein eine überdurchschnittliche THO-Konzentration vorgegeben, so daß hier der meßtechnisch bedingte Fehler als geringer anzusetzen ist.

3.2.3 THO-Bilanz

Aus der linken Kolumne in Abb. 3 ergibt sich ein Gesamt-Verlust der ausgebrachten THO-Aktivitäts-Menge von ca. 20 % - ein Wert in gleicher Höhe wie in der Plateau-Lage ohne Lateral-Wasserzug. Faßte man die in Abb. 3 gezogene Tracer-Aktivitäts-Nachweis-Linie einfach als Ausbreitungs-Linie des Tracers auf, so würde zu folgern sein, daß die Aktivitäts-Verluste - wie in der Plateau-Situation - allein auf Evapo-Transpirations-Verlusten beruhen.

Diese Folgerung ist aus den im vorhergehenden Absatz genannten Gründen - unzureichende Verlässlichkeit der lateralen Ausbreitungs-Grenzfläche des Tracers in erster Linie - nicht haltbar. Der aufgrund der Tracer-Verbreitungs-Grenze naheliegende Schluß auf eine sehr geringe Filter-Geschwindigkeit des Hang-Grundwassers ist auch aus dem Grunde nicht zulässig, weil die während der THO-Meß-Dauer gleichzeitig durchgeführte Beobachtung des durch lateralen Grundwasser-Zug in 40-80 cm Tiefe gespeisten Graben-Abflusses große Filter-Geschwindigkeiten und Grundwasser-Durchsätze für diese Tiefen ergab. Danach bleibt die Möglichkeit offen, daß die 20 % Aktivitäts-Mengenverlust allein durch lateralen Hang-Grundwasser-Abfluß bedingt sind und sich dabei hauptsächlich auf die Abfluß-Mengen in 40-80 cm Tiefe konzentrieren. Die in Abb. 3 dargestellte Konzentrations-Verteilung im Oberboden wäre dann überwiegend als das Ergebnis der THO-Rückverteilung durch Diffusion und Evapotranspirations-Hub nach Absenkung des Grundwasser-Spiegels unter die 80 cm-Marke zu erklären. Der Evapotranspirations-Verlust an Tracer dürfte dann gegenüber dem lateralen Abwanderungs-Verlust gering sein, da die durch die Evapotranspiration direkt beanspruchten Horizonte schon frühzeitig weitgehend an THO verarmt waren.

3.2.4 Phasen der Tracer-Verlagerung

Genauere Aufschlüsse zu dieser Frage ließen sich nur erhalten, wenn die Aktivitäts-Chronoisoplethen-Diagramme zu verschiedenen Zeitpunkten ermittelt worden wären. Dies ist aus Zeit- und Kosten-Gründen nicht geschehen. Einen ungefähren Anhalt für die obengenannten Möglichkeiten

der Umverteilung des Tracers liefern die Aktivitäts-Verteilungs-Kurven in Abb. 4. Sie wurden im Bereich des Injektions-Netzes und in 20 und 50 cm Entfernung hangabwärts vom Injektions-Netz zu 3 verschiedenen Zeitpunkten aufgenommen.

Eine Kurve der vertikalen Konzentrations-Verteilung zu Beginn des Versuchs kann nicht angegeben werden. Für eine im Hinblick auf das Bohrproben-Entnahme-Verfahren ausreichende diffusive Verteilung der Injektions-Lösung innerhalb des Injektions-Netzes wäre eine gewisse Zeit benötigt worden, während derer aber bei der starken Grundwasser-Bewegung auch schon wieder laterale Transport-Prozesse wirksam geworden wären.

Vergleicht man die Kurven-Züge für die vertikale Aktivitäts-Verteilung in den 3 gewählten Abständen, so ergibt sich, daß zu allen 3 Zeitpunkten das Maximum der horizontalen Aktivitäts-Verteilung in der Ebene des Injektions-Netzes liegen bleibt. Das heißt: Es kommt nicht - wie bei den Untersuchungen von BLUME, MÜNNICH u. ZIMMERMANN (8) über die Verlagerung von gespanntem Wasser in einer Löß-Parabraun-erde an stärker geneigten Hängen - zu einer lateralen Verdrängung des Aktivitäts-Peaks. Er bleibt vielmehr in der Netz-Ebene liegen und schwächt fortlaufend ab. In einigen Horizonten kann es zwar in 20 cm Abstand zu einer Angleichung der Werte an die der Injektions-Ebene kommen, doch ist diese Angleichung nur vorübergehend.

Oberhalb des zu Beginn vorhandenen Grundwasser-Spiegels ergeben sich dabei folgende Besonderheiten: In den ersten 19 Tagen nach der Injektion fallen rund 50 mm Niederschlag, die durch den oberen A-Horizont-Abschnitt zum Grundwasser sickern. Sie verdrängen im Oberboden offenbar große Anteile des injizierten THO-Wassers, das mit dem Strom der obersten Grundwasser-Strate lateral verfrachtet wird. Von diesem Grundwasser-Strom aus diffundiert ein Teil des mitgeführten THO wieder nach oben. Dies ist im 20 cm-Abstand vom Injektions-Netz an den innerhalb der ungesättigten Zone von oben nach unten steigenden spezifischen Aktivitäten zu erkennen. Die laterale Verfrachtung des Tracers erfolgt 3 Tage lang im Grundwasser-Horizont zwischen 40 und 50 cm Tiefe und insgesamt 38 Tage lang zwischen 50 und 70 cm. Danach kommt der laterale Transport in dem betreffenden Horizont jeweils zum Erliegen.

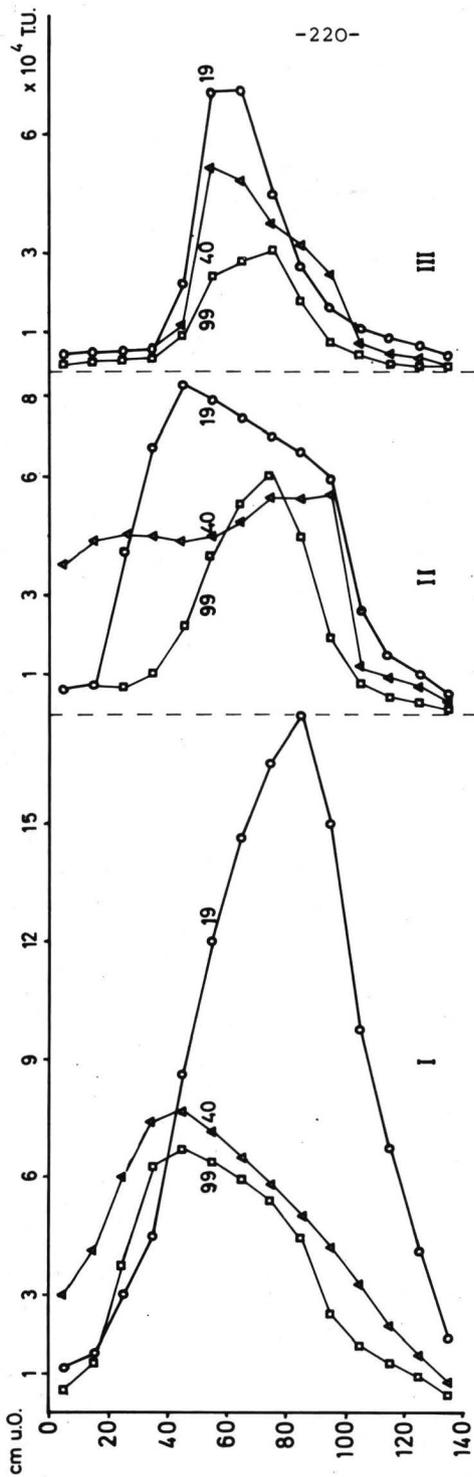


Abb. 4: Zeitliche Verschiebung der Kurven der vertikalen spez. THO-Aktivität in 0(I), 20(II) und 50(III) cm Abstand vom Injektions-Netz. Mess-Zeit - punkte 19, 40 und 99 Tage nach der Injektion.

Durch Diffusion während des Wasser-Transportes und während der durch Absinken des Grundwassers stufenweise eintretenden Stillstands-Phase des Wassers findet ein Aktivitäts-Ausgleich mit dem Oberboden statt. Die Aktivität steigt hier vom 1. zum 2. Meß-Termin (48 Tage nach der Injektion) an und zwar sowohl im Bereich des Injektions-Netzes wie in 20 cm Abstand. Sie wird dann aber von der verstärkt einsetzenden Evapotranspiration im Wechsel mit eindringenden Niederschlägen wieder abgesenkt.

Rund 24 Tage länger hält der laterale Grundwasser-Fluß im Tiefen-Abschnitt 70-80 cm an. Die laterale Verschiebung der Aktivitäts-Zonen ist aber auch hier undeutlich. Hier kommt es nicht nur mit dem darüber, sondern auch dem darunter liegenden Horizont zu einem diffusiven Aktivitäts-Ausgleich (vgl. z. B. im Abstand von 50 cm die Tiefe von 100 cm!).

Im CS-Horizont unterhalb von 80 cm Tiefe ist aufgrund dergeringen K_f -Werte, die tiefer als im A- und AC-Horizont liegen, mit niedrigeren Filter-Geschwindigkeiten zu rechnen. Auch hier zeichnen sich jedoch Störungen durch Abdiffusion von THO in die Wasser-Füllung des unterlagernden Tons und durch Zudiffusion von THO aus dem schneller bewegten Grundwasser-Strom des darüber liegenden Horizontes ab.

Somit wird in allen Horizont-Abschnitten eine Interpretation der THO-Verteilung mit viel Spekulation belastet, und selbst die auf der Lage der "Tracer-Fronten" aufbauende Kalkulation der spezifischen hydraulischen Leitfähigkeiten verlangt die Berücksichtigung beträchtlicher Toleranzen, deren Betrag im Profil von unten nach oben zunimmt.

3.2.5 Diskussion

Die bislang entweder zur Bestimmung des Lateral-Transportes von gespanntem Bodenwasser bei starker Hangneigung (vgl. BLUME et al.,8) oder zur Bestimmung der Filter-Geschwindigkeit von tiefliegenden, homogenen, mächtigeren Grundwasser-Körpern (RAUERT, 14) angewendete Methode der Markierung des Boden-Wassers mit THO ist im Fall der

lateralen Grundwasser-Bewegung in Böden wie den Feucht-Schwarzerden nur bedingt zu quantitativen Aussagen heranziehbar.

Die Einschränkungen der Anwendbarkeit liegen darin, daß

- a) das Spiegel-Niveau des Grundwasser-Körpers während der Meß-Dauer beträchtlichen Veränderungen unterliegt,
- b) der Grundwasser-Strömungs-Vorgang im verschieden lang anhaltenden und verschieden schnellen Aneinander-Entlanggleiten von dünnen, oberflächen-parallelen Grundwasserstraten besteht, zwischen denen ein wechselnd starker und verschieden gerichteter diffusiver Aktivitäts-Ausgleich stattfindet,
- c) infolge der Oberflächen-Nähe mit einer starken vertikalen Konzentrations-Veränderung durch den Wechsel von Niederschlägen und Evapotranspiration zu rechnen ist und
- d) bei den vorgegebenen natürlichen hydraulischen Gradienten keine klar erfaßbare laterale Verschiebung des Markierungs-Peaks erwartet werden kann.

Dieses Fehlen einer klar verfolgbarer Lateral-Verschiebung des Aktivitäts-Peaks ist nach den Untersuchungen von BIGGAR u. NIELSEN (7) wie folgt zu begründen:

1.) In dem als Haupt-Grundwasserleiter in Betracht kommenden unteren A-Horizont-Abschnitt mit hohen K_f -Werten sind die Boden-Aggregate im Verhältnis zu den groben wasserleitenden Sekundär-Poren zu groß für einen hinreichend raschen THO-Austausch zwischen fließender und ruhender Boden-Lösung (s. a. BENECKE u. LORCH, 5). Bei den hohen Filter-Geschwindigkeiten wird dadurch die Durchbruch-Kurve praktisch zu einer Geraden. Der Injektions-Peak löst sich dabei stationär auf.

2.) In den nicht aggregierten unteren CS-Horizont-Abschnitten mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit wäre dagegen mit einer Peak-Verschiebung zu rechnen. Doch sind hier - vgl. BIGGAR u. NIELSEN (s.o.!) - die Filter-Geschwindigkeiten geringer als die maximale Diffusions-Geschwindigkeit. Dies hat ebenfalls eine so weitgehende Abflachung der Durchbruch-Kurve zur Folge, daß keine Peak-Verlagerung feststellbar ist.

Unter diesen Einschränkungen bestätigen die in Hanglage aufgenommenen THO-Chronoisoplethen-Diagramme zwar die Tatsache, daß

- a) eine laterale Hangwasser-Bewegung stattfindet und daß
- b) die Filter-Geschwindigkeit der einzelnen Grundwasser-Leithorizonte unterschiedlich ist mit einem Maximum zwischen 40 und 80 cm Tiefe, so daß die laterale Wasser-Abfuhr während einer kurzen Abfluß-Periode auf diese Tiefen-Abschnitte konzentriert ist - doch gestatten sie keine quantitativen Aussagen über die Filter-Geschwindigkeit und die lateral bewegte Wasser-Menge. Sie liefern daher keine Bestätigung für die in den vorausgegangenen Mitteilungen gemachten Angaben zum Betrag des lateralen Grundwasser-Abflusses und zur Abfluß-Geschwindigkeit, widersprechen ihnen andererseits aber auch nicht.

Eine weitere Fehler-Quelle, auf die von WATSON (15) hingewiesen wurde, besteht in der Diffusion von THO in der Gas-Phase, die um ein Vielfaches größer als in der Flüssigkeits-Phase ist. Bei der in unserem Fall vorgegebenen natürlichen Wassergehalts-Amplitude mit relativ hoher Dauer-Feuchte ist dieser Fehler, nach den Angaben WATSONs zu urteilen, als gering zu bewerten.

4 Z U S A M M E N F A S S U N G

In typischen Feucht-Schwarzerden des Hildesheimer Raumes - einmal in Plateau-Lage ohne lateralen Grundwasser-Zug, zum anderen in Hang-Lage mit lateralem Grundwasser-Zug - wurden in der Frühjahrs-Phase mit hoch angestautem Grundwasser-Spiegel vertikale Injektions-Netze mit tritiummarkiertem Wasser senkrecht zur Gefälls-Linie angelegt. Sie sollten dazu dienen, die aus früheren Untersuchungen gezogenen Schluß-Folgerungen zum Hangwasser-Transport quantitativ zu stützen. Die Untersuchungs-Technik bestand in der Erfassung der räumlichen Aktivitäts-Verteilung in der Boden-Decke nach Ablauf einer ca. 100-tägigen Versuchs-Dauer (April bis Juli) während derer sich der Tracer durch Diffusion und lateralen Transport mit dem oberflächennahen Grundwasser nach Möglichkeit nur lateral verlagern sollte.

Die Ergebnisse lassen für die Flachhang-Lagen des Feucht-Schwarzerde-Gebietes klar die laterale Grundwasser-Bewegung erkennen, bestätigen für den CS-Horizont die im Labor gewonnenen K_f -Werte und stützen die Annahme, daß der Haupt-Grundwasser-Abfluß und der laterale Stoff-Transport in den unteren Abschnitten des Feucht-Schwarzerde-Ah- und im AC-Horizont erfolgen, d. h. in den Tiefen-Abschnitten 40-80 cm unter Oberfläche, in denen die Dauer des Grundwasser-Einstauens zwar nur relativ kurz ist, aber sehr hohe hydraulische Leitfähigkeits-Werte vorliegen.

Die Aktivitäts-Mengen-Bilanz in Plateau- wie in Hanglage weist gleich hohe Verluste in Höhe von ca. 20 % der ausgebrachten Menge auf. Sie entsprechen in Plateau-Lage den Evapotranspirations-Verlusten und decken sich weitgehend mit den Bodenwasser-Verlusten. In Hanglage werden sie überwiegend dem lateralen Abfluß zugeschrieben.

Für weitere quantitative Aussagen zur Grundwasser-Dynamik eignet sich die THO-Tracer-Netz-Methode unter den speziellen hydrologischen Standorts-Bedingungen der Feucht-Schwarzerden nicht. Die Gründe werden ausführlich diskutiert. Im Vordergrund stehen dabei die geringe Mächtigkeit der einzelnen grundwasser-leitenden Horizonte der Bodendecke, ihre strukturelle Beschaffenheit und ihre Oberflächen-Nähe, die dafür verantwortlich zu machen sind, daß es nicht zur Ausbildung klar erkennbarer Tracer-Fronten kommt, wobei vertikaler Konzentrations-Ausgleich und Evapotranspirations-Beanspruchung des Tracers eine zusätzlich störende Rolle spielen.

5 L I T E R A T U R

- 1.) Bartels, G., F. Beese, u. B. Meyer, 1972:
I. Hydrologische Abgrenzung repräsentativer Landschafts-Ausschnitte, Stratigraphie und Hydrorelief als Faktoren der Boden-Vergesellschaftung. Löss-Schwarzerde/Griserde-Börde bei Hildesheim, Göttinger Bodenkundl.Ber. 22, 1-46 (1972).
- 2.) Beese, F., u. B. Meyer, 1972:
II. Poren-Raum und -Verteilung in Beziehung zum Bodentyp als Grundlage für die Kalkulation der Speicher-Kapazität der Bodendecke in der Landschaft, Göttinger Bodenkundl.Ber. 22, 47-81 (1972).
- 3.) Beese, F., u. B. Meyer, 1972:
III. Die Hydrobilanz des Feuchtschwarzerde-Repräsentativ-Gebietes Borsum bei Hildesheim, Göttinger Bodenkundl.Ber. 22, 83-135 (1972).
- 4.) Beese, F., u. B. Meyer, 1972:
IV. Wasserhaushalt der Bodentypen und Vegetations-Standorte in Beziehung zur Boden-Genese, Göttinger Bodenkundl.Ber. 22, 137-194 (1972).
- 5.) Benecke, P., und Lorch, S., 1964: Untersuchungen der Versickerung von Niederschlägen mittels 131 in einer tonig-schluffigen gedrähten Seemarsch. Geologisches Jahrbuch 81, 601-620 (1964).
- 6.) Bertsch, W., u. F. Schwillie, 1971: Die hydrodynamische Dispersion in porösen Medien, Votr. Inform. Tagg. über Isotopenmethoden in der Hydrologie, München, 3.-7.4.71/Bundesanst.f. Gewässerkunde, 54 Koblenz, Kaiserin-Auguste-Anlagen 15/17. 20.S
- 7.) Biggar, G. W., and Nielsen, D.R., 1962: Miscible displacement: II. Behavior of tracers. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26, 125-128, (1962).
- 8.) Blume, H. P., Münnich, K.-O., und Zimmermann, U., 1968: Untersuchungen der lateralen Wasserbewegung in ungesättigten Böden. Zeitschr. Pflanzenernährg., Düng., Bodenkunde 121, 213- (1968).
- 9.) Corey, G.C., and Horton, G.H., 1968: Movement of water tagged with H-2, H-3 and O-18 through Kaolinitic soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32, 471-475 (1968).
- 10.) Hamid, A., and Warkentin, B.P., 1967: Lateral Water Movement In Ste. Rosalie Clay Can.G. of Soil Sci. 47, 139 (1967).

- 11.) Hartge, K.H., 1961: Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben. Zeitschr.Kulturtechnik und Flurbereinigung 2, 103-114 (1961)
- 12.) Hase, D., und B. Meyer, 1969: Feuchte-Jahresgang, Wasser-Bewegungen und -Bilanzen in dicken Würm-Löß-Decken und ihren holozänen Böden (Parabraunerde, Griserde, Feuchtschwarzerde) bei unterschiedlichem Grundwasserstand im Raum Niedersachsen. Göttinger Bodenkundl. Ber. 11, 85-183 (1969).
- 13.) Nielsen, D.R., and Biggar, G.W., 1962: Miscible displacement: III. Theoretical considerations. Soil Sci. Amer. Proc. 26, 216-221 (1962).
- 14.) Rauert, W., 1971: Über Messungen von Tritium und Kohlenstoff-14 bei hydrologischen Untersuchungen. Geologica Bavarica 64, 36-74 (1971).
- 15.) Watson, G.P., 1971: Comparison of Chromium-51-Versenate and Tritiated Water Movement in a Termite Mound and Soil. Soil Science 111, 188-191 (1971).
- 16.) WENZEL, M., und P.E. Schulze, 1962: Tritium Markierung . Walter de Gruyter & Co., Berlin (1962).

