

Z81/11

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

Bd. 11

1 9 7 0

Schriftleitung: P. Hugenroth/Göttingen

MITTEILUNGEN

der

DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT

**"Physikalische Aspekte
der Eingriffe in das Bodengefüge
bei Meliorationsmaßnahmen"**

Referate der gemeinsamen Sitzung der Kommissionen

I "Bodenphysik" und VI "Bodentechnologie"

am 26. und 27. Februar 1970 in der Landesanstalt
für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Essen,
Wallneyer Straße 6

Bd. 11

1 9 7 0

I N H A L T

1.	<u>Übersicht</u>	3
2.	<u>Gefügeständerungen im Drängraben</u> , R. Kowald	5
3.	<u>Zum Einfluß der Durchlässigkeit des Drängrabenverfüllbodens auf den Eintrittswiderstand von Dränrohren</u> , G. Mann	14
4.	<u>Über den Einfluß der Dränung auf das Gefüge und die Wasserdurchlässigkeit bindiger Böden</u> , M. Renger	23
5.	<u>Tensiometermessungen zum Nachweis von Bodenverdichtungen auf Dränflächen</u> , H. Wichtmann	29
6.	<u>Luftdurchlässigkeit von Moorböden vor und nach ihrer Melioration</u> , R. Eggelsmann und H. Kuntze	40
7.	<u>Aspekte zum Verhalten des Bodenwassers am Beispiel eines geschichteten Bodens</u> , P. Benneke	47
8.	<u>Veränderungen von Porositätsverhältnissen und pflanzlicher Wasserentnahme im Profil von zwei Parabraunerden aus Löß nach dem Tiefpflügen</u> , W. Czeratzki und F. Schulze	57
9.	<u>Die Veränderung der physikalischen Verhältnisse durch tiefe Bodenlockerung und der Einfluß bestimmter Faktoren auf die Wirksamkeit der Maßnahme</u> , H. Schulte-Karring	68

	Seite
10. <u>Einfluß des Kalkes auf das Bodengefüge,</u> G. Scheffer	71
11. <u>Über die Gefüge- und Feuchteverhältnisse</u> <u>rekultivierter Böden,</u> C. Langner	75
12. <u>Neue Möglichkeiten den Boden mittels verdünnter</u> <u>bituminöser Emulsionen zu verbessern,</u> M. De Boedt	77
13. <u>Die klimatische Wasserbilanz zur Beurteilung des</u> <u>Entwässerungsbedarfes bei Untergrundmeliorationen,</u> B. Wohlreb	89
14. <u>Untergrundmelioration - Beurteilung der Erfolgchance,</u> K. H. Hartge	96
15. <u>Strukturelle Umgestaltung des Gesamt-Bodenprofils und</u> <u>die Neugestaltung der Ackerkrume beim Tiefumbruch von</u> <u>Löß-Parabraunerden,</u> K. Scheffer u. B. Meyer	99
16. <u>Umgestaltung des jahreszeitlichen Wasserhaushaltes</u> <u>von Löß-Parabraunerden nach Tiefumbruch,</u> B. Meyer und K. Scheffer	102

Die Kommissionen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft haben als Träger der wissenschaftlichen Betätigung in den verschiedenen Zweigen der Bodenkunde setzungsgemäß die Aufgabe, durch gemeinsame Arbeiten ihrer Mitglieder die Belange ihres Fachgebietes zu fördern. Diese Aufgabe findet ihren sichtbaren Ausdruck in der alle zwei Jahre stattfindenden Tagung der Gesellschaft und in den Einzelsitzungen der Kommissionen.

Es ist fast schon eine Regel, daß die Kommission VI Ende Februar/Anfang März im Jahr nach der Haupttagung zu einer solchen Sitzung zusammentritt. 1968 kam es in Braunschweig erstmals zu einer gemeinsamen Veranstaltung der Kommissionen I und VI. Diese Zusammenarbeit erwies sich als besonders fruchtbar, weil die Bodentechnologie durch die Bodenphysik mannigfache Hilfestellung, vor allem auf methodischem Gebiet, erhält. Andererseits vermittelt die Bodentechnologie aus den vielfältigen Fragestellungen ihrer vornehmlich angewandten Arbeitsweise der Bodenphysik immer wieder Anregung und Impulse.

Die gegenseitig befruchtende Zusammenarbeit der beiden Kommissionen gab Anlaß zu einer weiteren gemeinsamen Sitzung nach dem Wintersemester 1969/70. In den vorangegangenen Gesprächen war das Interesse an dem Thema

Physikalische Aspekte
der Eingriffe in das Bodengefüge
bei Meliorationsmaßnahmen

besonders zum Ausdruck gebracht worden. Dieses der gemeinsamen Sitzung gestellte Leitthema diente in mancher Hinsicht gleichzeitig der Vorbereitung einer von den

Kommissionen V und VI der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft im Spätsommer 1971 in Stuttgart geplanten Tagung über "Pseudogleye und Gleye - Entstehung und Nutzung hydromorpher Böden".

Die Referate und Diskussionen vermitteln einen Überblick über den Stand des Wissens zu dem der Sitzung am 26./27.2.70 gestellten Thema in einer Breite, die von theoretisch-mathematischen Vorstellungen und Modellen bis zu praktikablen oder in der Erprobung stehenden Nutz- anwendungen reicht. Den Diskussionsleitern, Vortragenden und an der Aussprache Beteiligten sei an dieser Stelle nochmals gedankt.

Im Februar 1970

gez.: K. H. Hartge
Für Kommission I

gez.: B. Wohlreb
Für Kommission VI

Gefügeänderungen im Drängraben

R. Kowald *)

Bei der Dränung werden bekanntlich Rohre zur Ableitung des Wassers in den Boden gelegt. Das Verlegen der Rohre erfordert gewöhnlich das Ausheben und Wiederverfüllen eines Drängrabens. Dies bedeutet eine extrem starke Strukturveränderung, d. h. Lockerung des Bodens. Über das Ausmaß der Lockerung und ihre Erhaltung über einen längeren Zeitraum sind relativ wenig Untersuchungen durchgeführt worden. Man nahm allgemein an, daß die Lockerung lange Zeit anhält.

Früher wurden die Drängräben ausschließlich mit dem Spaten oder mit dem Bagger ausgehoben. Die dadurch entstehenden Bodenteile sind relativ groß. Beim Einfüllen in den Drängraben liegen sie sehr sperrig und besitzen damit ein sehr großes Porenvolumen und eine hohe Wasserdurchlässigkeit.

Beim Einsatz moderner Dränmaschinen, vor allem solcher mit Fräsketten, wird der Boden in wesentlich kleinere Teile zerlegt. Beim Wiedereinfüllen entstehen somit auch kleinere Hohlräume.

Heute werden z. T. Maschinen eingesetzt, die eine grabenlose Dränung herstellen. Hier ist die Art der gebildeten Hohlräume ganz anders. Sie liegen im wesentlichen in Form von Rissen vor.

Im folgenden sollen die Strukturveränderungen untersucht werden, die in Drängräben vor sich gehen, die von Hand oder von einer Dränmaschine hergestellt wurden.

*) Institut für Landeskultur der Justus Liebig-Universität
63 Gießen, Landgraf Philipp Platz 4

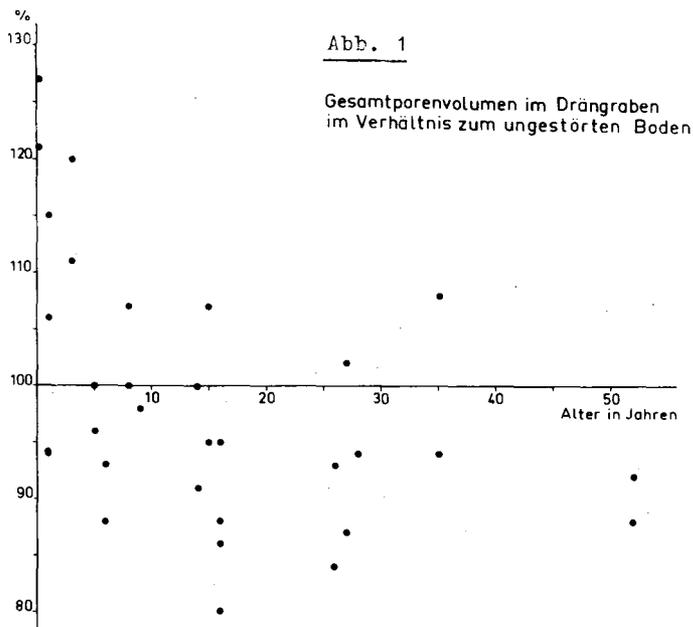
Exakt wäre es, ein- und denselben Drängreben in gewissen Zeitabständen zu untersuchen und zwar über den gesamten Zeitraum, in dem eine Dränung wirken soll. Da aber die Wirkungsdauer ca. 30 Jahre betragen soll, ist das kaum möglich. Aus diesem Grunde wurden 17 verschiedene Dränanlagen verschiedenen Alters ausgewählt und untersucht. Bei diesen Dränanlagen wirken eine große Anzahl von Faktoren auf die Struktur bzw. die Strukturveränderung des Bodens ein, die nicht erfaßt werden können, z. B. der Feuchtigkeitsgehalt bei Anlage der Dränung, die Bearbeitung, der Pflanzenbestand, der Rückstau im Drän vom Vorfluter usw. . Aus diesem Grunde ist es nicht möglich, auf Grund der 17 untersuchten Dränanlagen die Strukturveränderungen in verschiedenen Böden genau zu erfassen. Ziel der Untersuchungen war es, lediglich einen Überblick über die Strukturveränderungen in verschiedenen Böden zu erlangen und Tendenzen zu erkennen. Dies dürfte nicht nur von bodenkundlichem Interesse sein, sondern auch eine große Bedeutung besitzen für die Art der verwendeten Dränmaterialien, nämlich der Rohr- und Filterart.

Bei den 17 untersuchten Dränanlagen handelt es sich ausschließlich um solche in Marschböden. Es wurden Felder ausgesucht, die möglichst schon zwei- oder dreimal gedränt waren, so daß es möglich war, bei gleichen Bodenverhältnissen den Einfluß des Alters auf die Struktur zu ermitteln.

Alle Untersuchungen wurden in zwei Tiefen vorgenommen und zwar von 30 - 35 cm und von 45 - 50 cm. Da absolute Werte wenig aussagen, wurden die Proben nicht nur im Drängreben, sondern auch im ungestörten Boden in 4 m Abstand vom Drängreben entnommen. Auf diese Weise ist es möglich, die Veränderungen in der Drängrebenfüllung auf den ungestörten Boden zu beziehen.

Die 17 Dränanlagen, deren Alter zwischen 2 Monaten und 52 Jahren beträgt, befinden sich auf 9 verschiedenen Schlägen, deren Böden sehr unterschiedlich sind.

Es soll zunächst das Gesamtporenvolumen betrachtet werden (Abb. 1).



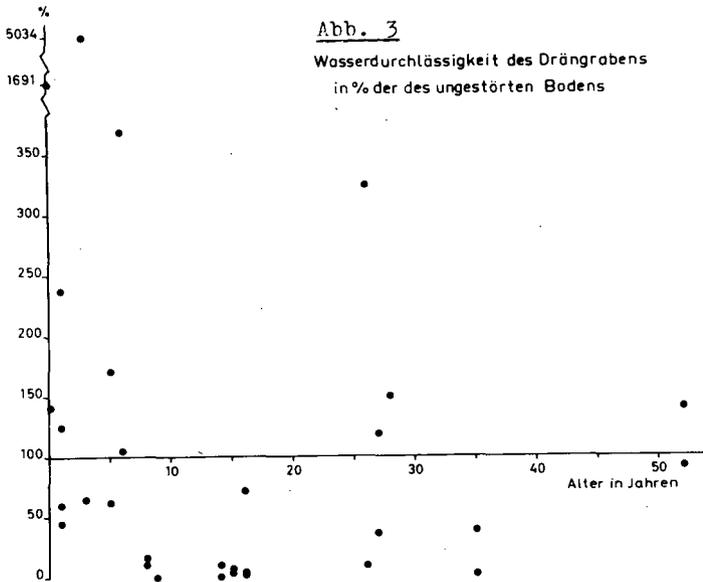
In 19 Fällen ist es im Drängreben geringer, in 3 Fällen gleich und in 10 Fällen größer als im ungestörten Boden.

Bei den meisten Dränenlagen ist also das Gesamtporenvolumen im Drängreben geringer als im ungestörten Boden. Es handelt sich vorwiegend um Dränungen, die vor mehr als 5 Jahren angelegt wurden. Das Gesamtporenvolumen ist in der Tiefe von 30 - 35 cm fast immer geringer als in der von 45 - 50 cm. Dies ist vermutlich auf den Bodendruck der Bearbeitungsmaschinen zurückzuführen.

Von größerer Bedeutung für den Luft- und Wasserhaushalt und für die Wirkung des Dräns sind die Poren $> 50 \mu$. Unmittelbar nach dem Verfüllen des Grabens dürfte das Volumen der

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, daß die Streuung der ermittelten k_f -Werte im Dränggraben wesentlich größer ist als im ungestörten Boden. Aus diesem Grunde wurde mit 12 Parallelen gearbeitet.

Die Durchlässigkeit (Abb. 3) verhält sich ähnlich wie das Volumen der Poren $> 50/\mu$. In Dränggräben, die ein geringeres Alter als 5 Jahre besitzen, ist die Wasserdurchlässigkeit gewöhnlich größer als im ungestörten Boden. In den älteren Dränggräben ist sie dagegen meist geringer als im ungestörten Boden.



Auch an Standorten, die mehrfach gedränt wurden, ist diese Tendenz festzustellen (Tab. 1).

Tab. 1: Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert, cm/s)

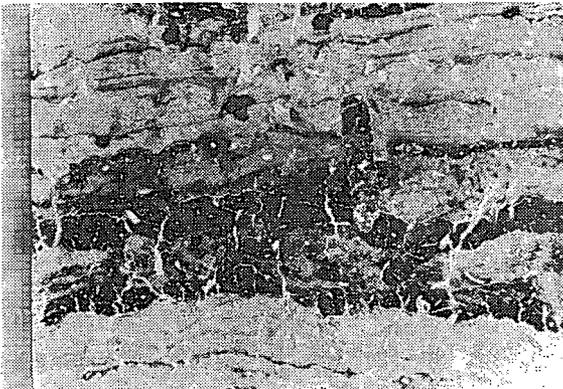
Tiefe cm	ungestörter Boden	6 Jahre	Dränggraben 16 Jahre	26 Jahre
Feld 4				
30-35	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$
45-50	$7,6 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$
		6 Wochen	14 Jahre	
Feld 7				
30-35	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$	
45-50	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-5}$	

=====

Als Beispiel seien die k_f -Werte von 2 Feldern genannt, die drei- bzw. zweimal im Abstand von 10 bzw. 14 Jahren gedränt wurden.

Es sollte mit Hilfe von Dünnschliffen untersucht werden, welche Gefügeveränderungen vor sich gehen.

Feld 5 ungestörter Boden (Abb. 4):



Es handelt sich um einen stark schluffigen Boden mit eingelagerten tonreichen Bändern und Schwebeschichten. Es ist eine größere Anzahl von Wurzelgängen vorhanden, von denen einige durch Eisen stabilisiert sind.

Einige Regenwurmgänge sind mit Lösung und Bodenmaterial ausgefüllt.

Dränggraben 1 Jahr alt (Abb. 5):

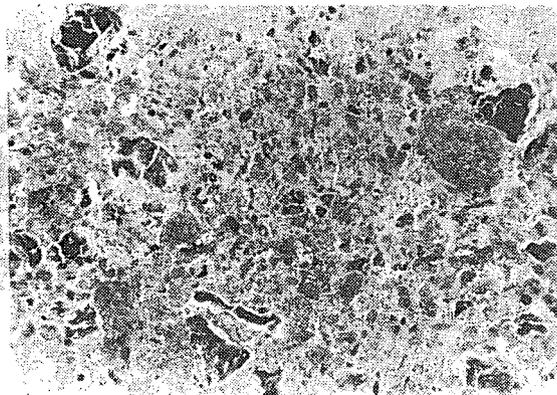


Abb. 5

Durch die Dränerarbeiten sind die natürlichen Schichten zerstört. Die Teile aus den tonreichen Schichten sind noch gut erhalten. Aber auch die korngerüstreichen Teile sind noch erkennbar. Die Hohlräume sind zum größten Teil von vermutlich schluffreichem Material ausgefüllt, so daß der Boden relativ dicht ist. Es sind nur wenig Wurzeporen vorhanden, von denen einige schon durch Eisen stabilisiert sind.

Drängreben 27 Jahre alt (Abb. 6):

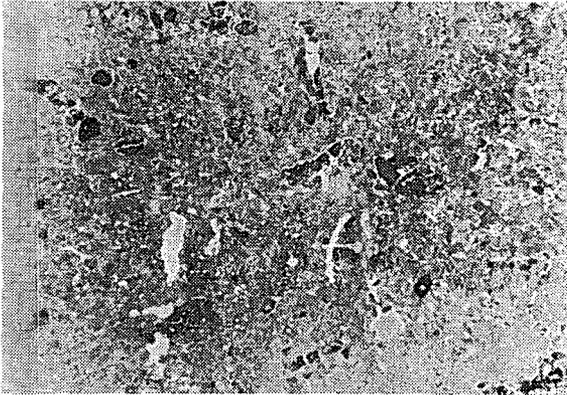


Abb. 6

Im Gegensatz zum 1 Jahr alten Drängreben ist hier eine große Anzahl von Wurzelporen und Tiergängen vorhanden. In dieser Beziehung gleicht er dem ungestörten Boden.

Mit diesen Untersuchungen sollte die Frage beantwortet werden, ob die Drängrebenfüllung in jedem Fall ein höheres Porenvolumen und eine höhere Wasserdurchlässigkeit besitzt als der ungestörte Boden.

Aus den Ergebnissen können naturgemäß keine exakten Aussagen über die Entwicklung der Grabenfüllung eines bestimmten Bodens gemacht werden, bei dessen Dränung ein bestimmtes Arbeitsgerät, z. B. Spaten, Bagger oder Dränmaschine eingesetzt wurde und der zu dem Zeitpunkt einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt besaß. Die Frage zu beantworten, wie sich diese Faktoren auswirken, muß späteren Arbeiten vorbehalten bleiben.

Aus den Ergebnissen läßt sich aber folgendes erkennen: Eine intensive Lockerung und Umsetzung des Marschbodens in Form der Herstellung und Verfüllung eines Drängrebens bewirkt zunächst eine Erhöhung des Porenvolumens und der Wasserdurchlässigkeit.

In den ersten Jahren kommt es infolge Erosion durch das zum Drän fließende Wasser zu einer Abnahme des Porenvolumens und der Wasserdurchlässigkeit. Sie ist in der Tiefe von 30 - 35 cm größer als in der von 40 - 45 cm.

Während der genannten Verdichtungs Vorgänge werden gleichzeitig neue Poren gebildet durch genetische Vorgänge, durch Wurzeln und Bodentiere. In den ersten Jahren oder Jahrzehnten scheinen jedoch die Verdichtungserscheinungen zu überwiegen. Im Laufe der Zeit dürfte es dann zu einem Gleichgewichtszustand kommen.



Zum Einfluß der Durchlässigkeit des
Drängrabenverfüllbodens auf den Eintrittswiderstand
von Dränrohren

von G. Mann *)

Dem Eintritt des Wassers in ein Dränrohr wirken Widerstände entgegen, die - sieht man von dem Widerstand für den horizontalen Zufluß bis zur Drängrabenwand ab - durch den Radialwiderstand und den Eintrittswiderstand bedingt sind. Letzterer wird bisher bei den anerkannten Dränabstandsgleichungen aber nicht berücksichtigt, offensichtlich weil über seine Auswirkung im Feld erst wenige Beobachtungen vorliegen (2,3,4,7) und weil über die Notwendigkeit der Berücksichtigung noch keine klaren Vorstellungen bestehen.

Bei radialer Zuströmung zum Drän resultiert aus der Verkleinerung des Strömungsbereiches mit Annäherung an den Drän, d. h. Verengung der Stromlinien und Vergrößerung der Strömungsgeschwindigkeit, der Radialwiderstand (w_{rad}^+). Der Eintrittswiderstand (w_e^+) entsteht durch die Abweichung der Stromlinien von der ursprünglich radialen Richtung und deren Konzentration an den Eintrittsöffnungen, die in der Dränrohrwand nur in bestimmten Abständen für den Wasserdurchfluß vorhanden sind.

Zur Überwindung dieser Widerstände ist eine Potentialdifferenz erforderlich, die sich in der Erhöhung des Grundwasserstandes am Drän und in Beetmitte zwischen den Dräns widerspiegelt. Über die Messung dieser Grundwasserstände lassen sich bei Berücksichtigung des Dränabflusses die Widerstände bestimmen (Abb. 1).

*) Institut für Wasserwirtschaft und Meliorationswesen,
23 Kiel, Olshausenstr. 40-60

Nach der Definition entspricht der Widerstand beim Wassereintritt (Ψ_{ap}^+ in Tag/m) dem Quotient aus Druckdifferenz am Dränrohr ($\Delta \vartheta_{ap}$ in m) und Dränabfluß je Dränrohrlängeneinheit (q in m^2/Tag). Seine Größe ist einerseits direkt proportional der Summe der dimensionslosen Faktoren α_{rad} und α_{θ} , die die radiale Zuströmung zum Drän (α_{rad}) und den Konzentrationseffekt der Stromlinien an den Eintrittsöffnungen (α_{θ}) charakterisieren. Andererseits ist der Widerstand umgekehrt proportional der Durchlässigkeit des Bodens.

Obwohl sich Eintritts- und Radialwiderstand überlagern, können diese rechnerisch doch getrennt und bestimmt werden, wenn man berechnete α_{rad} - und im Modellversuch ermittelte α_{θ} -Werte zugrunde legt. Je nach Dränrohrdurchmesser und Abstand des im Meßrohr gemessenen Wasserstandes von der Dränrohrachse unterliegt der Faktor α_{rad} nur geringfügigen Schwankungen. Er beträgt bei einem Abstand des Meßrohres von der Dränrohrachse von 10 cm etwa 0,3 und bei 30 cm Abstand etwa 0,8. Ebenso liegt der Faktor α_{θ} recht eindeutig fest. Mittlere α_{θ} -Werte für Tondränrohre werden mit 2,0 bis 2,3, für glatte PVC-Dränrohre mit 0,8 bis 1,2 und für gewellte PVC-Dränrohre mit 0,1 bis 0,3 angegeben (2, 8, 9).

Weil diese Faktoren nur von den geometrischen Strömungsbildern abhängen und nur wenig variieren, müssen unterschiedliche Widerstände beim Wassereintritt in vergleichbare Dräns in erster Linie auf unterschiedlichen Bodendurchlässigkeiten beruhen.

Am Beispiel des Wöhrdener Dränabstandsversuches wurde der Einfluß der Durchlässigkeit des Drängrabens auf die Widerstände beim Wassereintritt untersucht (Abb. 2).

Dieser "vereinfachte" Dränversuch (1) mit 10, 13 und 16 m Dränabstand in vierfacher Wiederholung wurde im April 1965 bei relativ feuchter Witterung mit einer Drängrubenfräse gefahren. Bei den einzelausmündenden Dräns handelt es sich einheitlich um glatte Kunststoff-Dränrohre der Nennweite 40, die bei 5 Schlitzreihen insgesamt 50 Öffnungen pro lfdm Dränrohr aufweisen. Die eingesägten Einzelöffnungen sind im Mittel 30,6 mm lang und 0,6 mm weit ($9,2 \text{ cm}^2/\text{lfdm}$). Zum Schutz gegen Bodeneinschlämmung sind alle Dräns mit MEFI-Glaswollfilter vollummantelt.

Für die Beobachtung der Aufwölbungskurve sind 30 cm neben dem Drän und in Beetmitte zwischen den Dräns Grundwasserrohre (Durchmesser 5,5 cm) installiert. Diese Grundwassermeßkette verläuft auf ein Drittel der Dränlänge in 40 m Abstand parallel zum Vorfluter. Synchron zur Grundwassermessung wird der Dränabfluß von Hand mit Meßbecher und Stoppuhr ermittelt.

Diese Versuchsfläche liegt an der Schleswig-Holsteinischen Westküste in der Nähe des Wärdener Hafens. Sie ist erst 1854 eingedeicht worden. Dementsprechend ist das Bodenprofil durch Entkalkungs-, Verbraunungs- und Verlagerungsprozesse noch nicht wesentlich beeinflusst und ist wegen seines Carbonatgehaltes als Kalkmarsch (6) anzusprechen (Abb. 3). Trotz der relativ günstigen pH-Werte von 7,5 bis 7,7 weist aber die Korngrößenzusammensetzung auf schlechte Strukturstabilität und auf starke Verschlammungsneigung hin. Dies wird durch eine Plastizitätszahl von 1,1 (Wassergehalt bei Fließgrenze: 23,6 Gew.%, bei Ausrollgrenze: 22,5 Gew.%) sowie durch die in dem Koog erfahrungsgemäß starke Einschlämmung in Dränrohre bekräftigt. Kennzeichnend für diesen sandig-lehmigen Schluff aber ist der hohe Anteil (25,2 %) feiner Poren ($< 0,2 \mu$) und der niedrige (4,5 %) an groben Poren ($> 50 \mu$). In der relativ geringen Bodendurchlässigkeit spiegelt sich das wider, wodurch das Profil Anzeichen einer Allgemeinverdichtung mit Steunässemerkmalen aufweist.

Die für das ungestörte Bodenprofil an 100 cm^3 -Bodenproben gemessenen Durchlässigkeitswerte liegen zwischen $0,186$ und $0,719 \text{ m/Tag}$, im Mittel bei $0,35 \text{ m/Tag}$. Bohrloch-Messungen ergaben $0,165 \text{ m/Tag}$. Zusätzlich wurde mit der Dränabstendgleichung von HOOGHOUDT (5) an 16 Tagen bei jeweils 18 Dräns die Bodendurchlässigkeit aus der Aufwölbungskurve und dem Dränabfluß berechnet. Wenn dabei der gemessene Grundwasserstand am Drän berücksichtigt wurde, konnte auf einen K-Wert von $0,29 \text{ m/Tag}$ geschlossen werden. Er betrug jedoch nur $0,06 \text{ m/Tag}$, wenn der Grundwasserstand am Drän bei der Berechnung vernachlässigt und mit Null angenommen wurde.

Auch die Durchlässigkeit des Drängrabens wurde untersucht. Gegenüber dem ungestörten Boden erwies der Drängraben sich 4 Jahre nach Anlage der Dränung als verdichtet. Das konnte einmal an mit Stechzylinder entnommenen Bodenproben nachgewiesen werden, bei denen sich für das gestörte Profil ein K-Wert von $0,036 \text{ m/Tag}$ ergab. Zum anderen zeigte sich dies an Infiltrationsmessungen auf dem Feld. In drei Bodentiefen lag die Infiltrationsrate für "im Graben" deutlich unter der für "neben dem Graben". Darüberhinaus verlangsamte sich die Einsickerung mit Annäherung an das Dränrohr und ließ eine Verschlechterung der Durchlässigkeit gerade in unmittelbarer Nähe um den Drän erkennen.

Wie sehr durch diese Verdichtung des Drängrabenverfüllbodens die Widerstände beim Wassereintritt sich erhöhen und die Funktion der Dränung sich verschlechtert, ergibt sich aus den Grundwasserstands- und Dränabflußmessungen auf dem Versuchsfeld (Abb. 4). Mit dem Anstieg des Grundwassers am Drän bzw. der Potentialdifferenz ($\Delta \phi_{ap}$) erhöht sich auch der Dränabfluß (1). (Der Wasserstand im Drän wurde hier nicht gemessen; es kann aber aufgrund der Nivellamentsprüfung beim Verlegen der Dräns und aufgrund wiederholter Abflußbeobachtungen ein Rückstau des Wassers in den Dräns während der Messungen ausgeschlossen werden.) Wesentlich ist, daß in Beziehung zum Dränabfluß hier

eine höhere Potentialdifferenz festgestellt wird als nach der radialen Zuströmung zum idealen Drän bei einer der Bohrlochmessung entsprechenden Durchlässigkeit zu erwarten wäre. Selbst wenn der Eintrittswiderstand, bezogen auf diese Durchlässigkeit, hinzugezählt wird, werden die gefundenen Werte nicht erreicht. Die effektive Durchlässigkeit muß folglich niedriger sein, und sie ist es fraglos durch den verdichteten Drängaben.

Bei den hier ausgewerteten 16 Tagemessungen an jeweils 18 Dräns ergeben sich im Durchschnitt W_{ap}^+ -Werte zwischen 10 und 30 Tag/m. Diese Spanne zeigt, daß der Widerstand für den Wassereintritt in jedem Fall zu groß ist. Nach CAVELAARS (3) haben Dränungen mit zufriedenstellender Funktion durchschnittliche Widerstandswerte um 5, im Einzelfall bei geringer Felddurchlässigkeit bis 10 Tag/m. Die Beziehung dieser Widerstandswerte zur Bodendurchlässigkeit (Abb. 5) läßt erkennen, daß die den gemessenen W_{ap}^+ -Werten zugeordnete Bodendurchlässigkeit von 0,06 bis 0,17 m/Tag reicht. Sie ist folglich im Mittel günstiger als die dem Drängaben entnommenen Bodenproben angeben (0,036 m/Tag), aber schlechter als die Durchlässigkeit des ungestörten Bodens (0,165 m/Tag). Aus der Kurve für den Eintrittswiderstand (W_g^+) ergibt sich, daß er zu einem erheblichen Anteil am Gesamtwiderstand für den Wassereintritt beteiligt ist.

Im Mittel aller 288 Messungen beträgt die Potentialdifferenz für den Wassereintritt 0,19 m, davon entfallen 0,09 m auf den Radialwiderstand und 0,10 m auf den Eintrittswiderstand. Dementsprechend unterteilt sich auch der Gesamtwiderstand für den Wassereintritt von 15 Tag/m, von ihm macht der Eintrittswiderstand folglich rd. 55 % aus. Für den Dränabfluß je Dränrohr-längeneinheit errechnet sich ein mittlerer Wert von 0,0127 m²/Tag und für die Bodendurchlässigkeit 0,122 m/Tag.

Schließt man schließlich noch den Widerstand für den horizontalen Zufluß in die Betrachtung mit ein, so ergibt sich folgende Aufteilung der Widerstände:

Horizontalwiderstand	=	0,11 m	=	37 %
Radialwiderstand	=	0,09 m	=	30 %
Eintrittswiderstand	=	0,10 m	=	33 %

Beim Eintrittswiderstand muß unbeantwortet bleiben, inwieweit er durch den Glaswollfilter, der sich mit dem schluffigen Bodenmaterial verdichtet haben kann, beeinflußt wird.

Zur Untersuchung der Auswirkung des verdichteten Dränggrabens auf die Dränfunktion innerhalb des Dränebstandsversuches wurden insgesamt 114 Grundwassermessungen nach dem Abstand des Grundwasserspiegels zur Dränlage vier verschiedenen Niveaus des Grundwasserstandes zugeordnet (Abb. 6). Die entlang der Grundwassermeßkette gefundenen Aufwölbungskurven zeigen erstaunliche Unterschiede, die kaum in Beziehung zu den unterschiedlichen Dränebständen gebracht werden können. Auffällig ist ferner, daß selbst geringe Differenzen der Grundwasserstände an zwei benachbarten Dräns statistisch signifikant sind, was auf eine gewisse Konstanz der Grundwassermeßdaten bei einer riesigen örtlichen Streuung hindeutet. Daß letztere aber nicht allein durch die Widerstände für den Wassereintritt an den Dräns, sondern auch durch Fremdwasserandrang bedingt sind, läßt sich aus dem Vergleich mit den Dränebflüssen erkennen. Bereiche mit relativ großen Abflußspenden kommen hier sowohl bei Bereichen mit relativ hohen als auch bei Bereichen mit relativ niedrigen Grundwasserständen vor.

Faßt man diese Grundwassermessungen innerhalb der Niveaus zusammen und verrechnet sie statistisch unter Ausschaltung der zeitlichen Schwankung (Abb. 7), so ergibt sich, daß bei den Grundwasserständen am Drän sich die Intervalle nur bei den 40 Messungen oberhalb Dränlage mit 10 und 13 m Dränebstand sowie bei den

13 Messungen des obersten Niveaus nicht überschneiden. Etwas besser sieht es bei den Grundwasserständen zwischen den Dräns aus, wo sich bei beiden Niveaus oberhalb Dränlage signifikante Differenzen ergeben. Bei 13 und 16 m Dränabstand ist die Differenz beim höchsten Niveau allerdings auch nicht signifikant. Insgesamt ist die mittlere Aufwölbungskurve des Grundwassers zwischen den Dräns aber gering. Sie beträgt bei insgesamt hohem Grundwasserstand im Mittel der 13 Messungen bei 10 m Dränabstand nur 11 cm, bei 13 m nur 14 cm und bei 16 m nur 15 cm. Bei den tieferen Grundwasserniveaus verflacht die Aufwölbungskurve noch stärker. Der übermäßige Widerstand für den Wassereintritt wirkt sich folglich sehr stark auf die Erhöhung der Grundwasserstände im Felde aus.

Noch stärker als die Grundwasserdaten streuen die Werte der Dränabflußmessungen (Abb. 8). Normalerweise soll der absolute Dränabfluß mit zunehmenden Dränabstand linear ansteigen, entsprechend der als gestrichelte Linie eingetragenen Sollbeziehung. Der berechneten Funktion genügen aber nur 32 % der Meßwerte ($B = 0,32$) und diese Funktion weicht zudem noch von dem erwarteten Verlauf ab. Bei den Dränabständen unter 11,50 m wird hier relativ mehr Wasser abgeführt als bei den weiten Abständen. Folglich reicht die Wirkung dieser Dräns über ihr rechnerisches Einzugsgebiet hinaus, und es fließt ihnen Wasser aus der übrigen Fläche zu. Dadurch wird der Einfluß des Dränabstandes auf den Dränabfluß überdeckt. Auch dies ist fraglos eine Folge des überhöhten Eintrittswiderstandes, der den Effekt des vom Dränabstand abhängigen horizontalen Widerstandes abschwächt.

Im Mittel aller Abflußmessungen ergibt sich (Abb. 9), daß der absolute Dränabfluß erst zwischen 10,40 m und 15,80 m signifikant verschieden ist. Der Unterschied beträgt aber nicht wie erwartet rd. 50 %, sondern nur rd. 30 %. Beim auf die Fläche bezogenen relativen Abfluß ist auch die Differenz zwischen 10,40 m und 13,30 m statistisch signifikant.

Auch die Bodenfeuchte ist etwa 14-tägig an zwei Stellen des Versuchsfeldes zwischen Dräns mit 10 m und mit 16 m Dränabstand bestimmt worden. Im Mittel von 58 Messungen in jeweils vier verschiedenen Tiefen des Bodenprofils ergeben sich keine signifikanten Differenzen.

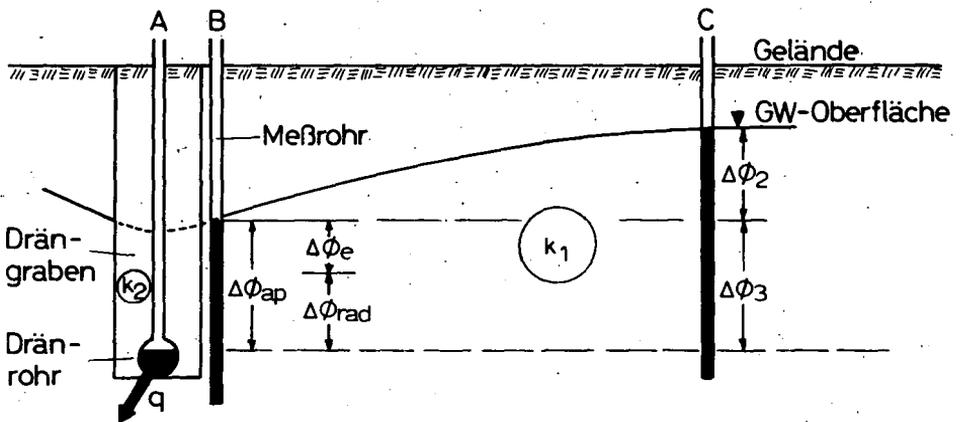
Die hier aufgezeigten Untersuchungsergebnisse führen zu dem Schluß, daß eine Verdichtung des Drängabenverfüllbodens sich auf den Widerstand beim Wassereintritt und auf die Dränfunktion sehr nachteilig auswirkt und daß dadurch der Vorteil enger Dränabstände gegenüber weiten eingeschränkt wird. Die Bestimmung der Dränabstände mit den bekannten Dränabstandsgleichungen kann nur dann zutreffende Resultate ergeben, wenn entweder die Verschlechterung der Durchlässigkeit kalkuliert und berücksichtigt wird, hier machte sie rd. ein Drittel der gesamten Widerstände aus, oder wenn eine Verdichtung des Drängabens möglichst vermieden wird. Erfahrungsgemäß ist das der Fall, wenn der ausgehobene Boden in der Struktur nicht unnötig zerstört und nicht naß in den Drängaben eingefüllt wird.

SCHRIFTTUM

1. Baumann, H. u. Mann, G.: Vereinfachte Dränversuche in Schleswig-Holstein, Die Küste, 1968, Heft 16, 43-58
2. Cavelaers, J.C.: Hydrological aspects of the application of plastic drain pipes and filter materials Research Division, Kon.Ned.Heidemaatschappij, Arnhem, 1965
3. Cavelaers, J.C.: Problems of water entry into plastic and other drain tubes Research Division, Kon.Ned.Heidemaatschappij, Arnhem, 1967
4. Eggelsmann, R.: Akute Dränprobleme Wasser und Boden 21, 1969, 1-8

5. Hooghoudt, S.B.: Bijdragen tot de kennis van enige natuurkundige grootheden van de grond.
Deel 7
Versl.Landb.Onderz.46(14) B, 1940, 515-707
6. Schroeder, D. u. Brümmer, G.: Zur Genese und Klassifizierung der Marschen,
Mitt.Deutsch.Bodenkundl.Gesellsch. 8,
1968, 243-245
7. Someren, C.L. van u. Naarding, W.H.: Enkelen in 1963 verkregen resultaten op twee drainageproefvelden in de provincie Drente,
Cultuurtechnische Dienst- Utrecht, Medel. Nr. 59, 1965
8. Widmoser, P.: Potentialströmung an geschlitzten Rohren
Schweiz.Bauzeitung 84, 1966, 913-919
9. Widmoser, P.: Der Eintrittsbereich an Drainagerohren
Schweiz.Ztschr.f.Vermessung, Photogrammetrie u. Kulturtechnik 65, 1967, 54-78

Abb.1 Bestimmung der Widerstände beim Wassereintritt in einen Drän

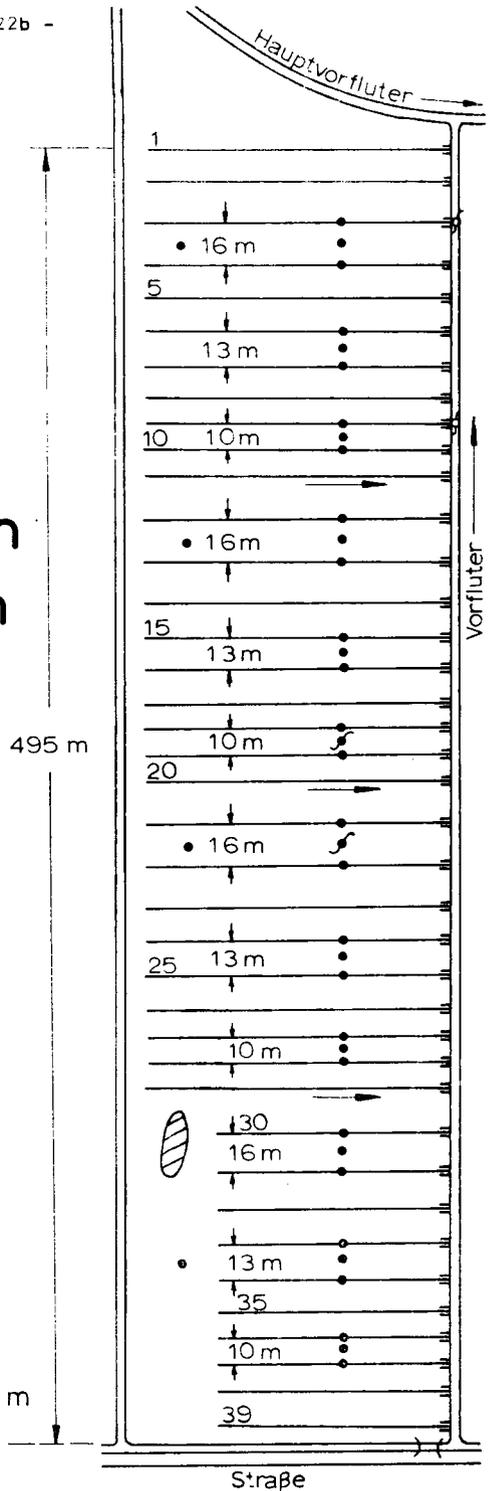
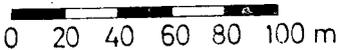


$$\frac{\Delta\Phi_{ap}}{q} = W_{ap}^x = \frac{\alpha_{rad} + \alpha_e}{K} \quad (\text{Tag/m})$$



Abb. 2 Dränabstandsversuch auf leichter Marsch

- GW - Meßstelle
- ⌘ GW - Schreibpegel
- ⌘ Abflußmeßstelle



Straße

Abb.3 Bodenkennwerte: Wöhrden - Kalkmarsch

Sandiger Schluff, Einzelkorngefüge, bis 1,30 m u. Flur Wurmgänge und dunkle Konkretionen durch Reste von Schilfrhizomen, ab 2,30 m u. Flur G_r-Horizont

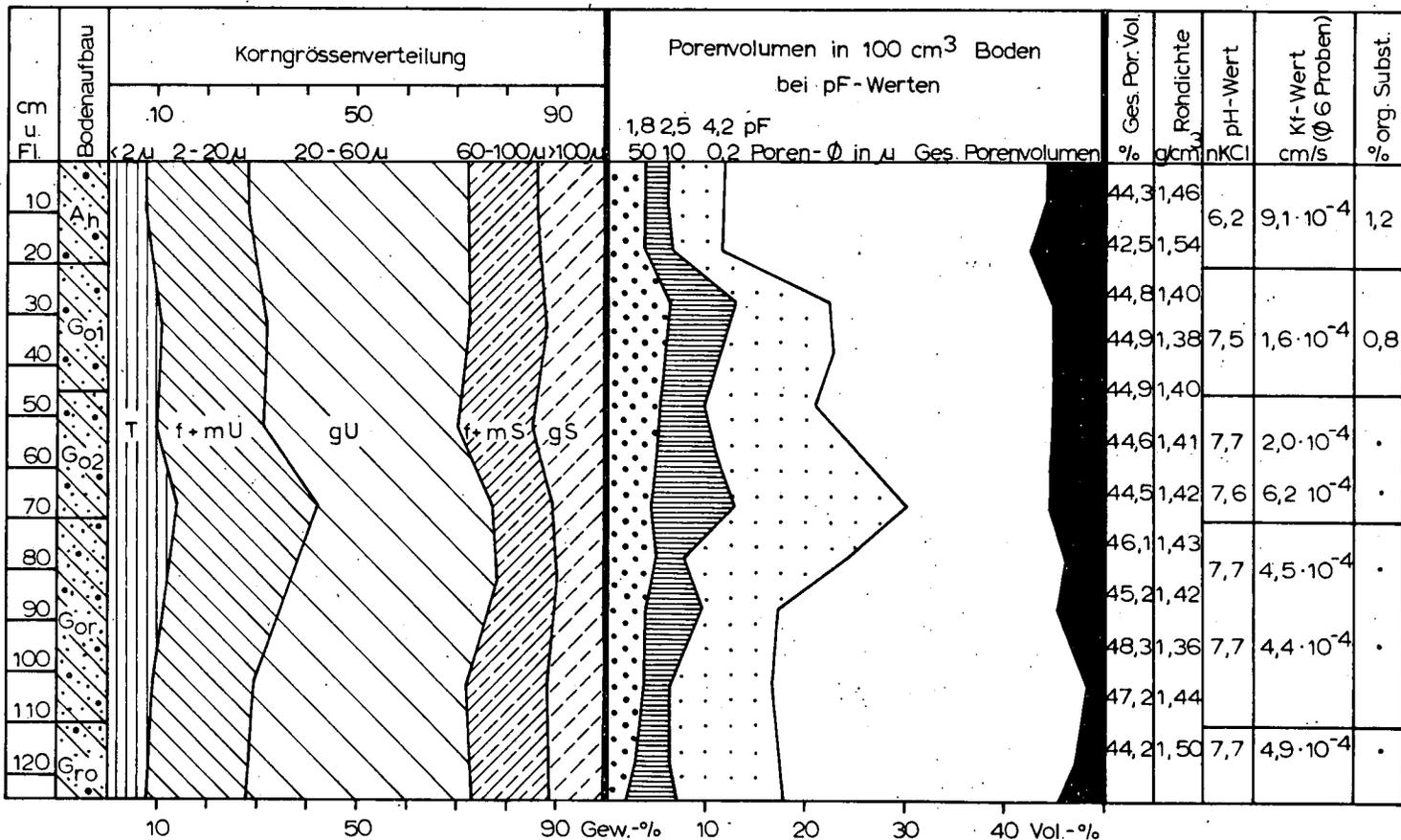


Abb. 4

Potentialdifferenz für den Wassereintritt und Dränabfluß
an verschiedenen Tagen
(Mittelwerte von jeweils 18 Dräns, Wöhrden,
Jan. bis Okt. 1968)

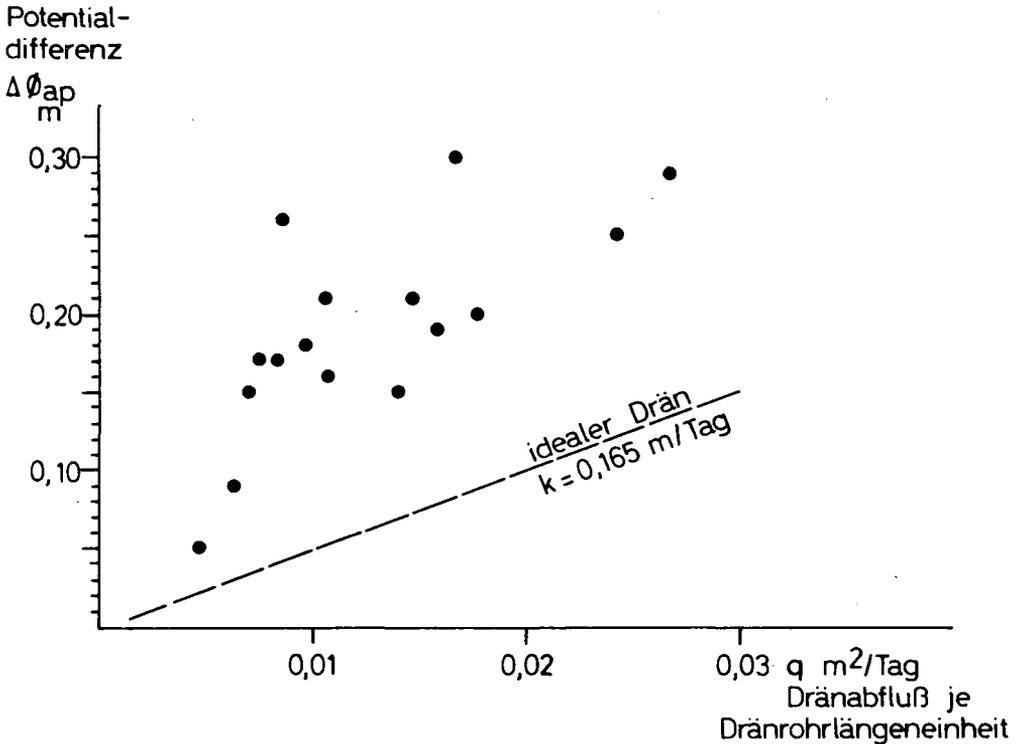


Abb. 5
Gemessener Widerstand für den Wassereintritt
und errechnete Bodendurchlässigkeit
(Mittelwerte von 18 Dräns, Wöhrden,
Jan. bis Okt. 1968)

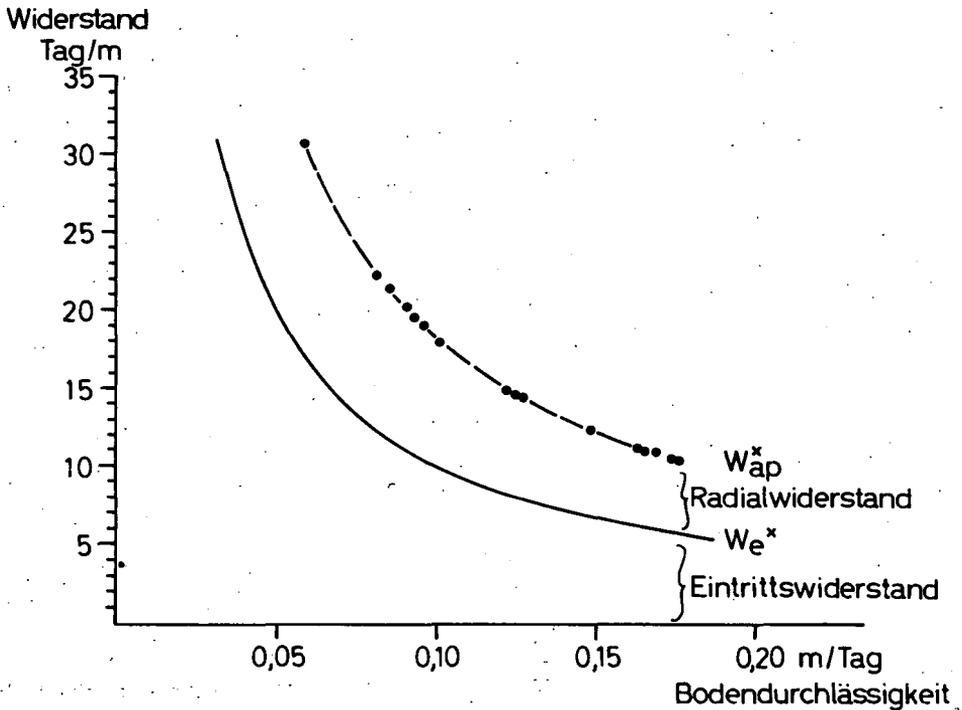


Abb. 6

Längsschnitt durch das Versuchsfeld Wöhrden mit unterschiedlichen mittleren Grundwasserständen

(114 Messungen, Mai 1965 - Okt. 1968)

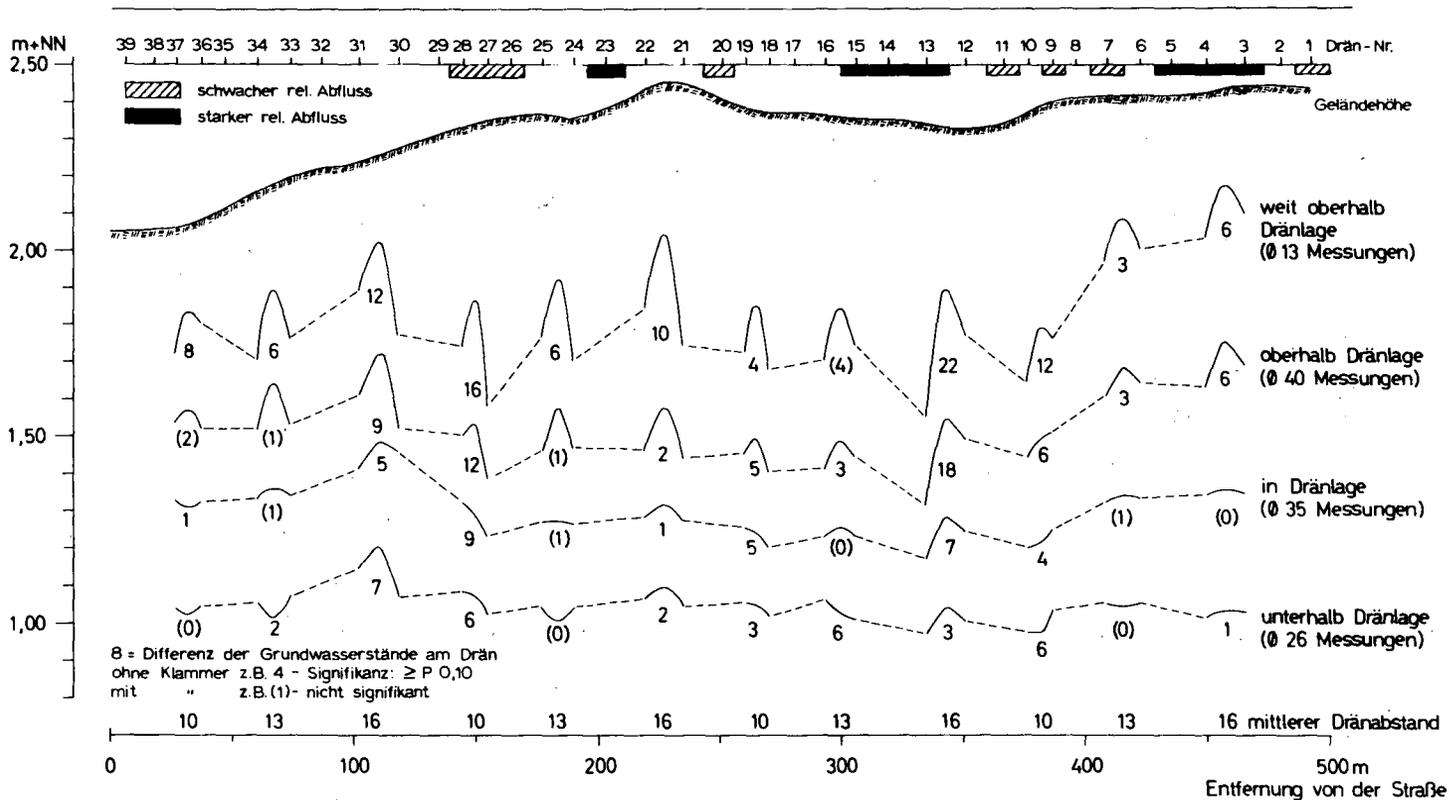
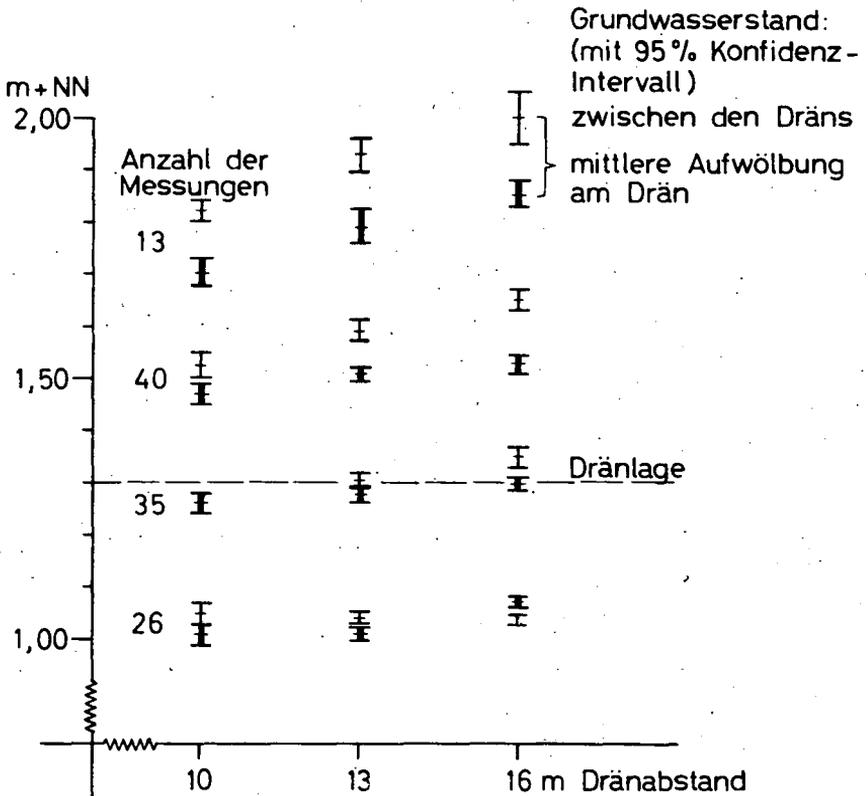


Abb. 7

Grundwasserstand bei unterschiedlichem Dränabstand

- Wörden -

(Mittel aus 4 Wiederholungen, 114 Messungen,
Mai 1965 - Okt. 1968)



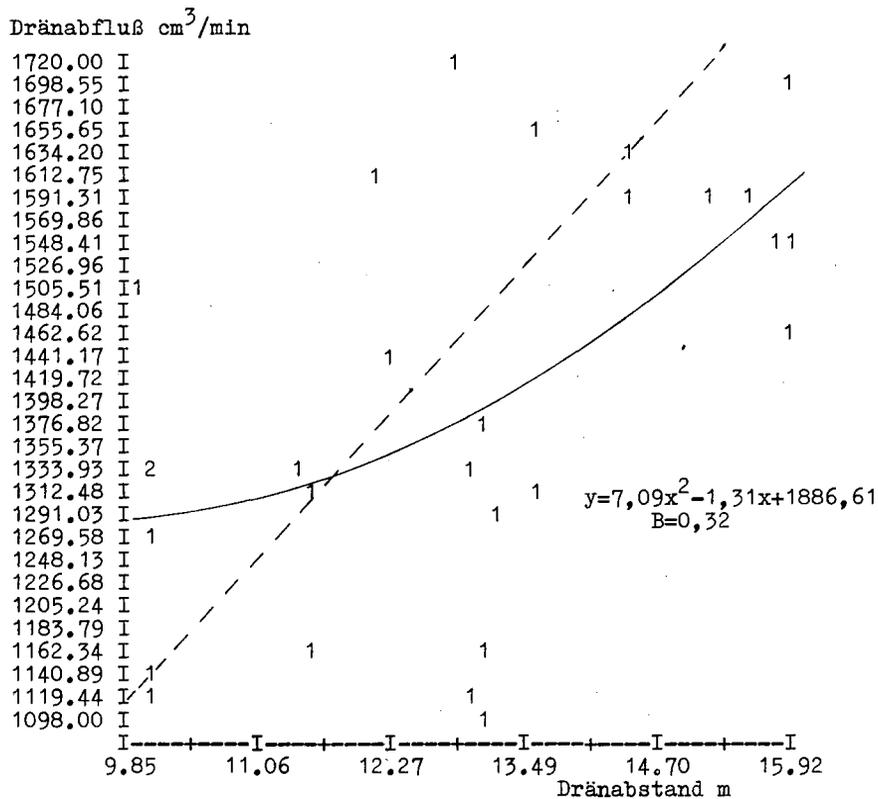


Abb. 8: Beziehung zwischen Dränabstand (m) und absolutem Dränabfluß (cm³/min) in Wöhrden (Mittel aus 30 Handmessungen, Nov. 1967 - Nov. 1968)

Abb.9 Mittlerer Dränabfluß bei unterschiedlichem Dränabstand - W ö h r d e n -
 (Mittel aus 30 Handmessungen, Nov. 1967 - Nov. 1968)

Gruppe	mittlerer Dränabstand m	Zahl der Wiederholun- gen	mittlerer Dränabfluß			
			absolut cm ³ /min	relativ 1/s ha		
I	10,40	12	1141	keine S. P = 0,01 keine S.	0,165	P = 0,10 P = 0,05 keine S.
II	13,30	17	1277		0,138	
III	15,80	7	1473		0,132	
im Mittel			1297		0,145	

*) nach WILCOXON RANK SUM TEST

Über den Einfluß der Dränung auf das Gefüge und
die Wasserdurchlässigkeit bindiger Böden

von M. Renger *)

Der Einfluß der Dränung auf das Bodenmakrogefüge und die Wasserdurchlässigkeit war in der Vergangenheit schon häufig Gegenstand von Untersuchungen und Diskussionen. Mit diesem Problem haben sich vor allem die zuständigen Ausschüsse des Kuratoriums für Kulturbauwesen beschäftigt. Für den Kulturtechniker ist diese Frage im Zusammenhang mit der Bemessung von Dränebständen wichtig. Wenn nämlich mit einer Dränung eine Zunahme der Durchlässigkeit verbunden wäre, so könnte die geplante Entwässerungsanlage nach einer im voraus korrigierten Durchlässigkeit großzügiger und damit wirtschaftlicher bemessen werden.

Die bisherigen Ergebnisse sind allerdings sehr unterschiedlich. So konnten z.B. SCHWENDINGER (1963), v.HOORN (1958), PONS u. ZONNEVELD (1965), VERHOEVEN (mündl.Mitteilung) Gefügeverbesserungen und Zunahmen der Wasserdurchlässigkeit mehrere Jahre nach der Dränung bei Marsch- und Aueböden feststellen. EILERS (1968) fand dagegen bei einer Breckmarsch keinen signifikanten Einfluß der Dränung auf die Wasserdurchlässigkeit. Wenn man die Eigenschaften dieser Böden etwas näher betrachtet, so kann eine gewisse Abhängigkeit des Dräneinflusses von der Lagerungsdichte zum Zeitpunkt der Dränung festgestellt werden. Je geringer diese ist, um so größer ist die Gefügeverbesserung nach einer Dränung. Wenn man diese Frage etwas näher untersuchen will, so braucht man als erstes einen Kennwert für die Lagerungsdichte. Es liegt nahe,

*) Niedersächs.Landesamt für Bodenforschung,
Hannover-Buchholz, Postfach 54

defür die Dichte des Bodens (Rohdichte) in Form des Volumengewichtes heranzuziehen. Bei näherer Betrachtung stellt man aber fest, daß man dabei den Tongehalt berücksichtigen muß (s. Abb. 1). In Abb. 1 ist die Beziehung zwischen Tongehalt und Volumengewicht dargestellt. Außerdem geht aus der Abb. 1 die im Gelände angesprochene Lagerungsdichte hervor. Die Grundlage für die drei Klassen ist das im Gelände angetroffene Bodenmakrogefüge. Hohe Lagerungsdichte liegt vor, wenn z. B. sehr grobe Gefügeelemente (Prismen) mit dichtem Kohärentgefüge angetroffen werden. Geringe Lagerungsdichte entspricht einem lockeren Kohärent-Gefüge oder feinem Polyedergefüge mit einer sperrigen Lagerungsart. Diese Zusammenhänge sind bereits von BENECKE (1966) ausführlich beschrieben worden.

Abb. 1 zeigt, daß zwischen der im Gelände angesprochenen Lagerungsdichte und dem Volumengewicht durchaus eine enge Beziehung besteht. Diese Beziehung wird aber zusätzlich durch den Tongehalt beeinflusst. Diesen Einfluß kann man mit der Regressionsanalyse berechnen und demit auch ausschalten. Aus den Gleichungen geht hervor, daß das Volumengewicht pro % Ton bei gleicher Lagerungsdichte um etwa $0,009 \text{ g/cm}^3$ abnimmt.

Mit Hilfe der folgenden Gleichung kann der Tongehalt ausgeschaltet werden:

$$\text{Lagerungsdichte} = (\text{Vol-Gew}) + 0,009 (\% \text{ Ton})$$

Der so errechnete Wert ist ein Kennwert für die Lagerungsdichte (s. Abb. 2).

Anstelle des Volumengewichtes kann man auch vom Gesamt-Porenvolumen (GPV) ausgehen. Der Tongehalt ist dann durch folgende Gleichung zu berücksichtigen:

$$\text{relative Lagerungsdichte} = (\text{GPV}) - 0,26 (\% \text{ Ton})$$

In beiden Fällen erhält man einen Kennwert für die Lagerungsdichte, der sehr einfach zu messen ist und im Gelände auch geschätzt werden kann.

Wenn nun die eingangs getroffene Feststellung, daß der Einfluß der Dränung auf die Wasserdurchlässigkeit von der Lagerungsdichte abhängig ist, zutrifft, dann müßte der errechnete Kennwert in einer bestimmten Beziehung zur Wasserdurchlässigkeit stehen.

In Abb. 3 sind die k_f -Werte (Tiefe 3-10 dm u.Fl.) gegen die errechnete Lagerungsdichte aufgetragen. Dabei wurde unterschieden zwischen gedränten und nicht gedränten Böden.

Die Durchlässigkeit nimmt zunächst bis zu einer Lagerungsdichte von 1,5 zu und darüber wieder ab. Die Ursache hierfür ist folgendes:

Bei einer sehr geringen Lagerungsdichte von $< 1,2$ liegt noch kein Aggregat- oder Absonderungsgefüge vor. Es existieren also noch keine sehr groben Poren mit hoher Kontinuität. Die Durchlässigkeit ist daher sehr gering. Bei einer Lagerungsdichte von $\sim 1,2$ beginnt etwa das Absonderungsgefüge, es ist bei 1,5 am besten ausgeprägt. Daher treten hier auch die höchsten k_f -Werte auf. Ab 1,5 nehmen die gröberen Gefügeelemente (Prismen) zu, die Durchlässigkeit nimmt entsprechend ab.

Nun zum eigentlichen Problem, zum Vergleich nicht gedränter und gedränter Böden. Wenn eine Dränung in jedem Fall mit einer Erhöhung der Durchlässigkeit verbunden wäre, dann müßten auf der rechten Seite (Abb. 3) die k_f -Werte der gedränten Böden höher liegen, als die der nicht gedränten Böden. Dies ist nicht der Fall. Auf der linken Seite ist diese Frage nicht ohne weiteres zu beantworten, da aus der Abbildung nicht hervorgeht, welche Böden bei dem Vergleich gedränt und nicht gedränt zusammengehören. Deshalb sind in Abb. 4 vergleichbare Werte von gedränten und nicht gedränten Böden noch einmal zusammen aufgetragen.

Bei den Böden 1 bis 3 handelt es sich um Roh-Seemarschen bzw. nach der Dränung um unreife Seemarschen. Hier nimmt die Wasserdurchlässigkeit durch eine Entwässerung stark zu (PONS u. ZONNEVELD 1965, VERHOEVEN, mündl. Mitteilung).

4 und 5 sind kalkhaltige Aueböden (SCHWENDINGER 1963). Auch hier ist eine starke Zunahme der Durchlässigkeit durch Dränung festzustellen. Die Lagerungsdichte von 4 und 5 mußte anhand der Bodenansprache und vorhandener Daten ähnlicher Böden geschätzt werden. Sie sind mit einem gewissen Fehler behaftet, der aber nicht größer sein dürfte als $\pm 0,1 - 0,2 \text{ g/cm}^3$.

Bei 6 und 7 handelt es sich um eine Breckmersch (Dränversuch Infeld). EILERS (1968) hat hier keine signifikante Zunahme der Durchlässigkeit und des dränbaren Porenvolumens festgestellt.

Die Böden 8 bis 11 sind Pelosol-Pseudogleye aus mesozoischen Tonen; auch hier keine Zunahme der Wasserdurchlässigkeit. Den Werten 8 bis 11 liegen keine exakten Dränversuche zugrunde. In der Nähe von tieferen Gräben wurden in verschiedenen Entfernungen vom Graben Durchlässigkeitsmessungen nach HOOGHOUTD-ERNST durchgeführt. Dabei konnte keine Abhängigkeit von der Grabenentfernung festgestellt werden. Bei diesem Verfahren sind die Randbedingungen für die Bohrlochmethode unmittelbar in der Nähe des Grabens nicht ganz sauber (Aufwölbung und horizontale Strömung). Bei den niedrigen Durchlässigkeitswerten ist dieser Fehler aber gering. Es kam hier zunächst einmal darauf an, Tendenzen festzustellen. Bei den niedrigen Wasserdurchlässigkeitswerten von 1-5 cm/Teg sind Zunahmen nur dann von praktischer Bedeutung, wenn sie ein Mehrfaches des Ausgangswertes betragen.

Aus den bisherigen Ergebnissen ergibt sich, daß die Wasserdurchlässigkeit oberhalb Dräntiefe nach einer Dränung nur bei geringer Lagerungsdichte zunimmt. Dies sind in der Regel Böden mit hohen Grundwasserständen, d.h. sie liegen vor der Dränung fast immer im gequollenen Zustand vor. Bei diesen Böden kann man durch eine Entwässerung einiges erreichen, wenn sie Kalk enthalten bzw. eine günstige Kationenbelegung aufweisen.

Durchlässigkeitszunahmen oberhalb Dräntiefe sind aber nur dann von Bedeutung für die Bemessung von Dränabständen, wenn die Durchlässigkeit unterhalb Dräntiefe gering ist. Dies ergibt sich aus der Formel für die Berechnung der Dränabstände nach HOOGHOUDT (s. auch KUNTZE 1964).

Daraus folgt, daß die Frage der Gefügeverbesserung durch Dränung ziemlich stark eingeengt werden kann. Die Ergebnisse zeigen weiterhin, daß bei höherer Lagerungsdichte keine Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit auftritt. Als vorläufige Grenze kann man den Bereich $1,6 - 1,7 \text{ g/cm}^3$ angeben.

Es ist daher wohl nicht gerechtfertigt, bei den Stauwasserböden mit einer Zunahme der Durchlässigkeit durch eine Dränung zu rechnen, wie dies z. B. ein Entwurf der neuen Dränenweisung vorsieht (s. Abb. 5).

Die Dränabstände der Stauwasserböden sollen auch in der neuen Dränenweisung nach dem Tongehalt festgelegt werden. Hier sieht der neue Entwurf bei höheren Tongehalten eine Erweiterung der Dränabstände in bestimmten Fällen vor (gestrichelte Linie in Abb. 5), nämlich dann, wenn sich nach der Dränung ein günstiges Gefüge ausbildet.

Da aber die Lagerungsdichte der Stauwasserböden in der Regel sehr hoch ist, dürfte die Chance für die Ausbildung eines günstigen Gefüges sehr gering sein. Dies soll ein wenig näher erläutert werden. Stauwasserböden zeichnen sich im allgemeinen durch eine Naß- und Trockenphase aus. In der Trockenphase sind die äußeren Voraussetzungen für eine bessere Gefügebildung gegeben. Trotzdem bildet sich ein solches Gefüge nicht aus. Daraus kann man wohl die Schlußfolgerung ziehen, wenn dies in der Trockenphase nicht erreicht wird, dann wird man es durch eine Dränung auch nicht erreichen. Nun kann zwar eingewendet werden, das günstige Gefüge werde jeweils während der Naßphase infolge der Quellung wieder zerstört. Dieser Einwand soll nicht vollkommen ausgeschlossen werden. Aber auch durch eine Dränung kann die Quellung nicht verhindert werden. Denn die Quellungs-

vorgänge sind nach den Untersuchungen von KUNTZE (1961) bei pf-Werten von 1,5 -- 2,0 fest abgeschlossen, d.h., daß die Quellung in einem Bereich stattfindet, der durch eine Dränung nicht beeinflußt werden kann.

Bei den Gefügebetrachtungen im Zusammenhang mit der Dränung muß sicher auch die biologische Komponente berücksichtigt werden. So ist z.B. in Verbindung mit der Dränung eine stärkere Durchwurzelung denkbar. Aus unseren Untersuchungen geht jedoch hervor, daß diese biologischen Faktoren keinen signifikanten Einfluß auf die physikalischen Kennwerte z. B. kf und pf ausüben.

Zusammenfassend kann man also feststellen, daß bei den Stauwasserböden, die sich durch eine hohe Lagerungsdichte auszeichnen, nach unseren Untersuchungen keine Gefügebesserung durch Dränung allein zu erwarten ist.

LITERATUR

- BENECKE, P.: Die Geländeansprache des Bodengefüges in Verbindung mit Entnahme von Stechzylinderproben für Durchlässigkeitsmessungen. - Z.Kulturtechn.Flurbereinigung, Bd. 7, S. 91-104, 1966
- EILERS, H.: Neue Bemessungsverfahren für den Dränentwurf und ihre Überprüfung im Feldversuch (Dränversuch Infeld). - Mitteil. aus dem Inst.f.Wasserwirtsch. u.Landwirtsch. Wasserbau der TU Hannover, Heft 12, S. 1-305, 1968
- HOORN, J.W., v.: Results of a ground water experimental field with arable crops. - Neth.J.Agric., Sci 6, S 1, 1958
- KUNTZE, H.: Die Messung des Quellendruckes von Marschböden. - Z.Pflanzenernähr.,Düng.,Bodenkde., 96, S.97, 1961
- KUNTZE, H.: Einfluß der Dränung auf die Struktur des Marschbodens. - Z.Kulturtechn., Flurbereinigung, Bd. 5, S. 129-193, 1964
- PONS, L.J. and ZONNEVELD, J.S.: Soil ripening and soil classification. - Internat.Inst.for Land Reclamation and Improvement Wageningen Niederlande Publ. Nr. 13,1965
- SCHWENDINGER, E.: Der Nachweis der Dränbedürftigkeit auf Grund neuester Versuchserfahrungen. - Schweiz.Z.Vermees., Kulturtechn.,Photogrammetrie 61, S.119-138, 1963

Abb. 1

Volumengewicht (Dichte des Bodens) und Tongehalt von Böden mit unterschiedlicher Lagerungsdichte (Gehalt an organischer Substanz < 3%)

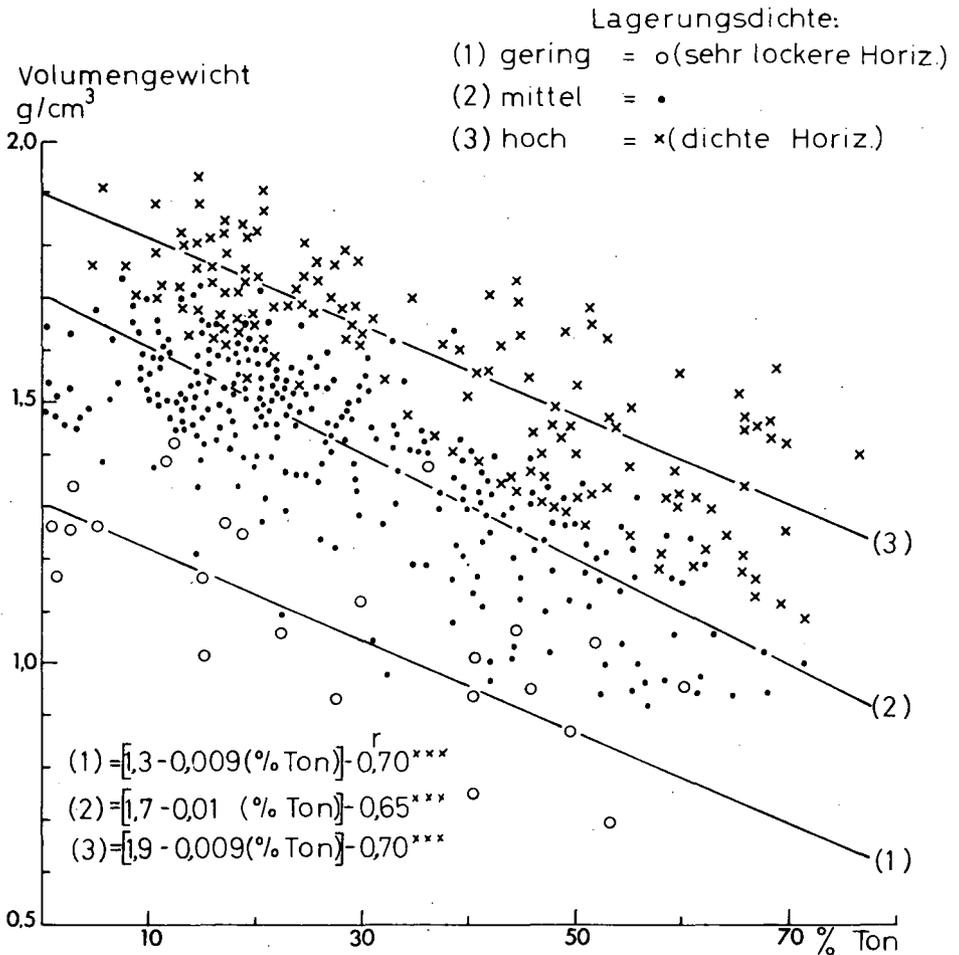
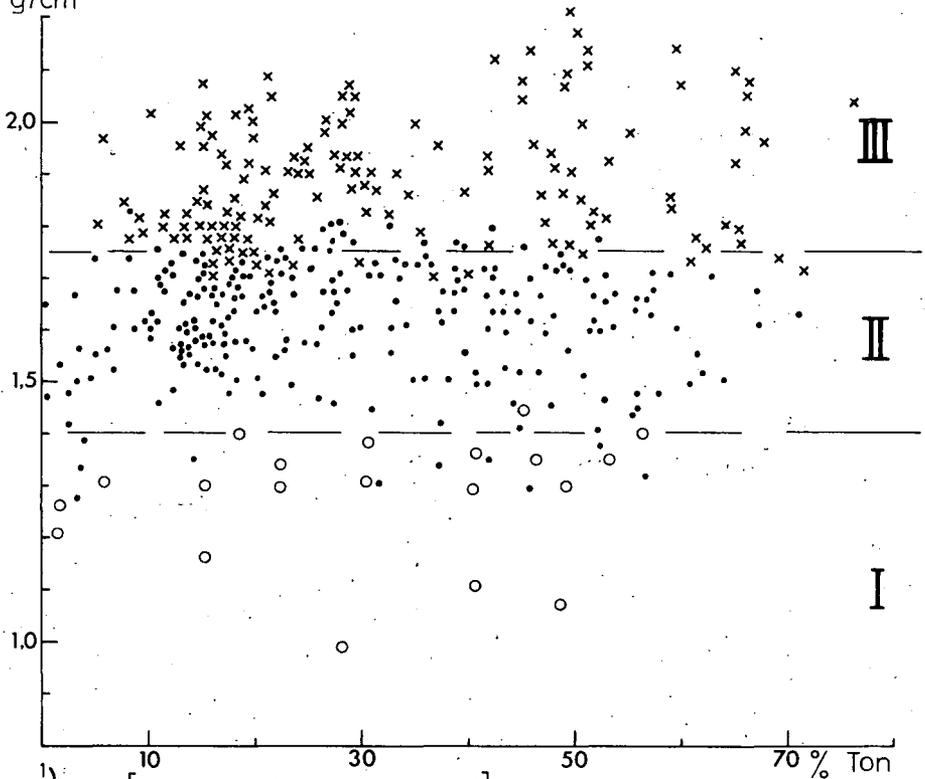


Abb. 2 Einteilung der Lagerungsdichte (Ld) von Böden

Lagerungsdichte: gering = o (sehr lockere Horiz.)
(Geländeansprache) mittel = •
hoch = x (dichte Horiz.)

Kennwert für Ld ¹⁾
g/cm³



¹⁾ $Ld = [(Vol.-Gew.) + 0,009(\% \text{ Ton})]$

Klasseneinteilung

Klasse	Bezeichnung	Ld-Wert g/cm ³
I	gering	< 1,4
II	mittel	1,4-1,75
III	hoch	> 1,75

Wasserdurchlässigkeit (k_f) und Lagerungsdichte (L_d) bindiger Böden

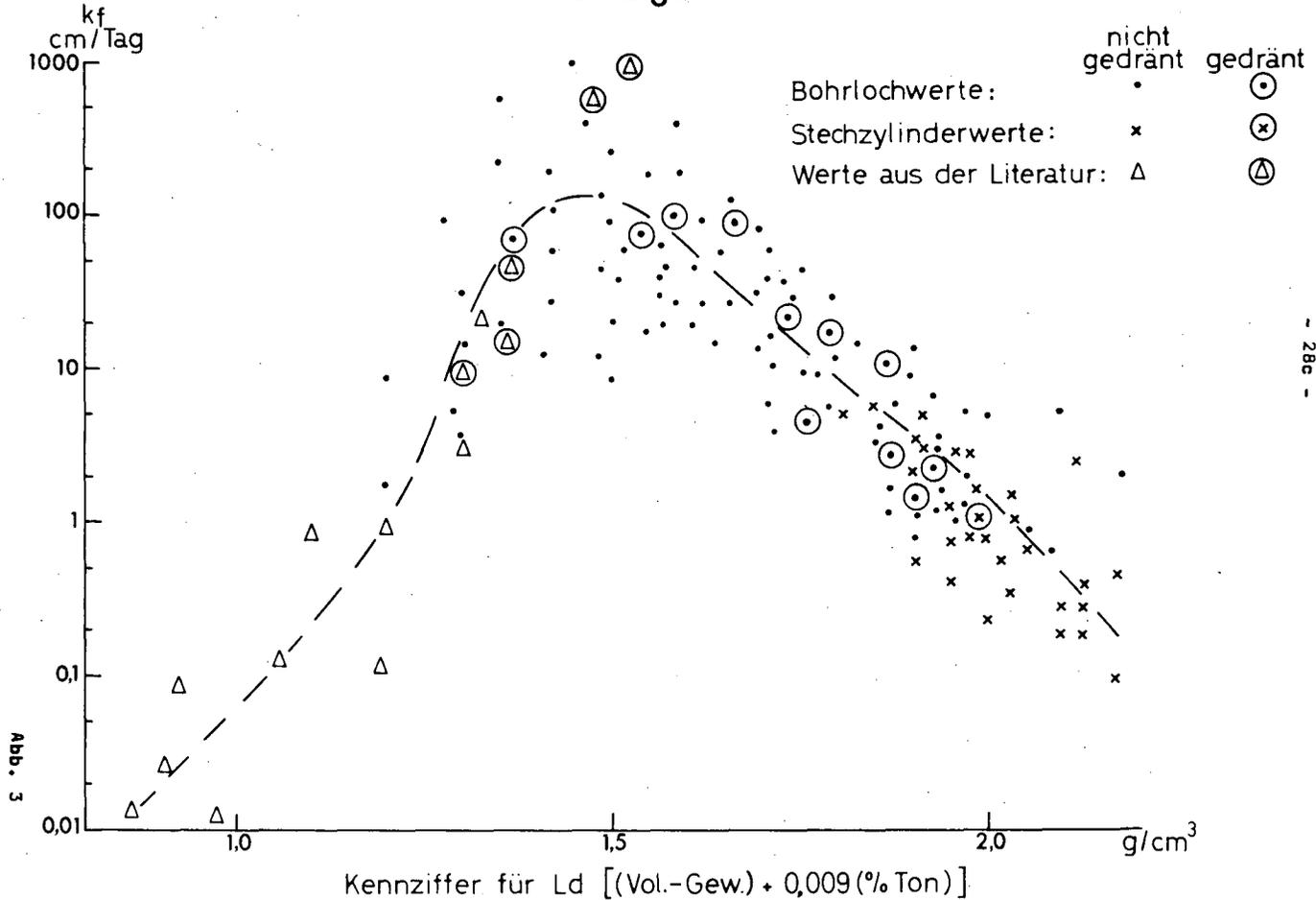


Abb. 3

Wasserdurchlässigkeit (k_f) und Lagerungsdichte (L_d) gedrünter und nicht gedrünter Böden

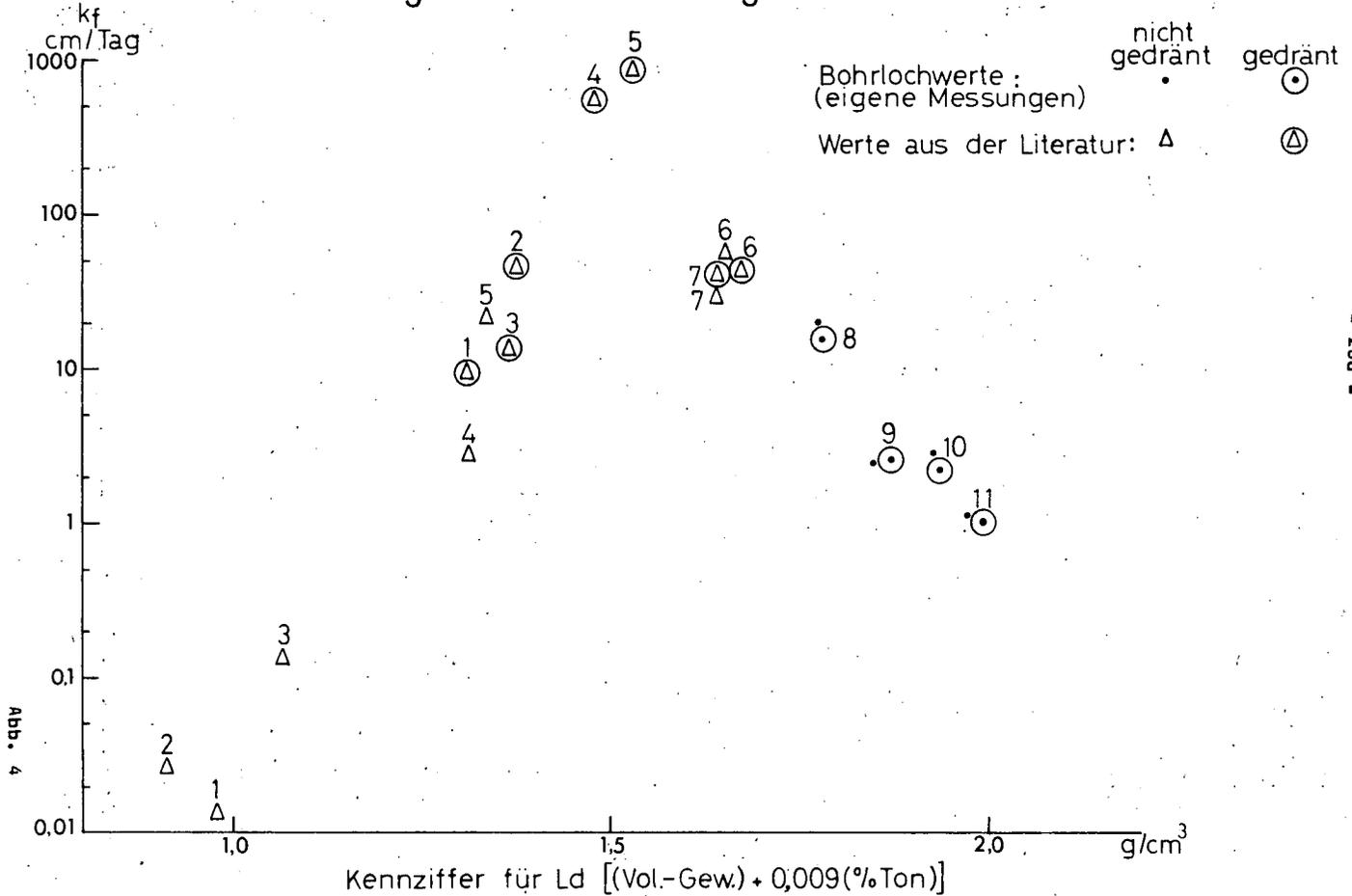


Abb. 4

DIN 1185 (Entwurf)

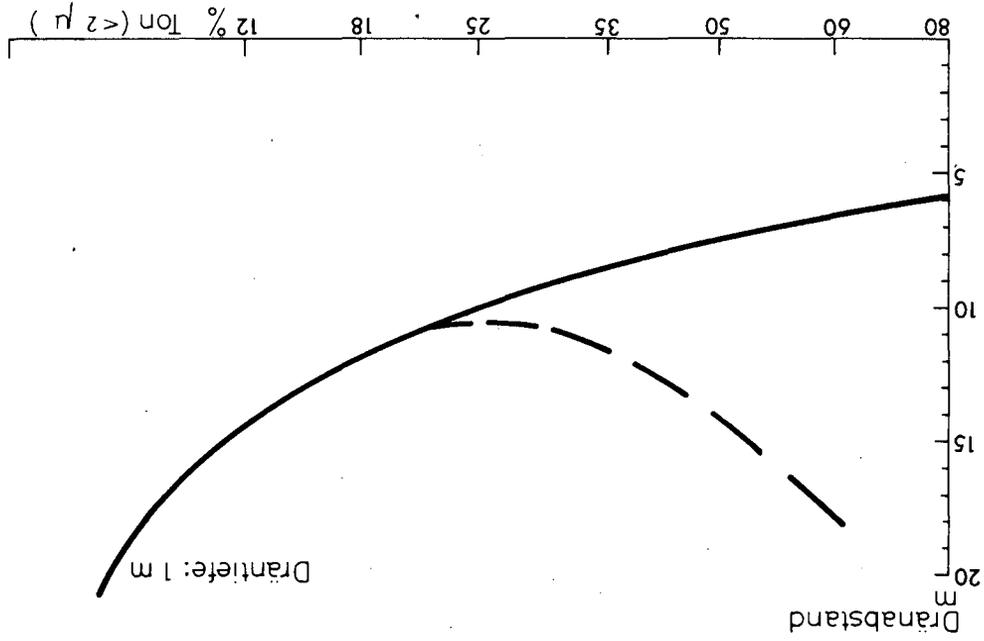


Abb. 5



Tensiometermessungen zum Nachweis von Boden-

verdichtungen auf Dränflächen

von H. Wichtmann *)

1. Problemstellung

Bodenverdichtungen können entweder direkt gemessen oder aber durch den Nachweis einer Veränderung bestimmter Bodeneigenschaften festgestellt werden. Besonders stark wirken sie sich auf die Wasserdurchlässigkeit aus und haben denn meist zeitweilige Bodenvernässung zur Folge. Treten Bodenvernässungen auf Dränflächen auf, wird normalerweise ein Versagen der Dränung angenommen, und es ist häufig nicht einfach, die unter vielen Möglichkeiten sich verbergende Ursache der Vernässung konkret nachzuweisen.

Im Folgenden werden Ergebnisse von Untersuchungen über die Ursachen von Bodenvernässungen auf Dränflächen mitgeteilt. Sie wurden von kulturtechnischen Dienststellen veranlaßt, nachdem die Besitzer der Flächen wegen des Versagens der Dränung vorstellig geworden waren. Dabei wurden Tensiometer zur Ermittlung des Saugspannungsprofils und radioaktive Sonden der Firma Berthold zu direkten Strukturmessungen eingesetzt.

2. Methodik und Geräte

Für die Untersuchungen wurden einmal von Herrn Dr. Benecke, Hann.-Münden, freundlicherweise zur Verfügung gestellte Tensiometer benutzt. Dann wurde ein etwas modifiziertes Gerät angewandt, bei dem Tensiometer und Manometer mit einem beweglichen Schlauch statt mit einem festen PVC-Hohlstab verbunden sind. Für Langzeituntersuchungen schließlich wurde

*) Geolog. Landesamt Nordrhein-Westfalen,
Krefeld, de-Greiff-Str. 195

ein wartungsfreies Tensiometer nach G. Völkner eingesetzt, das im hiesigen Labor entwickelt wurde. Es hat den Vorteil, daß auch im Dauerbetrieb keine Störung durch Lufteintritt in das Meßsystem zu befürchten ist.

3. Die Böden

Bei den untersuchten Böden handelt es sich meist um Grundwasser- bzw. Staunässeböden der Soester Börde. Sie sind vorwiegend aus Löß entstanden. Die Böden I und II sind Parabraunerde-Gleye; ein typisches Profil ist in den Erläuterungen zur Bodenkarte Soest (Wichtmann 1968) als Profil 21 beschrieben. Aus den Analyseergebnissen geht hervor, daß die Durchschlammungserscheinungen sehr gering sind. Der Tongehalt liegt mit rund 16 % im B_t/G_o -Horizont nur 2 % über dem des A-Horizontes.

Bei Boden III handelt es sich um einen Pseudogley aus tonig-schluffigem Lehm mit geringmächtiger Lößlehmüberdeckung.

Boden IV ist eine Parabraunerde, wie sie in den Erläuterungen zu Blatt Soest unter Profil Nr. 5 bis 7 beschrieben ist. Sie wurde zur gleichen Zeit untersucht wie die vorgenannten Böden.

Bei Boden V handelt es sich um einen Gley, der als Acker genutzt wurde. In der Bearbeitungszone wechseln die Bodenarten zwischen humosem lehmigem Sand und stark sandigem Lehm. Darunter folgen schwach lehmiger Sand und in 1 bis 2 m Tiefe die hier meist als sandiger Lehm ausgebildete Grundmoräne.

4. Untersuchungsergebnisse

Zu den Ergebnissen in Abbildung 1 ist vorauszuschicken, daß Boden I und II knapp 100 m auseinander liegen, daß sie bodenartlich und typologisch gleich ausgebildet sind und mit Zuckerrüben bestellt waren. Wegen starker Oberflächennässe auf Boden II mußten die bereits begonnenen Erntearbeiten unterbrochen werden, während die Ernte auf Boden I nicht behindert war.

Der Besitzer führte die Vernässung auf mangelnde Vorflut und Eintau von Wasser aus einer benachbarten Dränung zurück, deren Sammler durch die eigene Parzelle hindurchging. Seine Empörung ging so weit, daß er drohte, den Sammler aus seiner Parzelle herauszureißen. Die Untersuchungsergebnisse aber lassen eine andere Ursache der Vernässung erkennen, wie der Besitzer sie vermutet hatte.

Wie Abbildung 1 zeigt, sind die Saugspannungsprofile der Böden I und II sehr unterschiedlich. Boden I hat in 10 cm Tiefe eine Saugspannung von 49 cm Ws. Zur Tiefe nehmen die Werte gleichmäßig ab. Es ist ein schwaches, gleichmäßiges Fließgefälle zum Grundwasser vorhanden.

Der Boden II hat ebenfalls ein Fließgefälle zum Grundwasser. Im Gegensatz zum Boden I ist es jedoch energetisch sehr ungleichmäßig ausgebildet. In 5 cm Tiefe beträgt die Saugkraft 0 cm Ws, d.h. hier ist die Oberfläche eines flach sitzenden Stauwasser. Unterhalb der Bearbeitungsgrenze in 27 cm Tiefe erreicht die Saugspannung nur 25 cm Ws, in 34 cm Tiefe beträgt sie 32 cm Ws, um erst dann parallel zur Saugspannungslinie von Boden I abzunehmen.

Ähnliche Unterschiede lassen die direkten Strukturuntersuchungen mit radioaktiven Strahlern erkennen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Verteilung von Wasser-, Luft- und Gesamtporenvolumen im Bodenprofil

Tiefe cm	Boden I			Boden II		
	Gesamt- porenvol. %	Wasserge- halt in vol. %	Luftge- halt in vol. %	Gesamt- poren- vol. %	Wasserge- halt in vol. %	Luftgehalt in vol. %
20	42,6	37,6	5,0	42,6	40,1	1,5
30	43,8	36,7	7,1	41,9	37,6	4,3
40	43,4	36,7	6,7	43,3	36,7	6,3
50	42,6	38,9	4,6	43,0	37,6	5,4

Nach den Ergebnissen der Bodenfeuchtemessung mit der Neutronensonde liegt der Wassergehalt der stark vernässten Flächen in 20 cm Tiefe bei 40,1 vol.%, während Boden I nur 37,6 vol.% enthält. In 30 cm Tiefe liegen die Werte bei 37,6 gegen 36,7 vol.%, um sich in 40 cm Tiefe vollends auszugleichen. Das Gesamtporenvolumen ist in 20 und 40 cm Tiefe bei beiden Böden gleich und differiert erst in 30 cm Tiefe um fast 2 vol.%. Sehr deutlich sind die Unterschiede im Luftgehalt. Er beträgt bei Boden I in 20 bzw. 30 cm Tiefe 5,0 bzw. 7,1 vol.%, bei Boden II dagegen nur 1,5 bzw. 4,3 vol.%.

Beim folgenden Boden III handelt es sich um eine vor 30 Jahren gedränte Fläche, bei der die Frage nach einer Neudrängung gestellt wurde. Die Tensiometermessungen (Abbildung 2) zeigen einen ähnlichen Verlauf der Saugspannungslinie wie bei Boden II. In 10 cm Tiefe beträgt die Saugkraft nur noch 2 cm W_s , in 30 cm Tiefe steigt sie auf 20 cm W_s an. Damit liegen die Saugspannungswerte in 30 und auch in 45 cm Tiefe um 10 cm W_s niedriger als die Werte der Parabraunerde-Gleye in Abbildung 1.

Abbildung 3 zeigt das Saugspannungsprofil einer nicht gedränten Parabraunerde, das zur gleichen Zeit aufgenommen wurde. Die Fläche war wie die zu Boden III gehörige Fläche mit Getreidestoppeln besetzt.

Die Saugspannungslinie verläuft wiederum sehr ähnlich wie bei Boden II und III, wobei das Niveau jedoch deutlich nach rechts verschoben ist. Die Saugspannungswerte liegen höher.

Bei Boden V schließlich handelt es sich um einen Gley im Raum Bocholt. Die etwas eingetiefte Fläche ist 1967 zum zweiten Mal gedränt worden. Nach 2 Jahren Ackernutzung wurde sie in Grünland umgewandelt. Die Wirkung der Bodendrängung ist sehr unbefriedigend. In muldigen Lagen bilden sich nach höheren Niederschlägen Tümpel, in denen das neu angesäte Gras vom Wasser

erstickt wird. Dabei handelt es sich um einen leichten Boden aus lehmigem Sand bis stark sandigem Lehm in der Bearbeitungszone über Sand im Untergrund, von dem man erwarten sollte, daß er gut durchlässig ist. Es wurde bereits überlegt, die Fläche ein drittes Mal zu dränen.

Das am Rande des Tümpels aufgenommene Saugspannungsprofil ist in Abbildung 4 wiedergegeben. In 17 cm Tiefe beträgt die Saugkraft des Bodens -9 cm Ws. Das bedeutet, daß in 8 cm Tiefe die Oberfläche eines Stauwassers liegt. In 26 cm Tiefe steigt die Saugspannung auf 23 cm Ws an, der Boden ist also hier wiederum deutlich trockener als an der Oberfläche. Das Grundwasser steht bei 50 cm unter Oberfläche. Da der Grundwasserspiegel mit der Dräntiefe übereinstimmt, besteht kein Anlaß, an der guten Funktion der Dränenlage zu zweifeln oder gar ein drittes Mal zu dränen.

Auch hier wurde versucht, die vermutete Bodenverdichtung mit Bodenfeuchte- und -dichtemessungen direkt nachzuweisen. In Tabelle 2 sind die Porenvolumina der neu gedränten Fläche mit denen einer benachbarten Fläche verglichen, auf der die alte Dränung noch befriedigend arbeitet.

Tabelle 2: Vergleich der Porenvolumina der beiden Dränperzellen

Tiefe	Porenvolumen in %	
	altgedränt	neugedränt
20 cm	39,6	38,9
30 cm	36,2	35,5
40 cm	35,1	34,7

Die Ergebnisse geben aber keinen Hinweis für eine Bodenverdichtung. Die sehr geringen Unterschiede von weniger als 0,5 % liegen im Bereich der Meßfehler. Offenbar ist die Mächtigkeit der Bodenverdichtung (Pflugschle) so gering, daß sie sich dem Auflösungsvermögen der Sonde entzieht.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Diskussion der Ergebnisse sollte in zwei Richtungen gehen. Es erscheint zweckmäßig, zuerst die methodisch-technischen Fragen der Aufnahme von Saugspannungsprofilen auf vernäßen Böden zu behandeln. Erst danach soll die Bedeutung der Beobachtungen besprochen werden.

Bisher wurden Tensiometer meist zur fortlaufenden Kontrolle des Bodenfeuchtezustandes, zur Beobachtung der Versickerung bzw. des kapillaren Aufstiegs (Sisikov 1962, Benecke 1965, 1967, Hartge 1967, Hartge & Benecke 1968, Borchert 1967, Golisch & Renger 1969) sowie für Fragen der Feldberegnung (Heißner & Henkel 1965) eingesetzt. Zum Nachweis von Oberflächenverdichtungen auf Ackerböden sind sie meines Wissens noch nicht benutzt worden.

Vermutlich hat das in erster Linie methodisch-technische Gründe. Die bisher meist gebräuchlichen Tensiometer, bei denen keramische Kerzen und Manometer an einer festen Achse starr verbunden sind, eignen sich kaum für diesen Zweck. Sie müssen mit Hilfe eines Bohrers von oben in die verschiedenen Tiefen des Profils eingebracht werden, dessen Saugspannungen gemessen werden sollen. Das aber hat zwei Nachteile. Einmal ist wahrscheinlich, daß oberflächlich über der Verdichtungszone aufgestautes Wasser am Tensiometerschaft herunterläuft und das Meßergebnis verfälscht. Zum zweiten ist zu befürchten, daß beim Einbringen der Kerze in den feuchten Boden die Bodenstruktur an der Kontaktstelle Kerze/Boden empfindlich gestört wird. Es entsteht eine Verdichtung um die Kerze, die die Wasserleitfähigkeit des Bodens und damit den Druckausgleich zwischen Tensiometer und Boden verzögert. Wie groß dieser Einfluß ist, zeigten Beobachtungen am Boden V. Hier wurden zusätzlich sechs starre Tensiometer eingesetzt, indem mit einem Rohr von 20 mm Außendurchmesser ein Loch vorbereitet wurde, in das die Tensiometer mit einer Kerze von 21 mm Durchmesser eingesetzt wurden. Es erfolgte also eine Pressung des Bodens von nur 0,5 mm

an der Kontaktstelle. Sie wirkte sich in dem allerdings stark verdichteten, humosen, lehmigen Sand so aus, daß die Endeinstellung der Tensiometer trotz der niedrigen Saugspannung von weniger als 50 cm Wa nach 5 Stunden noch nicht erreicht war. In tonigen Böden zog sich der Ausgleich der Saugspannung sogar über mehrere Tage hin.

Beide Nachteile werden vermieden durch Benutzung eines Tensiometers, bei dem Kerze und Manometer durch einen flexiblen Schlauch miteinander verbunden sind. Das Einsetzen der Kerze geschieht hier von der freigelegten Profilwand aus. Dazu kann ein sehr scharfer, dünnwandiger Bohrer verwandt werden, wie er im Labor zum Ausbohren von Stopfen gebräuchlich ist. Wenn sein Durchmesser genau dem der Kerze entspricht und wenn sorgfältig genug gearbeitet wird, kann eine Störung der Bodenstruktur weitgehend verhindert werden, so daß bei niedriger Saugspannung der Ausgleich zwischen Tensiometer und Boden in meist weniger als einer Stunde erfolgt. Durch ein waagerechtes oder auch im spitzen Winkel nach oben gerichtetes Einsetzen der Kerze kann zudem der Einfluß von Stauwasser auf das Ergebnis mit Sicherheit ausgeschlossen werden. -

Was nun die Bedeutung, den Aussagewert der Ergebnisse angeht, so ist es wichtig, noch einmal darauf hinzuweisen, daß der Ausgang der Untersuchungen die Feststellung der Besitzer war, daß die Bodendränung versage. Diese Feststellung wurde durch die Aufnahme der Saugspannungsprofile insofern bestätigt, als sich ergibt, daß die beanstandeten Flächen ohne Ausnahme eine erhebliche Bodenvernässung aufwiesen. In Tabelle 3 sind die Einzelwerte der Messungen zum Vergleich aufgeführt.

Tabelle 3 Einzelwerte der Saugspannung und daraus resultierende Saugspannungsgradienten

Boden	Tiefe cm	Saugspannung cm Ws	Saugspannungsgradient cm Ws/cm
I	0 *)	+ 59	
	10	+ 49	
	24	+ 37	- 0,14
	35	+ 30	- 0,36
	65	+ 12	- 0,40
II	0 *)	+ 5	
	5	± 0	
	27	+ 25	- 2,14
	34	+ 32	- 2,00
	64	+ 12	- 0,33
III	0 *)	18	
	10	+ 8	
	32	+ 21	- 2,08
	51	+ 14	- 0,63
IV	0 *)	+ 58	
	9	+ 49	
	24	+ 75	- 2,73
	47	+ 55	- 0,13
	60	+ 30	+ 0,09
V	0 *)	+ 8	
	17	- 9	
	25	+ 23	- 5,00
	37	+ 18	- 0,58

*) unter Annahme des stationären Zustandes berechnete Werte

Wenn man die unter Annahme des stationären Zustandes berechneten Saugspannungswerte an der Bodenoberfläche zugrunde legt, ergeben sich für die Böden II, III und V Saugspannungen von nur +5, +18 und +8 cm W_s , wogegen die "normalen" Böden I und IV Saugspannungen von 58 und 59 cm W_s aufweisen.

In keinem Fall bestätigte sich dagegen die Vermutung der Besitzer, daß die Bodenvernässung ursächlich mit der Boden-dränung bzw. deren Versagen zu tun hätte. Hydrologisch gesehen liegen nämlich bei den vernässten Böden ausnahmslos Mehrschicht-profile vor. Wir finden einen stark vernässten Oberboden, eine relativ trockene Mittelschicht und einen allmählichen Übergang in den wassererfüllten Untergrund. Demgegenüber bildet der Boden I hydrologisch eine Einheit. Wir haben eine kontinuierliche Abnahme der Saugspannung von der Oberfläche bis hin zum Grundwasser. Entsprechend verhalten sich die Saugspannungsgradienten, die nach der Gleichung

$$G = \frac{h_o - h_u}{l} - 1 \text{ cm } W_s/\text{cm}$$

errechnet wurden, wobei h_o , h_u die am oberen bzw. unteren Tensiometer gemessene Wasserspannung in cm W_s , l die vertikale Fließstrecke und der Subtrahent 1 den Einfluß der Erdanziehung bedeuten. Bei Boden I ergeben sich niedrige und gleichmäßige Werte; bei den vernässten Böden dagegen sind neben den niedrigen zum Teil sehr hohe negative Gradienten ausgebildet.

Es ist einleuchtend, daß die beobachtete hydrologische Mehrschichtigkeit nur physikalisch bedingt sein kann. Die Ursache des Dränversagens kann deshalb nur in einer Oberflächenverdichtung der Böden gesucht werden, die auch in einem Falle mit Hilfe von Bodenfeuchte- und -dichtemessungen direkt nachgewiesen werden konnte. -

Zum Abschluß meiner Ausführungen darf ich vielleicht eine neheliegende Vermutung aussprechen. Es sind in der letzten Zeit gewichtige Vorbehalte gegen das Verfahren der Bodenmelioration mittels Dränung vorgebracht worden. Ich habe hier drei beanstandete Dränflächen untersucht. In allen Fällen hat sich herausgestellt, daß ein Versagen der Dränanlage nicht vorgelegen hat. Möglicherweise liegen die Verhältnisse bei sehr vielen Dränflächen ähnlich, so daß die optimalen Voraussetzungen für die Entwässerungsleistung, die von der Bodenbearbeitung her erbracht werden müssen, häufig nicht gegeben sind. Es wäre wünschenswert, wenn diese Vermutung mit Hilfe der methodisch einfachen Saugspannungsmessungen in größerem Umfang überprüft würde.

Zusammenfassung

Auf Dränflächen mit unbefriedigender Dränwirkung wurden auf Veranlassung und in Zusammenarbeit mit kulturtechnischen Dienststellen Untersuchungen zur Klärung des Versagens der Bodendränungen durchgeführt.

Entgegen der Vermutung, daß technische Mängel der Meliorationsanlage Ursache auftretender Vernässungen seien, konnte mit Hilfe von Saugspannungsmessungen nachgewiesen werden, daß sogenannte Pflugsohlenverdichtungen das Niederschlagwasser aufstauten und die Dränwirkung beeinträchtigten. Mit Hilfe direkter Strukturuntersuchungen durch radioaktive Sonden konnten die vorliegenden Bodenverdichtungen nur teilweise nachgewiesen werden. Die Tensiometermessungen sind nach diesen Erfahrungen zu ihrem Nachweis besser geeignet.

LITERATUR

- BENECKE, P.: Über die Wasserbewegung von Parabraunerden aus Löß.
Mitt. DBG 4, 1965, S. 163
- BENECKE, P.: Über Ergebnisse und Bedeutung der pf-Messung für die Beurteilung der Dränfähigkeit.
Mitt. DBG 7, 1967, S. 208
- BORCHERT, H.: Vorversuche mit Multitensiometern auf einer maulwurfgedrängten Fläche.
Mitt. DBG 7, 1967, S. 214
- GOLISCH, G. & Renger, M.: Ergebnisse der Tiefpflugversuche auf Parabraunerden aus Löß in Südhannover.
Vortrag anl. des Symposiums über die Tiefenbearbeitung des Bodens vom 23. bis 25. Juni 1969 in Giessen
- HARTGE, K.H.: Ergebnisse von Tensiometermessungen.
Mitt. DBG 7, 1967, S. 203
- HARTGE, K.H. & Benecke, P.: Wasserspannungsgradienten in einem Schluff- und in einem Sandboden.
Wasser und Boden, 20, 1968, H. 1, S. 18
- HEISSNER, A. & Henkel, A.: Empfehlungen für den Einsatz des Tensiometers zur Bestimmung des Beregnungszeitpunktes im Feldgemüsebau.
Dt. Gartenbau 12, 1965, H. 4, S. 1;
zitiert nach Untersuchungsmethoden des Bodenstrukturzustandes. Herausgeber: Internat. Bodenk. Ges. Kom. I (Bodenphysik)
VEB Landwirtschaftsverlag, Berlin 1968.
- SISIKOV, K.: Der Bodenfeuchtemesser (Tensiometer) und seine Anwendung bei der Untersuchung des Wasserhaltehalts der Böden. Pochvovedenie 1962, H. 8, S. 100;
zitiert nach Untersuchungsmethoden des Bodenstrukturzustandes. Herausgeber: Internat. Bodenk. Ges. Kom. I (Bodenphysik)
VEB Landwirtschaftsverlag, Berlin 1968
- WICHTMANN, H.: Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000
Erläuterungen zu Blatt 4414 Soest. Krefeld 1968

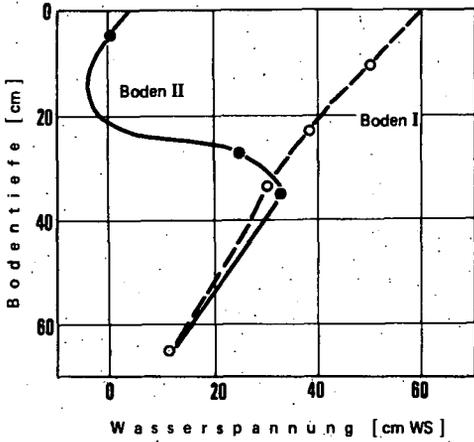


Abb.1 Saugspannungsprofil von zwei Parabraunerde - Gleien aus Löß am 14. 10. 1968

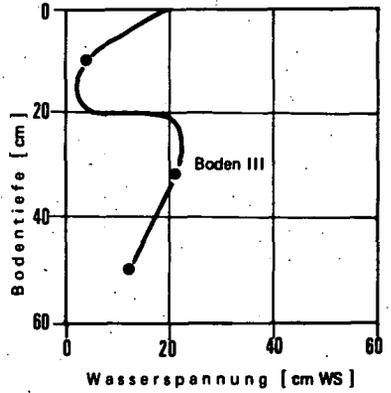


Abb.2 Saugspannungsprofil eines Pseudogleys aus tonigem Lehm am 15. 10. 1968

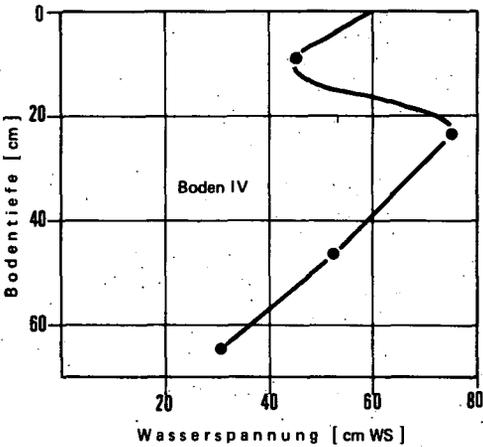


Abb.3 Saugspannungsprofil einer Parabraunerde aus Löß am 15. 10. 1968

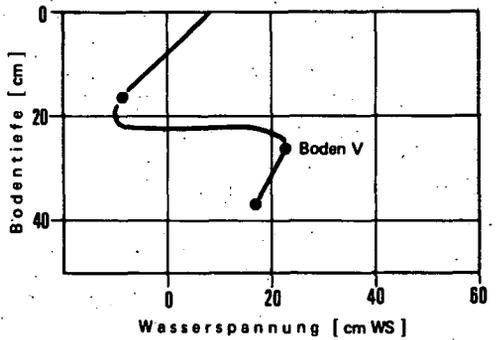


Abb.4 Saugspannungsprofil eines Gleys aus lehmigem Sand über Sand am 28. 11. 1968

Luftdurchlässigkeit von Moorböden vor
und nach ihrer Melioration *)

von R. Eggelsmann und H. Kuntze **)

1. Problem

Schwerpunkt unserer hydrologischen Untersuchungen ist der Wasserhaushalt der Moore. In einem Forschungsvorhaben *) wurde dazu auch die Luftdurchlässigkeit der Moorböden untersucht, weil Maßnahmen zur Regelung des Bodenwasserhaushaltes immer gleichfalls als solche zur Verbesserung des Lufthaushaltes angesehen werden können. Der Lufthaushalt der Moorböden wurde bisher nur rechnerisch über die Wasser- und Substanzvolumina bestimmt. Es ist aber bekannt, daß für einen gedeihlichen Pflanzenwuchs weniger der Luft g e h a l t im Boden als vielmehr der Luft- bzw. Gas a u s t a u s c h zwischen Boden und Atmosphäre, also die Luftbewegung wichtig ist. Die Luftdurchlässigkeit ist damit ein wichtiges bodenphysikalisches und gefügekundliches Kriterium für den Meliorationsbedarf und -erfolg.

2. Methoden

Die Luftdurchlässigkeit wurde vergleichend in natürlich gelegerten Moorböden nach KMOCH (K) (1962) und nach RID (R) (1960) gemessen.

Die Ergebnisse beider Meßmethoden sind nur indirekt vergleichbar.

*) Diese Untersuchungen wurden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, gefördert, wofür an dieser Stelle gedankt sei.

***) NLFb - Außeninstitut für Moorforschung und angew. Bodenkunde, 28 Bremen, Friedrich-Mißler-Str. 46-48

Das Gerät R ist vorwiegend für den Einsatz im Gelände geeignet, während das Gerät K sich nach unseren Erfahrungen mehr im Laborbetrieb bewährt hat. Allein die notwendige Horizontierung des Außenbehälters beim Gerät K ist im Gelände und ganz besonders im Moor sehr schwierig und durch Windeinfluß dauernd gefährdet. Außerdem beeinflußt Regen die elektrische Meßeinrichtung.

Im Felde wurde nach RID bei pF-Werten um 1,8 gemessen. Im Labor wurde die Luftdurchlässigkeit nach KMOCH bei pF 1,0; 1,8; 2,0 und 3,0 bestimmt.

Es wurden ausschließlich Torfschichten unterhalb Krumentiefe untersucht, in Schichten also, die von Bearbeitungsmaßnahmen nicht betroffen waren, jedoch kulturtechnisch-bodenkundlich von großem Interesse im Hinblick auf die Wirkung von landeskulturellen Maßnahmen sind. Im Gelände wurde in Schürffgruben oder an Torfstichwänden gemessen.

Mit beiden Methoden wurde in vertikaler und horizontaler Richtung die Luftdurchlässigkeit bestimmt.

Für jede Meßserie wurden soweit als möglich analog die üblichen bodenphysikalischen Kennziffern ermittelt, wie Substanz-, Wasser- und Luftvolumen, ferner pF-Werte, Kapillarität, Wasserdurchlässigkeit u.a.m.

3. Umfang

Es wurden insgesamt 952 Messungen ausgeführt, davon 740 nach der Methode RID und 212 nach KMOCH. Im Gelände wurde allgemein mit zehnfacher, im Labor mit vier- bis sechsfacher Wiederholung gemessen.

4. Ergebnisse

4.1. Methode RID

Alle nach der Methode RID gewonnenen Meßwerte der Durchlüftung wurden einer Häufigkeitsanalyse unterworfen; sie veranschaulicht, daß mehr als 80% aller Werte, unabhängig von Meßrichtung, Torfart und Humositätsgrad im Bereich der "schlechten" und "sehr schlechten" Durchlüftung liegen.

Die zwischen Durchlüftung (D) und Humosität (H) einerseits und zwischen D und Luftvolumen (LV) andererseits vorgenommenen Korrelationsanalysen zeigen nur beim Hochmoor einen mäßigen Zusammenhang zwischen D und H, in den anderen Korrelationen sind die Beziehungen zwischen D und H bzw. D und LV zweifelhaft und nicht gesichert.

Die Methode RID war für Moorböden bisher wenig aussagekräftig. Dies kann jedoch auch daran liegen, daß im Felde bislang vorwiegend bei hohen Bodenfeuchtwerten gemessen wurde. Es bleibt abzuwarten, ob bei trockenerem Moorboden und geringerem Staudruck die Tendenz der Ergebnisse bestätigt wird.

4.2. Methode KMOCH

Die Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse der nach der Methode KMOCH gemessenen Werte lassen für Niedermoor eine bessere Luftdurchlässigkeit als für Hochmoor erkennen und deuten in beiden Moortarten auf eine Anisotropie des Gefüges hin.

Die Korrelationen zwischen Luftdurchlässigkeit (k_{00}) und Humosität (H) sind negativ und zeigen einen deutlichen, hoch signifikanten Zusammenhang. Die Korrelation zwischen k_{00} und LV sind dagegen positiv und lassen mäßige Beziehungen erkennen, die aber nur teilweise signifikant sind (Luft einschüsse?).

5. Vergleiche der Luftdurchlässigkeit von Mineral- und Moorböden

5.1. Methode RID

Vergleicht man die von RID (1960) mitgeteilten Werte der Durchlüftung von fünf Mineralböden (Grobsand, Löß-Braunerde, Flinzsand, Löß-Parabraunerde, Löß-Pseudogley) mit den eigenen Werten für wenig und stark zersetzten Torf, so wird die "sehr schlechte" Durchlüftung der Torfe deutlich. Sie ist geringer als die des Pseudogleyes bei Löß.

5.2. Methode KMOCH

Die Gesamtwerte der Luftdurchlässigkeit für unsere Moorböden wurden variationsstatistisch ausgewertet (DAEVES & BECKEL, 1948) und den von KMOCH & HANUS (1965) genannten Werten für Mineralböden (Hochflutlehm-Parabraunerde, Lößrbhoden über tertiärem Sand, Sand-Braunerde, Löß-Braunerde, Löß-Pseudogley) gegenübergestellt.

Auch dieser Vergleich macht die "sehr geringe" bis "geringe" Luftdurchlässigkeit der Moorböden gegenüber den Mineralböden deutlich, die "mäßig" bis "gut" luftdurchlässig sind.

6. Einfluß der Melioration

6.1. Entwässerung

Eine profilmäßige Gegenüberstellung der Luftdurchlässigkeit, gemessen nach KMOCH vor und nach einer Entwässerung, ließ bei Niedermoor bis 70 cm-Tiefe eine Abnahme, bei Hochmoor eine Zunahme der Luftdurchlässigkeit erkennen.

6.2. Tiefkultur

In einem flachgründigen Hochmoor über Feinsand (Gley-Podsol) zeigen sowohl die bodenphysikalischen Kennwerte als auch die Luftdurchlässigkeit einen profilmäßigen bedingten Verlauf mit einem Minimum im Basistorf sowie im Ah- und B-Horizont des Feinsandes. Im vergleichbaren Tiefpflugprofil einer "Deutschen Sandmischkultur" war der humose bis stark humose Feinsand der Krume und des Unterbodens drei- bis zehnfach besser luftdurchlässig als das Naturprofil.

7. Diskussion

7.1. Porenraum

Die nach beiden Verfahren bestimmte Luftdurchlässigkeit der Moorböden ist überraschend gering, besonders im Hinblick auf deren sehr großen Gesamtporenraum. Vergleicht man die Aufgliederung der äquivalenten Porengrößen von Hoch- und Niedermoor nach KUNTZE (1965) mit den Luftdurchlässigkeiten, so sind diese auch danach nicht ganz verständlich, denn der Anteil an äquivalenten Grob- und Mittelporen ist zwischen Hochmoor und Niedermoor nicht so unterschiedlich wie die entsprechenden Luftdurchlässigkeiten. Zieht man die von PUFFE (1965) veröffentlichten Mikrotomschnitte von typischen Torfen zur Gegenüberstellung heran, so erkennt man darauf wesentliche bodenmorphologische Differenzen, so z. B. bei den Grobporen zwischen Sphagnumtorf und Seggen-Schilftorf.

Weitere Untersuchungen über die Mikromorphologie der Moorböden sind dazu erforderlich.

7.2. Einfluß der Entwässerung

Der unterschiedliche Einfluß der Entwässerung auf die Luftdurchlässigkeit in Hochmoor- und Niedermoor dürfte nicht zuletzt auch auf chemisch und teilweise biologisch bedingte stoffliche Umsetzungen zurückzuführen sein, die bekanntermaßen im Niedermoor rascher und stärker ablaufen als im Hochmoor; daneben treten Sackung und bei stark zersetzten Torfen Schrumpfung nach Entwässerung auf.

7.3. Folgerung

Obgleich durch eine Entwässerung in Moorböden das Luftvolumen verbessert werden kann, ist die teilweise gemessene Abnahme der Luftdurchlässigkeit in den Torfen infolge Sackung, Schrumpfung und Oxidation ein weiteres Kennzeichen dafür, daß derartig meliorierte Moorböden als Pflanzenstandort nicht immer nachhaltig verbessert werden können. Die Vorteile einer Sandmischkultur nach Tiefumbruch werden auch nach den Ergebnissen der Luftdurchlässigkeit erneut deutlich.

8. Zusammenfassung

Mittels der Feldmethode nach RID (1960) und der mehr für das Labor geeigneten Methode nach KMOCH (1962) wurde die Luftdurchlässigkeit zahlreicher Moorböden untersucht.

Vergleicht man die von RID und die von KMOCH & HANUS (1965) genannten Werte der Luftdurchlässigkeit für Mineralböden mit den für Moorböden erhaltenen, so wird deren außerordentlich geringe Luftdurchlässigkeit gegenüber den Mineralböden deutlich. Sie ist bei Niedermoor größer als bei Hochmoor und nimmt in beiden mit zunehmender Humosität ab. Die Anisotropie der Torfe ist auch bei diesem bodenphysikalischen Kennwert nicht zu übersehen.

Da es bei der Melioration der viel Wasser speichernden Moorböden darauf ankommt, vor allem den Lufthaushalt zu verbessern, kann der Bedarf und Erfolg einer Melioration auch nach der Luftdurchlässigkeit beurteilt werden. Sie nehm beispielsweise nach der Entwässerung im Niedermoor deutlich ab, im Hochmoor dagegen zu, sie war besonders stark angestiegen in den durch Tiefpflugeinsatz geschaffenen "Deutschen Sandmischkulturen".

9. Angeführte Literatur:

1. DAEVES, K. & A. BECKEL, 1948: Großzahl-Forschung und Häufigkeitsanalyse.
Verlag Chemie GmbH, Weinheim und Berlin
2. KMOCH, H.-G., 1962: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens.
Verlag Gebr. Bornträger, Berlin
3. KMOCH, H.-G. & H. HANUS, 1965: Vereinfachte Methodik und Auswertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft.
Z.f.Pflanzenernähr., Düngg., Bodenk., 111, S.1-10
4. KUNTZE, H., 1965: Physikalische Untersuchungsmethoden für Moor- und Anmoorböden.
Landw. Forschung, 18, S. 178-191
5. PUFFE, D., 1965: Gefügeuntersuchungen an Torfen.
Z.f.Kulturtechn. u. Flurbereinigung, 6,
S. 301-312
6. RID, H., 1960: Eine Feldmethode zur Messung der Bodendurchlüftung.
Z.f.Pflanzenernährg., Düngg., Bodenk., 88,
S. 227-231



Aspekte zum Verhalten des Bodenwassers am
Beispiel eines geschichteten Bodens

von P. Benecke *)

Der Gedanke, bei der Bemessung der Feldkapazität eines Bodens einen Teil der selbstdrainierenden Poren mit einzubeziehen, ist nicht neu. Die Berechtigung dieser Idee wurde dem Autor besonders deutlich bei Untersuchungen des Bodenwasserhaushaltes im Rahmen des sogenannten Solling-Projektes. Bei durchschnittlich etwa 1100 mm Niederschlägen schwankt der Wassergehalt durchweg in Grenzen unterhalb einer Saugspannung von $1/3$ atm, der üblichen Untergrenze der Feldkapazität. Dieses Verhalten widerspricht natürlich der Definition des Begriffes Feldkapazität.

Der Boden ist in Abb. 1 dargestellt. Die Schichtung ist deutlich zu erkennen. Das Profil befindet sich auf der Bunteandsteinhochfläche des Solling. Der anstehende mittlere Bunteandstein geht oberhalb etwa 4 m Tiefe in eine Zersetzzone über, die nach oben zunehmend feiner wird und zunehmend mit Lehm vermengt ist. Von etwa knapp 2 m Tiefe an hört der geordnete Gesteinsverband auf und es folgt eine lehmige Fließerde, deren oberer Teil auf dem Bilde zu erkennen ist. Die Fließerde wird - meistens unter Einschaltung eines Übergangshorizontes - von einer offensichtlich parautochthonen Lössfließerde überlagert, deren mittlere Mächtigkeit 60 bis 70 cm beträgt. Abb. 2 zeigt die Porenverteilung im Profil. Die günstigen physikalischen Eigenschaften der oberen Schicht spiegeln sich wieder in dem hohen Anteil grober und mittlerer Poren. Demgegenüber sind diese Bereiche

*) P. Benecke, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, 351 Hann. Münden, Mitscherlichstr. 3

in der unteren Schicht stark eingeeengt. Der größte Teil des unter 40 Vol.-% betragenden Porenraums wird von dem sog. "Totwasser" eingenommen. Für die Speicherung von verfügbarem Wasser und für die Wasserbewegung ist nur wenig Raum vorhanden.

Die Saugspannungsverteilung während einer Vierteljahresperiode von August bis November 1968 ist auf der Abb. 3 zu sehen. Dieser Zeitabschnitt ist so gewählt, daß er die in normalen Jahren auftretenden Extreme der Saugspannungen einschließt. Die Werte stellen Mittelwerte aus knapp 50 Wiederholungen dar. Man sieht, daß unter Fichte der Durchschnittswert maximal auf knapp über 320 cm WS ansteigt, sich im allgemeinen aber zwischen 25 und 200 cm WS in der oberen Schicht bewegt. Unter Buche liegen die Saugspannungen noch deutlich niedriger.

Die Frage stellt sich, wie die Feldkapazität für diesen Boden zu bemessen sei. Es liegt nahe, von der Ausflußkurve des anfänglich mehr oder weniger gesättigten Bodens auszugehen und die Trennungslinie zwischen dem "schnell" und dem "hinreichend langsam" abfließenden Wasser zu ziehen. Es erscheint weiterhin sinnvoll, für die Definition der Bezeichnung "hinreichend langsam" die Verdunstungsleistung der Pflanzen heranzuziehen. Spätestens in dem Augenblick, an dem die Verdunstungsrate ebenso groß ist wie die Abflußrate, dürfte die den Boden nach unten verlassende Wassermenge sehr rasch auf sehr kleine Beträge abnehmen. Im hier behandelten Beispiel kann mit einer täglichen Verdunstung während der Vegetationsperiode von 2 bis 2,5 mm gerechnet werden. Dieser Punkt ist (Abb. 4); ausgehend von einem nicht voll gesättigten Boden, nach knapp fünf Tagen erreicht. Betrachtet man dazu Abb. 5, die die Durchlässigkeit als Funktion der Saugspannung darstellt, so ist zu erkennen, daß dieser Flußrate in der Lehmfließerde eine Saugspannung von etwa 15 cm WS entspricht^{*)} und weiter, daß die Durchlässigkeit

*) Hierbei ist ein hydraulisches Gefälle von 1 angenommen. Die Berechtigung dieser Annahme ergibt sich indirekt aus den späteren Erörterungen.

sehr rasch abnimmt mit weiter ansteigender Saugspannung, d. h. mit Verminderung des Wassergehaltes, auf weniger als 0,01 cm/Tag.

Der der Ausflußrate 0,2 cm/Tag entsprechende Wassergehalt wäre im Sinne dieser Darlegung als Maß für die Feldkapazität des Bodens anzusehen. Nun stößt die Ermittlung der Ausflußkurve sowohl praktisch wie auch theoretisch auf Schwierigkeiten. Im vorliegenden Falle wurde sie mittels Langzylinderprobe erhalten; sehr ähnlich dem Verfahren, über das Herr Renger vor zwei Jahren berichtete.

Das nächste Bild vermittelt einen Eindruck von der Probenahme. Der Zylinder (Länge: 150 cm; Durchmesser: 28 cm) wurde mittels einer von drei Erdankern gehaltenen hydraulischen Presse in den Boden hineingedrückt. Nach der Probenahme wurde er im Labor aufgestellt und in 10 cm-Abständen beidseitig mit horizontal eingeführten Tensiometern versehen. An der Unterseite der Probe befindet sich eine Saugplatte. Die Probe wurde längere Zeit einer simulierten Niederschlagsbelastung von 7,2 mm/Tag ausgesetzt, bis sich ein Strömungsgleichgewicht einstellte, das den Ausgangspunkt der eben gezeigten Ausflußkurve darstellt. Danach wurde der "Niederschlag" gestoppt und die Ausflußkurve gemessen.

Der im Verhältnis zur Länge relativ geringe Durchmesser hat sich als systematische Fehlerquelle erwiesen dadurch, daß bei der Probenahme die lockere Lößschicht etwas gesackt ist. Dies hat sich besonders auf die oberen Horizonte ausgewirkt. Darauf wird zurückzukommen sein. Die Schwierigkeiten bei der etwas aufwendigen Probenahme und die Langwierigkeit der Messungen wird sicher eine routinemäßige Anwendung dieses Verfahrens ausschließen.

Unglücklicherweise zeigt nun ein Blick in die Literatur, daß hinsichtlich der theoretischen Behandlung des Ausflußvorganges bzw. der Neuverteilung der Bodenfeuchte nach Aufhören der Wasserzufuhr beträchtliche Unsicherheiten bestehen (CHILDS, 1969).

Es gibt einige Näherungslösungen (z. B. YOUNGS, 1958 und 1964, STAPLE, 1966), die jedoch zu divergierenden Ergebnissen geführt haben und außerdem nur eine mäßige Übereinstimmung zwischen errechneten und gemessenen Werten ergeben haben.

Sieht man davon einmal ab, so scheint es auch eine diskussionswerte Frage zu sein, ob der Ausflußvorgang wirklich die beste Handhabe liefert, die Feldkapazität zu begrenzen. Die Erfahrung mancher Diskussion läßt sich auch so wiedergeben, daß man unter unseren humiden Klimabedingungen den Effekt einer gewissen Niederschlagsbelastung mit einbeziehen sollte. Akzeptiert man diesen Gedanken, so bietet sich die Alternative an, statt des instationären Ausflußvorganges ein stationäres Strömungsgleichgewicht bei entsprechend niedrigen Flußraten für die Kennzeichnung der Feldkapazität zu verwenden. Der weitere Vorteil, daß für die Ermittlung dieses Zustandes der praktische Aufwand geringer und die theoretische Analyse relativ einfach ist, kann nur willkommen sein; sollte selbstverständlich aber nicht den Ausschlag geben. Praktische Voraussetzung für die Durchführung der Analyse ist die Kenntnis der Durchlässigkeit als Funktion der Saugspannung für die einzelnen Schichten bzw. Horizonte. Theoretische Voraussetzung ist lediglich die Gültigkeit des Darcy-Gesetzes. Abb. 5 zeigt die erforderliche Funktion für verschiedene Tiefenstufen des Bodens (die bei der Probenahme in Mitleidenschaft gezogenen oberen Horizonte sind nicht berücksichtigt). Die Daten sind teils mit Hilfe der Doppelmembranapparat (RENGER, 1967), überwiegend jedoch mit Hilfe eines Näherungsverfahrens aus den Ergebnissen des Ausflußvorganges ermittelt worden. Die erforderlichen Daten ließen sich auch aus der p_f -Kurve unter Zuhilfenahme bestimmter Bodenparameter ableiten, worauf in der Literatur (z. B. RIJTEMA, 1965) an verschiedenen Stellen hingewiesen wird.

Die Analyse des Strömungsgleichgewichts ist aus der Literatur bekannt (CHILDS, 1969). Ausgehend vom Darcy-Gesetz:

$$(1) \quad q = k \frac{d\phi}{dz} \quad q = \text{Durchflußrate} \quad \frac{\text{cm}}{\text{Tag}}$$
$$k = \text{Durchl.} \quad \frac{\text{cm}}{\text{Tag}}$$
$$\frac{d\phi}{dz} = \text{hydraulisches Potentialgefälle in vertikaler Richtung (z!)}$$

Etwas umgestellt lautet Gleichung (1):

$$(2) \quad \frac{q}{k} = \frac{d\phi}{dz}$$

Nun ist das hydraulische Potential ϕ gleich dem Matrixpotential Ψ plus dem Gravitationspotential, das hier mit z bezeichnet wird, um die vertikale Richtung des Gradienten anzudeuten.

$$(3) \quad \phi = \Psi + z$$

Differentiation nach z ergibt:

$$(4) \quad \frac{d\phi}{dz} = \frac{d\Psi}{dz} + 1$$

Substituiert man Gleichung (4) in Gleichung (2), ergibt sich bei gleichzeitiger Umstellung:

$$(5) \quad \frac{q}{k} - 1 = \frac{d\Psi}{dz}$$

Nach Trennung der Variablen und Integration:

$$(6) \quad z = \int_{\psi_0}^{\psi} \frac{d\Psi}{\frac{q}{k} - 1} \quad \text{cm} \quad (z = 0 \text{ für } \Psi = \psi_0)$$

z , d. h. die vertikale Höhe ist damit als Funktion der Saugspannung dargestellt.

Der Integrand

$$\frac{1}{\frac{q}{k} - 1}$$

ist ebenfalls eine Funktion der Saugspannung, da k eine Funktion dieser Größe ist.

Nimmt man eine meßvolle Idealisierung dieser letztgenannten Abhängigkeit vor, die in Abb. 5 dargestellt ist, indem man eine Gerade durch die Punkte der Schicht 5 legt, so ergibt sich

$$(7) \quad k = 16 e^{-\frac{\psi}{13} \frac{\text{cm}}{\text{Tag}}} \quad (-5) > \psi > (-70) \text{ für Löss}$$

Substituiert man k in Gleichung (6), so läßt sich das Integral auflösen und ergibt:

$$(8) \quad z = -\psi + 13 \log \left| \frac{q}{16} e^{-\frac{\psi}{13}} - 1 \right| \left| \frac{\psi}{\psi_0} \right|$$

Der vorliegende Boden wird jetzt der Einfachheit halber als aus zwei homogenen Schichten bestehend betrachtet, von dem die obere durch die Kurve 5 und die untere durch die Kurve 7 in Abb. 5 repräsentiert wird. Bestimmend für den Wert ψ_0 ist diejenige Saugspannung der unteren Schicht, bei der q einen bestimmten Wert annimmt, im Beispiel $q = 0,2 \text{ cm/Tag}$. Die zugehörige Saugspannung kann aus der soeben gezeigten Darstellung abgegriffen werden. Im Beispiel beträgt sie 16 cm WS . Die gleiche Saugspannung muß notwendigerweise an der Unterseite der oberen Schicht herrschen, d. h. dieser Wert wird als ψ_0 in die Rechnung eingesetzt. Rechnet man nun z für verschiedene ψ und für Flußraten von $0,2$ und $0,1 \text{ cm/Tag}$ aus, so ergibt sich der in Abb. 7 dargestellte Zusammenhang. Man erkennt den mit Zunahme des Wassergehaltes in der Lössschicht sich abflachenden Gradienten $\frac{d\psi}{dz}$, der im Basisbereich sehr nahe an den des

stationäre Gleichgewicht *) kennzeichnenden Gradienten $\frac{d\psi}{dz} = 1$ herankommt. Diese Verhältnisse erklären sich aus der etwa 50-fach so hohen Durchlässigkeit (vgl. Abb. 5) der Lösschicht gegenüber der Fließerdesschicht bei gleicher Saugspannung in dem betrachteten Saugspannungsintervall. Nach oben wird der Gradient zunehmend steiler und würde bei $z \approx 66$ (0,1 cm/Tag) bzw. $z \approx 57$ (0,2 cm/Tag) den Endwert von $\psi = -65,8$ (0,1 cm/Tag) bzw. $\psi = -56,9$ (0,2 cm/Tag) erreichen. Da im vorliegenden Fall der Löss nicht mächtig genug ist, wird er voll von der Übergangszone eingenommen. Um die Auswirkung der Idealisierung der $k:\psi$ -Relation zu zeigen, sind die Kreise und Kreuze in Abb. 7 eingetragen, die die Saugspannungsverteilung bei Verwendung der ursprünglichen $k:\psi$ -Beziehung markieren, so wie sie in Abb. 5 dargestellt ist.

Ungewöhnlich im hier behandelten Beispiel ist nun, wie Abb. 8 zeigt, daß zwischen der Kennlinie, die den Ausfluß charakterisiert (ausgezogene Linie) und derjenigen des Strömungsgleichgewichtes (Kreis- bzw. Punktmarkierung) bei gleichgroßer Rate praktisch kein Unterschied besteht. Erwartungsgemäß hätte im oberen Teil der Lösschicht die ausgezogene Linie flacher und im unteren Teil steiler verlaufen sollen als der durch die Punktmarkierungen angedeutete Kurvenverlauf, da der obere Teil beim Ausfluß an Wasser verarmen muß, während andererseits die Spende gleich groß bleiben muß, d. h. überwiegend aus im mittleren und unteren Teil befindlichen Vorräten herrühren muß. Diese Tendenz ist aus der Abb. 8 jedoch so gut wie nicht zu erkennen. Folgende Gründe mögen zur Erklärung beitragen: Entscheidend ist offensichtlich die extrem unterschiedliche Porenverteilung in den beiden Schichten (vgl. Abb. 2) verbunden mit den großen Durchlässigkeitsunterschieden bei gegebener Saugspannung. Da demzufolge das als Ausflußspende in Erscheinung tretende Wasser überwiegend aus dem Löss stammt, verändern sich die Verhältnisse im unteren Teil des Lösses gegenüber dem Strömungsgleichgewicht nicht allzu stark,

*) ohne Wasserbewegung

da je in beiden Fällen annähernd gleich große Beträge den Basisbereich durchqueren müssen. Der große Durchlässigkeitsunterschied wirkt sich zudem egalisierend auf den Verlauf der Gradienten innerhalb des unteren Teils der Lösschicht aus, da das für den Transport der allemal nur sehr geringen Wassermengen erforderliche Gefälle im Löss so gering sein kann, daß es sich in beiden Fällen von der das stationäre Gleichgewicht kennzeichnenden Linie, die je in keinem Fall unterschritten werden kann, nur wenig unterscheidet und somit im Rahmen der hier möglichen Meßgenauigkeit auch voneinander nicht unterschieden werden können. Unglücklicherweise erscheint es wenig sinnvoll, die aus den bei der Probenahme gestörten Schichten stammenden Daten in diesen Vergleich einzubeziehen, so daß die im oberen Teil der Lösschicht vermutlich stärkere Abweichung hier nicht zum Ausdruck kommt.

Außer diesen physikalischen Gründen spielt die den Messungswerten anhaftende Streuung sicher auch eine Rolle, die zur Maskierung der hier vermuteten relativ geringen Unterschiede beitragen kann.

Im Sinne der hier aufgeworfenen Frage nach adäquater Bemessung der Feldkapazität und für den hier behandelten Boden spielt diese Frage auch wohl nur eine zweitrangige Rolle. Mit anderen Worten: Ausgedrückt als Wassergehalt sind die Unterschiede unter den Bedingungen einer Ausflußrate von 0,2 oder 0,1 cm/Tag und einem Durchfluß gleicher Größe vernachlässigbar gering gegenüber dem Unterschied zur Feldkapazität bei Verwendung der üblichen 320 cm WS-Werte.

Die letzte Abbildung (Abb. 9) zeigt den Unterschied in der Feldkapazität bei Verwendung der 0,2 cm/Tag-Strömungsgleichgewichtslinie gegenüber einer Begrenzung der Feldkapazität durch die üblichen $1/3$ atm-Werte. Auf 1 m Bodentiefe bezogen und in Niederschlagsäquivalenten ausgedrückt beträgt der Unterschied 57 mm.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Anhand eines verbreiteten Bodens wird gezeigt, daß der ständige Wasservorrat in Widerspruch zur "klassischen" Definition des Begriffes Feldkapazität steht. Infolgedessen wird der Versuch unternommen, die Untergrenze der Feldkapazität als diejenige Kennlinie zu verstehen, die einer täglichen Abflußrate in Höhe der durchschnittlichen Tagesverdunstung während der Vegetationsperiode entspricht. Es wird die Frage aufgeworfen, ob eine bestimmte Abflußsituation oder ein Strömungsgleichgewicht bei entsprechend niedrigen Durchflußraten das geeignetere Maß für die Untergrenze der Feldkapazität darstellt. Mit dem Argument, daß unter humiden Klimatebedingungen eine gewisse Niederschlagsbelastung einbezogen werden sollte, wird für das Strömungsgleichgewicht plädiert. Für den vorliegenden Boden zeigte sich, daß die den Abflußvorgang kennzeichnende Kennlinie eine enge Übereinstimmung mit derjenigen zeigt, die das Strömungsgleichgewicht repräsentiert. Die Gründe für diese ungewöhnliche Übereinstimmung werden diskutiert. Unter den vorliegenden Bedingungen kann der Unterschied zwischen den Ergebnissen beider Verfahren als vernachlässigbar gering gegenüber dem Unterschied zur Feldkapazität im üblichen Sinne angesehen werden. Dieser Unterschied entspricht, bezogen auf 1 m Bodentiefe, einem Niederschlagsäquivalent von 57 mm.

Literaturverzeichnis

- CHILDS, E. C.: An introduction to the physical basis of soil water phenomena.
John Wiley & Sons Ltd., London 1969
- GARDNER, W. R.: Calculation of capillary conductivity from pressure plate outflow data.
Soil Sci.Soc.Am.Proc., 20, 317-320, 1956
- POULOVASSILIS, A.: Steady state potential and moisture profiles in layered porous media.
Soil Sci., 107, 47-52, 1969
- RENGER, M. und HENSELER, K.L.: Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im wasserungesättigten Boden mit der Doppelmembran-Druck-Apparatur.
Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Bodenkunde, 122, 1969
- RIJTEMA, P. E.: An analysis of actual evapotranspiration.
Agricultural Research Reports No. 659
Centre for Agricultural Publications and Documentations, Wageningen, Netherlands, 1965
- STAPLE, W. C.: Infiltration and redistribution of water in vertical columns of loam soil.
Soil Sci.Soc.Am.Proc., 30, 553-558, 1966
- YOUNGS, E. G.: Redistribution of moisture in porous materials after infiltration.
Soil Sci., 86, 117-125 und 202-207, 1958
- YOUNGS, E. G.: The drainage of liquids from porous materials (1964), in: CHILDS, E.C.: An introduction to the physical basis of soil water phenomena.
John Wiley & Sons Ltd., London 1969
- ZASLAVSKY, D.: Theory of unsetsaturated flow into a non-uniform soil profile.
Soil Sci. 97, 400-410, 1964



Abb. 1 : Untersuchungsboden

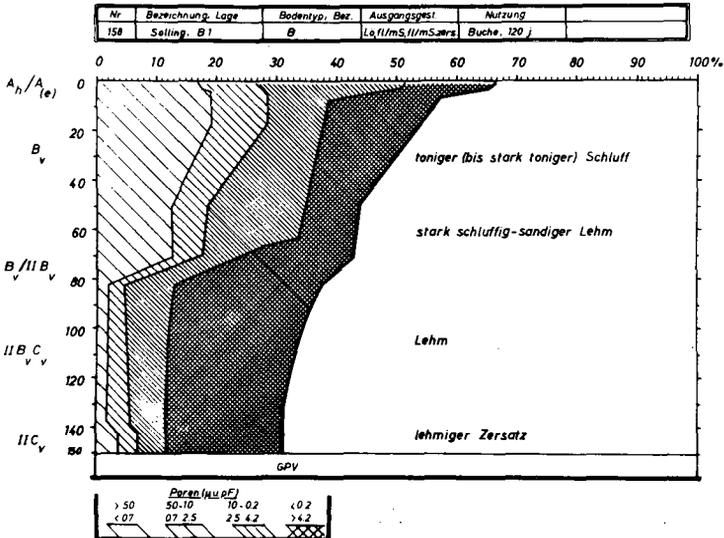


Abb. 2 : Porenverteilung des Untersuchungsbodens

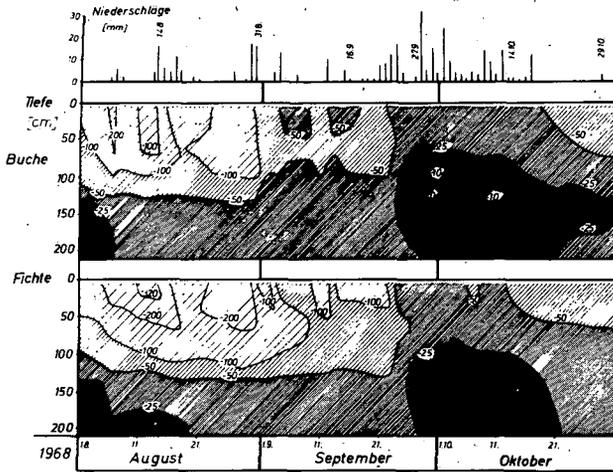


Abb. 2: Chronoisoplethen der Saugspannung des Untereuchungsbedens.
 Legende: >300 250-300 200-250 150-200 100-150 50-100 0-50 -10 to -25 -25 to -50 -50 to -100 -100 to -200 -200 to -300 > 300 (cm w.s.)

Abb. 3 : Chronoisoplethen der Saugspannung

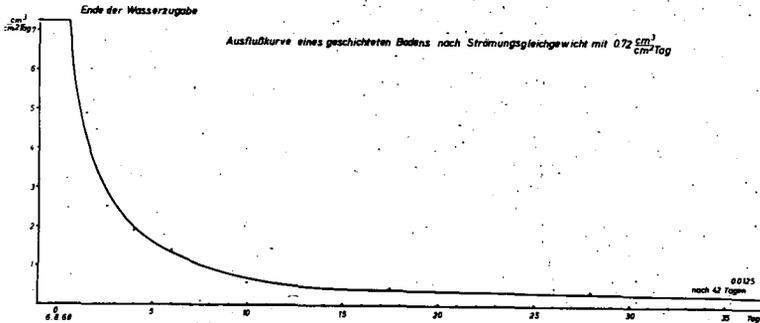


Abb. 4 : Ausflußkurve des behandelten Bodens
 ausgehend von einer Sättigung entsprechend
 einer konstanten Durchflußrate von

$$0,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \text{ Tag}}$$

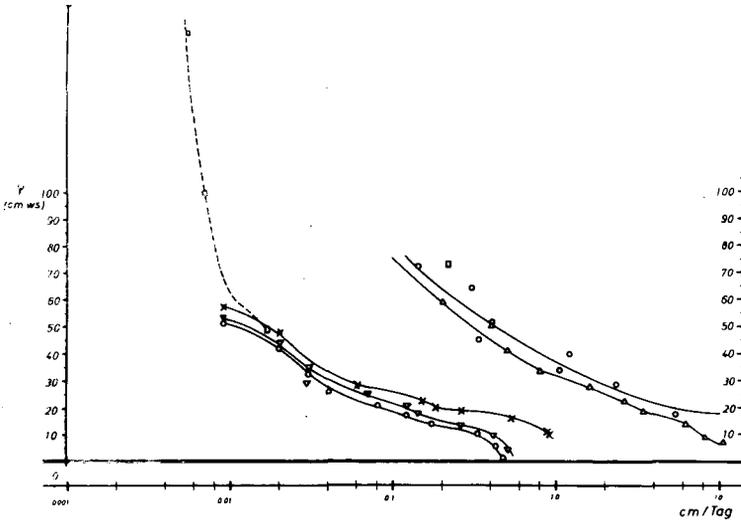


Abb. 5 : Die Durchlässigkeit k als Funktion der Saugspannung ψ in verschiedenen Tiefen des Bodens

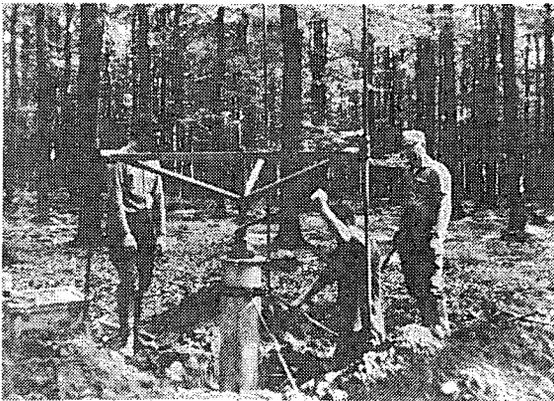


Abb. 6 : Entnahme der "Langzylinder"-Probe

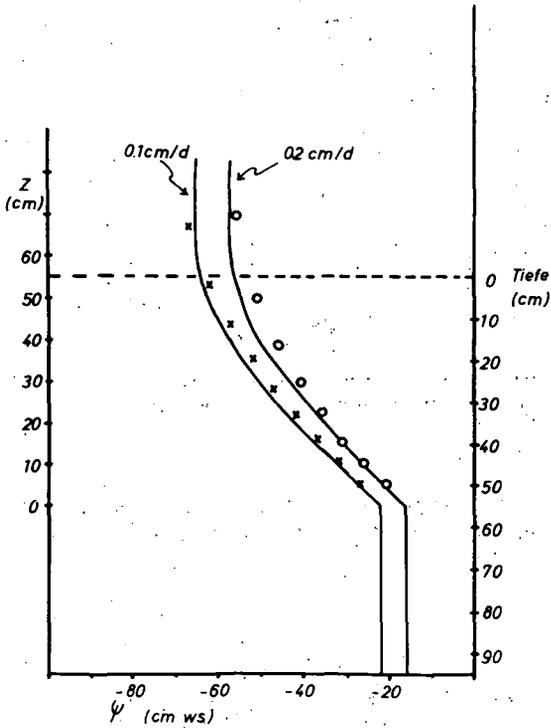


Abb. 7 : grad γ bei konstanter Durchflußrate $q = 0,1$ und $0,2$ cm/Tag, ausgezogene Linien gelten für die idealisierte $k:\gamma$ -Beziehung (Gl. 8), durch Kreise und Kreuze markierte Linienverläufe gelten für reale $k:\gamma$ -Beziehung (Abb. 5)

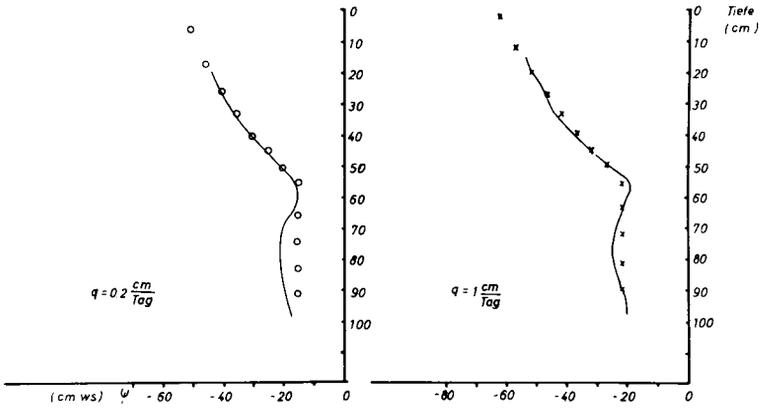


Abb. 8 : grad ψ bei konstantem Durchfluß (Kreise bzw. Kreuze) und im Augenblick gleichhohem Ausfluß (ausgezogene Linien)

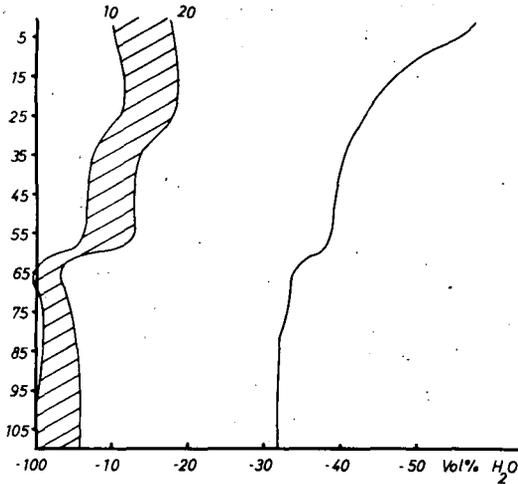


Abb. 9 : Vergleich der Werte für die Feldkapazität des Untersuchungsbodens. Die Erhöhung gegenüber dem 320 cm WS-Wert bei Verwendung der eine konstante

Durchflußrate von $q = 0,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^2 \text{ Tag}}$

repräsentierenden Wassergehaltslinie beträgt
57 l Wasser je m³ Boden

Veränderungen von Porositätsverhältnissen und
pflanzlicher Wasserentnahme im Profil von zwei
Parabraunerden aus Löß nach dem Tiefpflügen

von W. Czeratzki und F. Schulze *)

I. Allgemeines

Durch das Tiefpflügen von Parabraunerden werden zwei Wirkungen beabsichtigt:

1. soll der Abfluß des schwach gespannten Bodenwassers bis pf 1,8 durch eine Vergrößerung des entsprechenden Porenanteils im entwässerungsbeeinflußbaren Profil gefördert werden
2. soll durch Umlagerung und Einmischung von tonreichem Bt-Material eine dauerhafte Verbesserung der Gefügestabilität in der neuen Krume erzielt werden.

Die dritte Wirkung, die mit diesen beiden mehr oder weniger parallel läuft, ergibt sich aus den bodenphysikalischen Veränderungen, die in direkter Beziehung zum Wurzelraum stehen und daher als Wirkung auf die "Wurzelraumkapazität" des Bodens bezeichnet werden können.

*) Institut für Bodenbearbeitung, Braunschweig-Völkenrode

In vereinfachter Betrachtung kann man diese Wurzelraumkapazität quantitativ als das Produkt zweier Faktoren auffassen. Diese sind:

1. die Menge an wachstumswirksamen Substanzen in der für das Pflanzenwachstum erforderlichen Mischung und Konzentration bezogen auf die Einheit der Bodenschicht
2. die zur Gesamttiefe summierten Bodenschichten, die für die Pflanzenwurzeln zugänglich sind und von diesen auch in Anspruch genommen werden.

Das Tiefpflügen - auch wenn es mit einer Meliorationsdüngung verbunden sein sollte - wirkt im wesentlichen auf den zweiten Faktor der Wurzelraumkapazität ein, in dem die Zugänglichkeit der Unterbodenschichten für die Pflanzenwurzeln verbessert wird.

Für die Wurzelzugänglichkeit des Unterbodens ist das Porenvolumen eine entscheidende bodenphysikalische Größe, weil es neben der direkten Wirkung auf den mechanischen Wachstumswiderstand auch die Leitfähigkeit des Bodens für Luft, Wasser und Wärme beeinflusst, die für das Wurzelwachstum ebenfalls von Bedeutung sind.

Kapazität und Zugänglichkeit des Bodens sind im Sinne eines Leistungsvermögens aufzufassen, das im Bedarfsfall nicht immer von der Pflanze ausgeschöpft zu werden braucht. Der jeweils resultierende Ausschöpfungsgrad hängt daher nicht nur von der physiologischen Ökonomie des pflanzlichen Stoffwechsels ab, sondern auch von den verschiedensten äußeren Einflüssen, unter denen der Witterungsablauf von größter Bedeutung ist. Dies gilt insbesondere für die Wasserversorgung der Pflanzen. Bei diesem Vorgang stellt die Wurzelraumkapazität einen Puffer dar, dessen Wirkung vor allem in Trockenperioden in Erscheinung treten muß.

Aus diesem Grunde ist die Erfassung des Bodenwasserhaushaltes unter Pflanzenbeständen, insbesondere die Betrachtung der schichtweisen Ausschöpfung, ein Mittel, um den Einfluß des Tiefpflügens auf die Wurzelzugänglichkeit tieferer Bodenschichten darzustellen.

II. Versuchsbeschreibung

Die beiden Parabraunerden wurden von der Landwirtschaftskammer Hannover 1966 tiefgepflügt. Beim Versuch in Halchter handelt es sich um eine Parabraunerde, deren Bt gleichzeitig auch ein Verdichtungshorizont ist. Beim Versuch in SZ-Ohlendorf ist dagegen keine Verdichtung des Bt vorhanden. Die Pflugtiefe betrug in Halchter 70 cm, in SZ-Ohlendorf 100 cm. (Ausführliche Versuchsbeschreibung s. LANDBAUFORSCHUNG 18 (1968) S. 1-8.)

III. Ergebnisse

a) Porositätsuntersuchungen

Die Messungen wurden auf beiden Versuchen im Herbst 1966 begonnen und dann einmal jährlich im Frühjahr durchgeführt. Neben dem Gesamtporenvolumen wurden die Saugspannungskurven mit Schwerpunkt im Bereich bis 500 cm Ws aufgenommen. Bei der Darstellung der Gesamtporenvolumen-Ergebnisse wird der bei 0,1 at entwässerbare Porenanteil angegeben, da dieser für den Entwässerungs- und Durchlüftungsvorgang im Bereich der Feldkapazität verantwortlich ist. Er wird als Luftgehalt bezeichnet. Infolge des gleichen Profilaufbaues und der ungefähr gleichen Pflugtiefe konnten die Messungen des Porenvolumens in denselben Bodenschichten vorgenommen werden: 0 - 15 cm = Krume. 25 - 30 cm = Sohle der Pflugfurche. 45 - 50 cm = A1. 65 - 70 cm = Bt.

Tabelle 1

Tiefpflugversuch der LK Hannover Sz.-Ohlendorf

Porenvolumen, Wasser-, Luftgehalte 1966-69

Tiefe Datum	Por.vol.		Wassergeh.		0,1 at Gew. %		Luftgeh.	
	N	T	N	T	N	T	N	T
<u>25-30 cm</u>								
23.11.66	42,9	44,4	33,8	34,7	22,4	23,6	9,1	9,7
22. 3.67	44,1	45,1	34,1	33,9	23,1	23,3	10,0	11,2
2. 4.68	42,2	44,1	33,9	35,0	22,2	23,6	8,2	9,0
5. 9.69	42,0	42,0	34,1	34,0	22,2	22,2	7,9	8,0
<u>45-50 cm</u>								
	47,2	47,1	33,0	33,5	23,6	23,9	14,2	13,6
	48,1	48,9	31,8	32,4	23,1	24,0	16,2	16,5
	47,1	46,4	32,2	33,1	23,0	23,3	15,0	13,3
	46,0	45,7	33,1	33,4	23,1	23,2	12,9	12,3
<u>65-70 cm</u>								
	44,6	47,3	34,5	33,1	23,5	23,7	10,1	14,2
	45,8	49,2	32,9	32,2	22,9	23,9	12,9	17,0
	43,0	47,2	35,4	33,0	23,4	23,6	7,6	14,2
	42,5	46,5	34,8	33,4	22,9	23,5	7,7	13,2

Die Ergebnisse der Messungen auf dem Versuch SZ-Ohlendorf sind für 1966-69 in Tab. 1 zusammengestellt. Sie lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

1. Ein Vergleich des Gesamtporenvolumens zwischen der Schicht 25-30 cm und den beiden tieferen Schichten weist eine Schleppersohle mit einer Verdichtung von ca. 5 Vol.% aus. Die Werte auf der Tiefpflugfläche zeigen, daß bis 1969, also im Verlaufe von drei Jahren, die Neubildung einer Schleppersohle stattgefunden hat, die dieselben absoluten Werte für Gesamtporenvolumen und Luftgehalt bei 0,1 at hat wie die Normalparzellen. Die Luftgehalte spiegeln die Verdichtung in der Schleppersohle mit Unterschieden von ca. 7 Vol.% noch wesentlich deutlicher wider als das Gesamtporenvolumen.

2. Der A1- und der Bt-Horizont weisen keine Bodenverdichtung auf. Das Gesamtporenvolumen ist mit ca. 47 Vol.-% verhältnismäßig hoch, ebenso wie die Luftgehalte, die auf normal gepflügt bis 16 Vol.-% gehen. Das Tiefpflügen hat im A1 (45-50 cm) keine Verbesserung vom Gesamtporenvolumen und Luftgehalt gebracht. Im Bt (65-70 cm) sind beide Werte dagegen um ca. 3-4 Vol.-% angestiegen.

3. Auf der Tiefpflugfläche ist von 1966 bis 1969 eine Tendenz zur Abnahme des Gesamtporenvolumens, d. h. zur Wiederverdichtung, vorhanden. Diese Tendenz ist allerdings auch bei der Normalparzelle zu beobachten, ohne daß eine Erklärung für diesen Vorgang möglich ist. Weitere Messungen soll zur Klärung durchgeführt werden.

Tabelle 2

Tiefpflugversuch der LK Hannover Malchter

Porenvolumen, Wasser-, Luftgehalte 1966-67

Tiefe Dat.	Por.vol. Vol.-%		Wassergeh. Vol.-%		o.1 at Gew.-%		Luftgeh. Vol.-%	
	N	T	N	T	N	T	N	T
<u>25-30 cm</u>								
23.11.66	43,6	45,7	35,1	36,4	23,5	25,3	8,6	9,3
22. 3.67	44,9	46,8	33,2	32,7	22,8	23,2	11,6	14,1
2. 4.68	45,4	44,6	32,7	34,6	22,6	23,6	12,7	10,0
28. 5.69	46,4	47,1	32,7	31,6	23,0	22,5	13,8	15,5
<u>45-50 cm</u>								
	40,4	46,0	35,3	34,5	22,4	24,2	5,1	11,5
	42,3	46,9	34,9	32,7	22,9	23,2	7,3	14,2
	41,1	48,3	34,1	32,5	21,9	23,7	7,0	15,8
	43,3	46,8	34,2	34,5	22,8	24,5	9,1	12,3
<u>65-70 cm</u>								
	42,4	47,6	36,5	34,0	23,9	24,5	5,9	13,5
	44,2	48,2	34,9	32,9	23,6	24,0	9,2	15,3
	41,1	46,8	35,1	33,9	22,5	24,1	6,0	12,9
	40,9	44,4	34,9	33,6	22,3	22,8	6,0	10,8

Die Porenvolumenmessungen auf dem Versuch Halchter sind in Tab. 2 enthalten. Sie lassen folgendes erkennen:

1. Eine Schleppersohle wie in SZ-Ohlendorf ist in 25-30 cm nicht vorhanden. Sowohl das Gesamtporenvolumen als auch der Luftgehalt liegen auf der Normalparzelle in einem relativ hohen Bereich. Das Tiefpflügen hat zu keiner nennenswerten Änderung beider Meßwerte geführt.
2. Sowohl der A1-(45-50 cm) als auch der Bt-Horizont (65-70 cm) zeichnen sich durch Verdichtungen mit einem relativ niedrigen Gesamtporenvolumen und Luftgehalt aus, die wesentlich unter dem günstigen Bereich für das Pflanzenwachstum liegen (1). Das Tiefpflügen hat in beiden Tiefen zu einer wesentlichen Erhöhung der Meßwerte geführt, die sich besonders stark beim Luftgehalt bemerkbar macht. Dies bestätigt frühere Untersuchungen (2), wonach bei Lehmböden bei einer Auflockerung der Anteil der Poren $> 30 \text{ my}$ stärker ansteigt als das Gesamtporenvolumen.

Beim Versuch SZ-Ohlendorf wurde, wie bereits erwähnt, die Neubildung einer Schleppersohle festgestellt. Beim Versuch in Halchter ist eine solche Neubildung nicht eingetreten. Ein Vergleich der entsprechenden Meßergebnisse für die Schicht 25-30 cm auf beiden Versuchen zeigt Abb. 1. Der Grund für die unterschiedliche Neubildung der Sohlenverdichtung ist in der unterschiedlichen Zugkraft und Fahrweise beim Pflügen auf beiden Betrieben zu suchen. Der Betrieb in Halchter verwendet eine Raupe, mit der neben der Furche gefahren wird, der Betrieb in SZ-Ohlendorf dagegen einen Radschlepper, der beim Pflügen in der Furche fährt. Die gefundene Verdichtung ist hier also eine sehr junge Schleppersohle.

b) Bodenfeuchtemessungen

Wie die klimatische Wasserbilanz für Braunschweig in Abb. 2 zeigt, war die Witterung in den drei Versuchsjahren während der Hauptwachstumszeit trockener als die langjährigen Mittelwerte. Dies gilt besonders für das Jahr 1969, das bei der klimatischen Wasserbilanz Ende Oktober noch ein Defizit von 180 mm Wasserhöhe aufwies. Damit waren zwangsweise auch die Voraussetzungen für eine Inanspruchnahme der Wasservorräte der tieferen Schichten durch die Pflanzen gegeben. Weiterhin war es günstig, daß in den beiden letzten Jahren unter Zuckerrüben gemessen werden konnte, die nicht nur als Tiefwurzler bevorzugt in den Untergrund wachsen, sondern auch eine lange Vegetationszeit haben, so daß ein besonders großer Wasserbedarf entstehen kann. So bestand die Möglichkeit, durch Bodenfeuchtemessungen festzustellen, wie weit die durch Tiefpflügen geschaffene Wurzelraumkapazität von den Pflanzen auch tatsächlich ausgenutzt wird.

Die Bodenfeuchtemessungen wurden mit 6-fachen Wiederholungen im Abstand von 14 Tagen, in Perioden mit starker Trockenheit wöchentlich, durchgeführt und in 8 Schichten zu 10 cm mit einem Bohrstock entnommen.

Der Versuch SZ-Ohlendorf trug 1967 Wintergerste, die jedoch auf der Tiefpflugfläche lückig stand und dementsprechend einen niedrigeren Wasserbedarf hatte als auf normal gepflügt. Trotzdem konnte eine Wassergehaltsdifferenz zwischen beiden Parzellen in 50-60 cm Tiefe festgestellt werden, die auf eine stärkere Wasserentnahme in dieser Tiefe auf der Tiefpflugfläche hindeutet (3).

1968 standen Zuckerrüben auf der Versuchsfläche. Der Bestand litt infolge der extrem warmen und trockenen Witterung um den 20. April unter Aufgangsschwierigkeiten, zeigte jedoch trotzdem später einen normalen, wenn auch etwas lückigen Bestand. Die Wassergehaltsmessungen wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten

ausgewertet. Abb. 3 zeigt den Feuchteverlauf in 20-30 cm und 60-70 cm Tiefe. In 20-30 cm Tiefe weisen Absolutwerte und Differenzen durchgehend einen höheren Wassergehalt auf der Tiefpflugfläche aus. In 60-70 cm dagegen sind bis etwa Mitte Juli die Wassergehalte auf beiden Flächen gleich, sinken dann jedoch auf der Tiefpflugfläche wesentlich stärker ab als auf der Normalfläche. Die größte Differenz beträgt 3 Gew.%. Ein Gesamtbild von der Wasserentnahme der Rüben vermittelt Abb. 4, in der die Wassergehaltsdifferenzen der einzelnen Schichten aufgetragen sind. Die Ganglinien der Differenzen zeigen, daß ungefähr bis zur Tiefe 40-50 cm der Wassergehalt auch in der Trockenperiode Juli/August auf normal höher liegt. Unter dieser Schicht jedoch verstärkt sich mit zunehmender Tiefe und Austrocknung die Wasserentnahme auf der Tiefpflugfläche im Vergleich zur normalen Fläche. Um die zufällige Streuung der Meßergebnisse zu verringern, wurden die Werte der oberen 5 und der unteren 3 Schichten gemittelt. Wie Abb. 5 zeigt, ergibt auch diese Auswertung, daß auf der Tiefpflugfläche in Trockenzeiten die Rüben das Wasser stärker aus dem Unterboden entnehmen als auf der Normalfläche.

1969 stand auf dem Versuch Winterweizen, der auf beiden Parzellen keine sichtbaren Mängel aufwies. Infolge der spät einsetzenden Trockenheit fiel erst die Wachstumszeit ab Blühbeginn in eine Periode erhöhter Verdunstungsbeanspruchung und Wasserentnahme. Wie aus Abb. 6 ersichtlich, bestehen hinsichtlich der Beanspruchung der Bodenwasservorräte auch beim Winterweizen dieselben Unterschiede wie bei den Zuckerrüben 1968: In 20-30 cm Tiefe sind die Wassergehalte auf normal höher als auf der Tiefpflugfläche; in 60-70 cm zeigen dagegen Absolutwerte und Differenzen das umgekehrte Verhältnis. Die Übereinstimmung des Ausschöpfungsvorganges bei Zuckerrüben und Weizen gilt jedoch nicht nur für die beiden in Abb. 6 dargestellten Schichten, sondern, wie Abb. 7 zeigt, auch für die Schicht, bei der das Vorzeichen der Wassergehaltsdifferenz zwischen Tief- und Normalpflugparzelle wechselt. Diese Schicht liegt auch beim Weizen bei 40-50 cm.

Während die Tiefpflugfläche in SZ-Ohlendorf vor allem im ersten Versuchsjahr gewisse Mängel in der Bestandesdichte aufwies, boten die Bestandesdichten auf der Tiefpflugfläche in Halchter bisher keinen Anlaß zu Beanstandungen. Dieser Versuch trug 1967 Hafer. Über die Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen dieses Jahres ist bereits berichtet worden (3). 1968 wurde Wintergerste angebaut, 1969 Zuckerrüben. Bei der Wintergerste zeigten die Meßergebnisse, daß auch schon in einer schwachen Trockenperiode, wie sie in diesem Fall von der Blüte bis zur Ernte herrschte, die Pflanzen auf der Tiefpflugfläche die Wasservorräte unter 50 cm stärker in Anspruch nehmen als auf normal gepflügt.

Diese Erscheinung zeigte sich noch deutlicher im Trockenjahr 1969 unter den Zuckerrüben, die infolge ihrer langen Wachstumszeit für Feuchteuntersuchungen unter Pflanzenbeständen besonders geeignet sind. In Abb. 8 ist der Vergleich des Bodenfeuchteverlaufs auf normal und tiefgepflügt in 20-30 cm sowie in 60-70 cm Tiefe dargestellt.

In 20-30 cm zeigt der Kurvenverlauf eine starke Ausschöpfung der Wasservorräte von Mitte Juni bis Anfang August, eine Auffüllungsperiode bis etwa September und anschließend eine erneute Ausschöpfungsperiode. Etwa ab Mitte Juli ist der Wasservorrat auf tiefgepflügt deutlich höher als auf normal. In 60-70 cm dagegen verläuft von diesem Zeitpunkt die Wassergehaltsdifferenz mit umgekehrtem Vorzeichen, d. h. daß in 60 cm Tiefe die Ausschöpfung der Wasservorräte auf der Tiefpflugfläche stärker ist als auf normal. Wie Abb. 9 zeigt, liegt die Tiefe, bei der das Vorzeichen der Wassergehaltsdifferenz wechselt, bei etwa 50 cm.

IV. Schlußfolgerungen

Die dargestellten Ergebnisse legen den Schluß nahe, daß auf den Tiefpflugflächen die Wurzelzugänglichkeit der Bodenschichten unter 50 cm verbessert worden ist. Allerdings liegt in diesem Schluß eine Unsicherheit, die in der Meßgröße Wassergehalt in Gew.% begründet ist. Diese Meßgröße erfaßt die Wassermenge, jedoch nicht das entscheidende pflanzenphysiologische Kriterium, nämlich die Verfügbarkeit des Bodenwassers. Die beobachtete Erscheinung könnte bei der stattgefundenen starken Umschichtung des Bodenmaterials auch darauf zurückgeführt werden, daß in diesen Schichten eine geringere Wassermenge gespeichert werden kann, die sich bei gleichem Wasserverbrauch schneller erschöpft.

Zur Klärung dieser Frage ist es daher notwendig, die Wassergehalte in Gew.% in eine Meßzahl für pflanzenverfügbares Wasser umzurechnen. Hierfür können folgende Methoden angewendet werden:

1. Umrechnung in % der nutzbaren Kapazität, die sich aus Feldkapazität minus Welkepunkt ergibt
2. Umwandlung in Saugspannungswerte anhand von Saugspannungskurven.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden beide Methoden verwendet, wobei die Umrechnung mit Hilfe der EDV durchgeführt worden ist. Über das Ergebnis dieser Auswertung soll besonders berichtet werden. Allerdings kann schon jetzt festgestellt werden, daß die Auswertung die grundsätzliche Aussage über die stärkere Wasserausschöpfung in den tieferen Bodenschichten auf den Tiefpflugflächen nicht wesentlich verändern wird.

Eine weitere Unsicherheit der Ergebnisse ist meßtechnischer Art. Sie wirkt sich auch auf die Auswertung der Pflanzenverfügbarkeit aus. Wie eine Untersuchung der Variationskoeffizienten ($s\%$) zeigt, steigt der Meßfehler mit abnehmender Bodenfeuchte z. T.

sehr stark an. Wie aus Tab. 3 ersichtlich, gilt dies besonders für die Unterbodenschichten, in denen der Regressionskoeffizient b Werte von 1,5 annimmt. Neben der Erhöhung der Unzuverlässigkeit der Meßergebnisse deutet dieser Anstieg auf eine nesterweise Wasserentnahme hin. Diese ist ihrerseits auf eine nesterweise Wurzelverteilung zurückzuführen, die auch durch das Tiefpflügen nicht vermieden werden konnte. Für die Wurzelzugänglichkeit ergibt sich hieraus, daß das Optimum dieser Bodeneigenschaft auch durch das Tiefpflügen nicht erreicht worden ist.

Tab. 3:

Wassergehalt i. Gew.% x zu Var.-koef. $s\%$ y auf den Tiefpflugversuch der LK Hannover; SZ-Ohlendorf 1968 und Halchter 1969

cm:	0-30		30-50		50-80	
	r	b	r	b	r	b
H. N	-,38	-,29	-,71	-1,14	-,62	-1,07
" T	-,50	-,52	-,89	-1,21	-,70	-,96
O. N	-,66	-,62	-,69	-1,53	-,69	-1,16
" T	-,59	-,62	-,74	-1,01	-,90	-1,55

SCHRIFTTUM

- 1) Czeratzki, W.: Die Charakterisierung von bearbeitungsbeeinflussten Bodeneigenschaften in Beziehung zum Pflanzenwachstum. Landbauforsch.Völkenrode 16 (1966), S.37-44
- 2) Czeratzki, W.: Bodenphysikalische Ergebnisse aus Versuchen mit Zweischichtpflügen. Ber. 28 Inst.f.Acker- u.Pflanzenbau Müncheberg 1959
- 3) Czeratzki, W.: Einige Ergebnisse bodenphysikalischer Messungen an zwei Tiefpflugversuchen auf Parebraunerden im Braunschweiger Gebiet. Landbauforsch.Völkenrode 18 (1968), 1-8

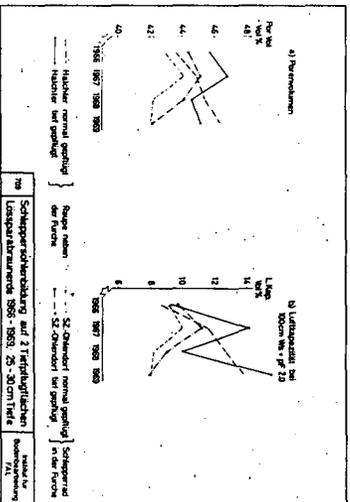


Abb. 1

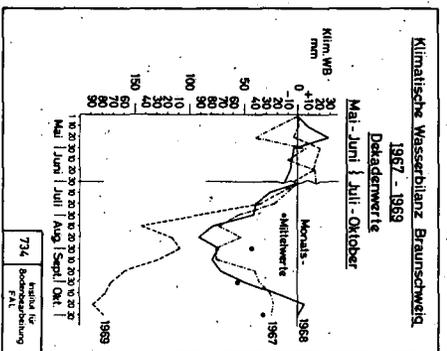


Abb. 2

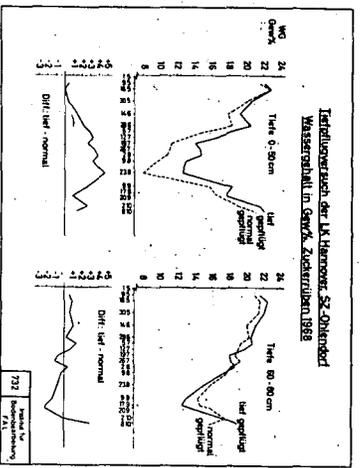


Abb. 3

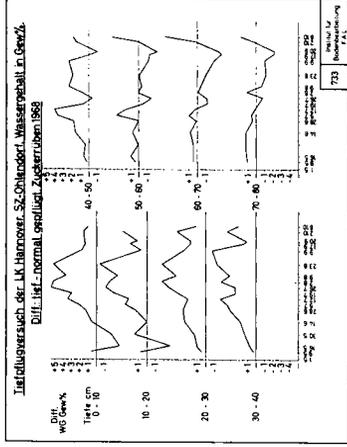


Abb. 4

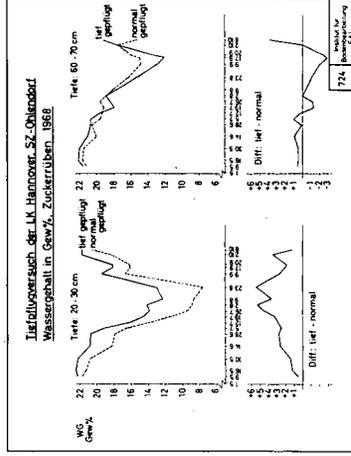


Abb. 5

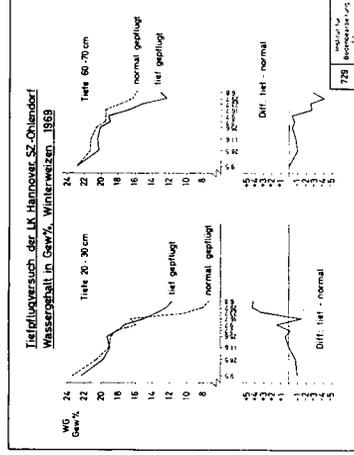


Abb. 6

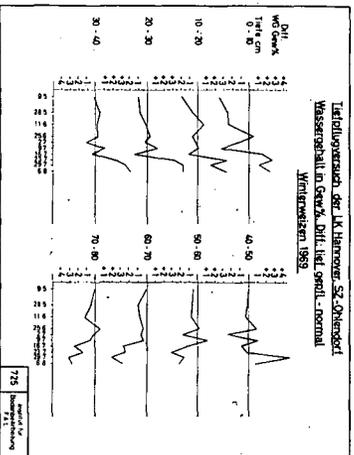


Abb. 7

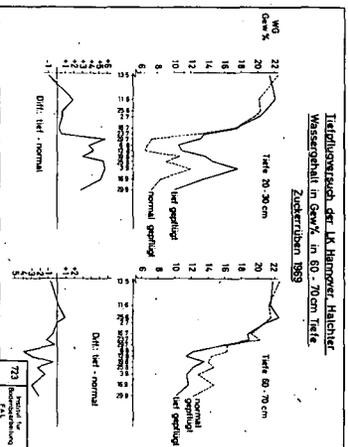


Abb. 8

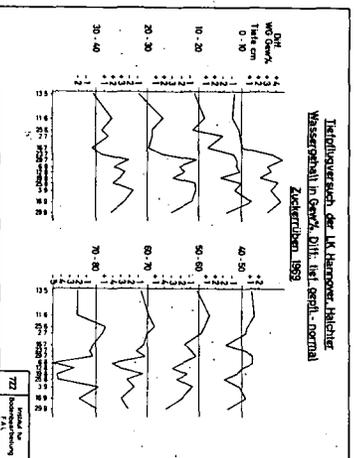


Abb. 9

"Die Veränderung der physikalischen Verhältnisse durch tiefe
Bodenlockerung und der Einfluß bestimmter Faktoren auf die
Wirksamkeit der Maßnahme"

von H. Schulte-Karring *)

Die Veränderung der physikalischen Verhältnisse, die durch die Tiefenlockerung hervorgerufen wird, beginnt mit einem gewalttätigen Aufbruch der verdichteten und in einem Verband zusammenlagernden Bodenaggregate. (Primärauflockerung, Abb. 1) Durch Feuchtigkeitseinwirkung erfährt der aufgebrochene Boden eine weitere Auflockerung, die zum Zerfall der noch erhalten gebliebenen Bodenaggregate führt (Sekundärauflockerung, Abb. 2) **)

Der durch die mechanische Auflockerung eingeleitete Strukturwandel kann den Luft- und den Wasserhaushalt der verdichteten Böden beträchtlich verändern. (Diagramm 1)

Der Wirkungsgrad der Tiefenlockerung ist sehr unterschiedlich. Er hängt in erster Linie von der Intensität der Auflockerung ab. Entscheidend sind:

- a) der Feuchtigkeitszustand des Bodens und
- b) die Leistungsfähigkeit des Gerätes .

*) Landes- Lehr- u. Versuchsanstalt, 5483 Bad Neuenahr-Ahrweiler

**) siehe auch "Mitteilungen der DBG, Bd. 4., S. 237-252

Zu a)

Der gewünschte intensive Aufbruch des verdichteten Bodens ist nur bei einem günstigen Feuchtigkeitszustand zu erreichen, d. h. wenn der Unterboden so trocken ist, daß er sich beim Anheben durch das Lockerungsschar nicht mehr zusammenpressen läßt.

Röhrenbildungen sind ein sicheres Zeichen für eine schlechte Primärauflockerung. (Abb. 3, 4, 5)

Zu b)

Neben den bodenkundlichen Bedingungen ist die Leistungsfähigkeit des Gerätes für den Erfolg der Maßnahme von entscheidender Bedeutung.

Die Möglichkeit einer mindestens 75 cm tiefen und intensiven Auflockerung eines allgemeindichten Bodens muß von der Technik des Gerätes her gegeben sein. Unter intensiv ist nicht nur das Anheben sondern auch die Verlagerung der Bodenaggregate gemeint. Die zapfwellenangetriebenen Lockerungsgeräte mit ihren beweglichen Lockerungsscharen entsprechen dieser Forderung weit mehr als die starren Geräte. (Darst. 1)

Auch die Arbeitsbreite ist für den Umfang der Auflockerung entscheidend. Der Abstand der Lockerungsfurchen soll bei ca. 70 cm liegen.

Für die Dauer der Meliorationswirkung sind

- a) der Grad der unmittelbaren Stabilisierung und
- b) die Erhaltung

durch eine schonende Behandlung der neuen Struktur von ausschlaggebender Bedeutung.

Zu a)

Die wirksamste Stabilisierungsmaßnahme ist die Tiefendüngung, d. h. die gleichzeitige Einbringung und gute Verteilung von Nährstoffen. Der Stickstoff besitzt als Stabilisator die größte Wirkung. Der unmittelbare Anbau wurzelaktiver Pflanzen (Gründüngung, Zwischenfrüchte) erhöht den Stabilisierungseffekt beträchtlich.

Zu b)

Die neugeschaffene und stabilisierte Struktur bleibt nur dann erhalten, wenn sie durch eine entsprechende Bodenbearbeitung geschont wird. Bei allen im Ackerbau durchgeführten Tiefenlockerungen ist die Struktur im oberen Unterboden sehr bald wieder zerstört worden; im unteren Bereich der Lockerungsfurchen dagegen blieb die Auflockerung trotz vielfach starker Wasserübersättigung gut erhalten.

(Darstellung 2, Diagramm 2, Tabelle 1)

Aus dieser Erkenntnis ergibt sich die Notwendigkeit einer strukturschonenden Bodenbearbeitung, die eine vereinfachte Bodenbearbeitung darstellt (minimal nach maximal) und die die Erhaltung der neugeschaffenen Struktur zum Ziele hat.

Die nachfolgenden Abbildungen und Diagramme sind veröffentlicht in der Broschüre: "Die meliorative Bodenbewirtschaftung - Anleitung zur fachgerechten und nachhaltigen Verbesserung der Staunässeböden".

Druck Mai 1970

170 Seiten, 190 Abbildungen, 44 Darstellungen

Selbstverlag

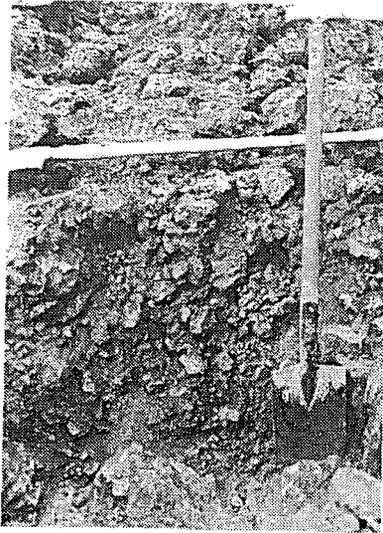


Abb. 1

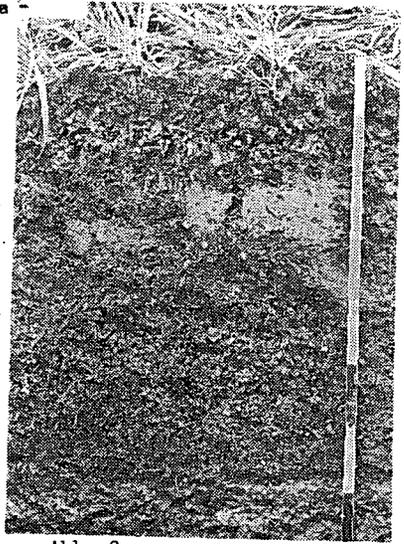


Abb. 2

Pelosole - Gipskeuper

nach der

Primärauflockerung

nach der

Sekundärauflockerung

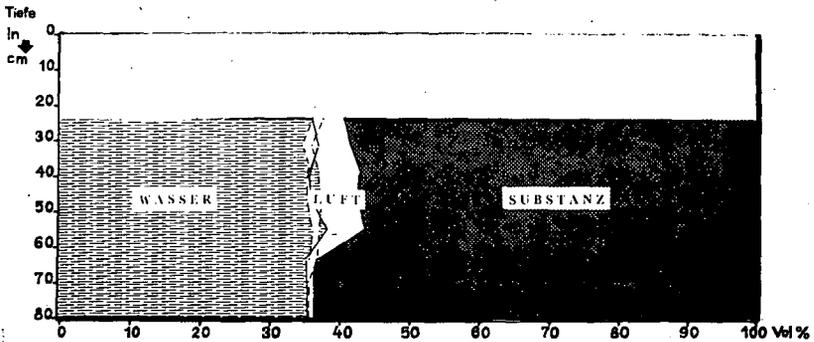


Diagramm 1:

Das typische Volumen eines gelockerten Grünlandbodens (Graulehm-Pseudogley) hier: 7 Jahre nach der Meliorationsmaßnahme.



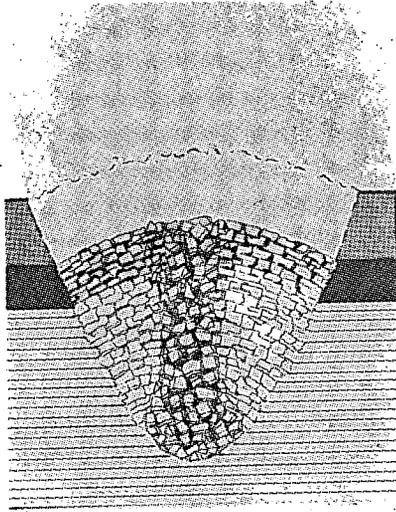
Abb. 3,4,5

Unterschiedliche Auflockerung bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt
(dasselbe Gerät! der gleiche Boden!)

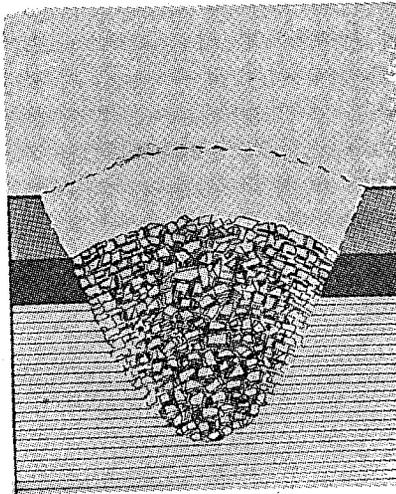
oben: unter Getreidestoppeln, Boden zu feucht, Röhrenbildung

Mitte: das Bild zeigt die nebeneinanderliegenden Lockerrungsfurchen

unten: unter Klee, Boden trocken.

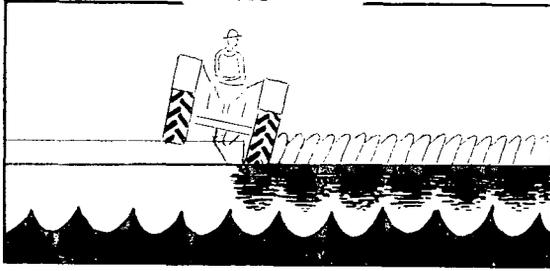


b



Darstellung 1a und b

Der Lockerungseffekt (Verlagerung der Bodenaggregate) unter gleichen Bedingungen bei einem Lockerungsgerät mit starrem (oben) und beweglichem Lockerungswerkzeug (unten).



Darstellung 2:

Das tiefe Pflügen ruft eine schnelle Wiederverdichtung des aufgelockerten Unterbodens hervor.

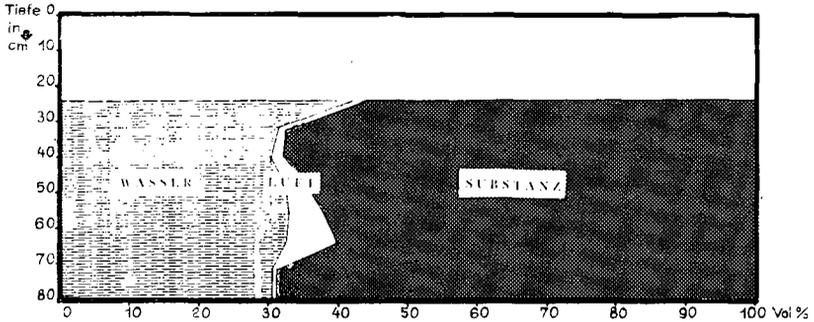


Diagramm 2:

Das typische Volumen eines gelockerten Ackerbodens (Graulehm-Pseudogley); hier: 6 Jahre nach der Meliorationsmaßnahme - Wiederverdichtung im oberen Unterboden.

Jahr	Frucht	nicht gedränt nicht gelockert	gedränt	gedränt gelockert	gedränt gelockert tiefgedüngt
1961	Grünland	Anlage des Versuches			
1962	Grünland	Umbruch des Grünlandes			
1963	Hafer	100	102	102	118 (+)
1964	W.-Weizen	100	102 (+)	101	117 (++)
1965	W.-Gerste	100	104	114	131 (+++)
1966	W.-Roggen	100	108	120 (++)	137 (++)
1967	Z.-Rüben	100	99	103 (+)	118
1968	W.-Weizen	100	95 (+)	103	104 (++)
1969	S.-Gerste	100	94 (++)	93 (+++)	101
1970	W.-Roggen				

Tabelle 4:

Die Ertragsergebnisse eines im Jahre 1961 angelegten Untergrundlockerungs-, Tiefdüngungs- und Brünversuchs. (rel.)



Einfluß des Kalkes auf das Bodengefüge

von G. Schaffer *)

Industriell aufbereitete Kalke finden als Bodenverbesserungsmittel in zweierlei Hinsicht Verwendung. Einmal werden die verschiedenen Kalkformen in der Landwirtschaft als Dünger angewendet, zum anderen wird durch Einmischen von Kalk in den Boden und anschließendes Verdichten des Boden-Kalk-Gemisches eine tragfähige Verkehrsfläche erzielt. In beiden Fällen soll der Kalk eine Gefüge- und Festigkeitsveränderung des Bodens bewirken.

Soweit es die Anwendung des Kalkes im Wegebau betrifft, ist die positive Wirkung bezüglich der Verfestigung unumstritten und vielfach in praxi nachgewiesen. Die Kalkung von landwirtschaftlichen Nutzflächen führt zwar letzten Endes in der Regel auch zu einer Ertragssteigerung. Ob diese jedoch auf eine Gefügeverbesserung zurückzuführen ist, muß a priori bezweifelt werden, denn die in der Literatur mitgeteilten Untersuchungsergebnisse sind sehr widersprüchlich; negative Aussagen halten sich mit positiven Befunden etwa die Waage. Aber auch die Auswirkungen des Kalkes auf die Festigkeit (von Bodenformlingen) wird von den verschiedenen Versuchsanstellern sehr unterschiedlich beurteilt. Oft scheint die spezielle Problemstellung die Auswahl der Untersuchungsmethode oder die Vorbehandlung der Bodenproben zu bestimmen und damit die Ergebnisse zu präjudizieren. (Entsprechende Literaturhinweise zu diesem Fragenkomplex sind in einer Veröffentlichung des Verfassers 1 zu finden.)

Um einen Beitrag zur Klärung dieser offensichtlich sehr strittigen Frage der Gefügeverbesserung und der Festigkeitsveränderung von Böden bzw. Bodenformlingen durch Kalk leisten zu können, wurden

*) Technische Universität Braunschweig, Gaußstr. 26

sowohl Untersuchungen im Felde am Boden in situ als auch Laborversuche mit Bodenformlingen (Zylinder mit 3,3 cm Durchmesser und 4 cm Höhe) aus dem gleichen Solum angestellt.

Soweit es die Einzelergebnisse der Untersuchungen an Feldversuchen betrifft, kann auf eine Veröffentlichung des Verfassers ¹ verwiesen werden, so daß hier eine zusammenfassende Kurzdarstellung genügt.

Es wurde der Einfluß von vier Kalkformen (Brannt-, Lösch-, Hüttenkalk, Kalkmergel), angewandt in Mengen zwischen 10 und 450 dz/ha CaO, auf verschiedene Bodeneigenschaften bei sieben Feldversuchen untersucht. Folgende Meßverfahren wurden angewandt und brachten insgesamt betrachtet folgendes Ergebnis:

Gemessene
Bodeneigenschaften

Abscherwiderstand
innere Reibung
Infiltrationsrate
hydraulische Leitfähigkeit
Hydrostabilität
Schrumpfgrenze
Substanzvolumen
pF-Werte (Feldkapazität
bis Welkepunkt)
Bildsamkeit
Körnung

Gesamtbewertung aller
Meßergebnisse von
7 Feldversuchen

}
ohne signifikante
Unterschiede zum
Ergebnis der Parzelle
ohne Kalk

Die Messungen erfolgten teils zwei bis acht Jahre nach der Anlage des Feldversuches und wurden zum Teil zu vier verschiedenen Zeitpunkten wiederholt. Das Gesamtergebnis ist eindeutig negativ.

Um nunmehr auch gleichzeitig die Frage nach der Festigkeitsänderung durch Kalk bei Bodenformlingen beantworten zu können, wurde von zwei Standorten Krümenmaterial entnommen, entsprechend vorbehandelt (als Paste geknetet) und Modellversuche durchgeführt. Gemessen wurde der Wassergehalt der Fließgrenze, der Wassergehalt von Bodenformlingen bei verschiedener Saugspannung, sowie deren Zusammendrück-

drückbarkeit in Abhängigkeit von der Kalkzugabe. Weiterhin wurde noch versucht, die Zerfallsgeschwindigkeit von Bodenformlingen unter Wasser zu ermitteln.

In der folgenden Tabelle sind die Versuchsglieder der beiden Standorte, von denen das Bodenmaterial entnommen wurde, sowie der jeweilige Wassergehalt der Fließgrenze aufgeführt. Die Unterschiede liegen im Fehlerbereich.

Wassergehalt der Fließgrenze

"Magelsen"

ohne Kalk	59 % WG
160 dz/ha CaO in Form von Hüttenkalk	57 % WG
160 dz/ha CaO in Form von Kalkmergel	56 % WG

"Höckelheim"

ohne Kalk	33 % WG
200 dz/ha CaO in Form von Hüttenkalk	32 % WG
250 dz/ha CaO in Form von Branntkalk	34 % WG

In der folgenden graphischen Darstellung sind die Wassergehalte der Bodenformlinge bei verschiedener Saugspannung und die Untersuchungsergebnisse über die Zusammendrückbarkeit nach PFEFFER-KORN 2 enthalten (siehe anliegende Abbildung).

Es zeigt sich, daß der Boden von Höckelheim (erodierte Parabraun-erde mit 17 % Ton und 77 % Schluff) sich etwas anders verhält als der Boden aus Magelsen (brauner Auenboden mit 22 % Ton und 57 % Schluff). Abgesehen von den absoluten Unterschieden im Wassergehalt und in der Zusammendrückbarkeit der beiden Böden, ist ein gewisser Einfluß von Branntkalk bei dem Boden "Höckelheim" festzustellen. Die höhere Zusammendrückbarkeit der Formlinge mit Branntkalk resultiert allerdings auch aus dem höheren Wassergehalt (gegenüber den Vergleichsproben ohne Kalk bzw. mit Hüttenkalk).

Um insbesondere das letztere Ergebnis zu erhärten, bedarf es noch weiterer Untersuchungen, wobei auch eine zeitabhängige Festigkeitsveränderung mit zu berücksichtigen wäre. Weitere diesbezügliche Versuche sind geplant, über deren Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt zu berichten sein wird.

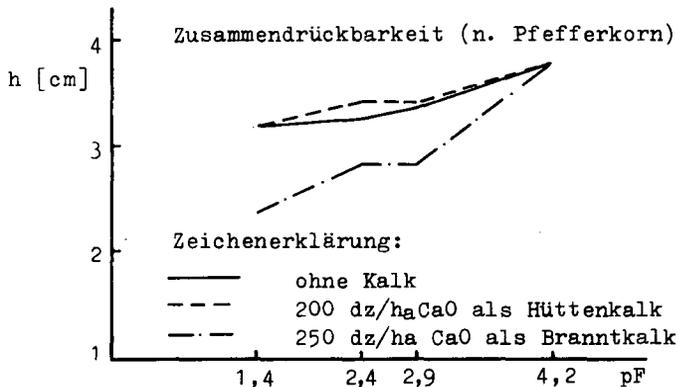
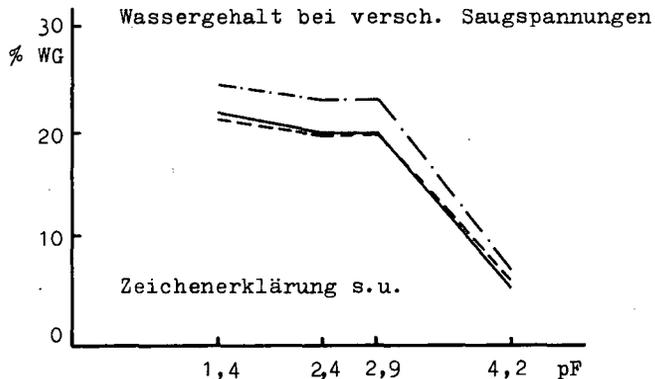
Da der Zerfall von Bodenformlingen unter Wasser von gewissem Interesse ist, wurden diesbezügliche Untersuchungen nach der Methode von SCHULTZE und MUHS 3 durchgeführt. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, daß an einem Aräometer ein Drahtkäfing hängt, der den Bodenformling aufnimmt. Der Zerfallverlauf unter Wasser kann an der auftauchenden Aräometerspindel abgelesen werden. Bei den zahlreichen Versuchen mit Bodenformlingen unterschiedlichen Wassergehalte zeigte sich keine Abhängigkeit der Zerfalleneigung vom Kalkgehalt. Hingegen war der Einfluß des Anfangswassergehaltes der Formlinge eindeutig; feuchte Proben zerfielen auch nach längerer Zeit nicht, trockene Proben zerfielen hingegen meist sofort. Ein "kritischer" Wassergehalt, bei dem ein langsamer Zerfall einträte und damit auch Unterschiede in Abhängigkeit von der Kalkzugabe zu ermitteln wären, war nicht festzustellen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß auf dem Acker durch Kalkung keine Gefügeveränderung eintrat. Eine Festigkeitsänderung bei Bodenformlingen war generell nicht nachweisbar.

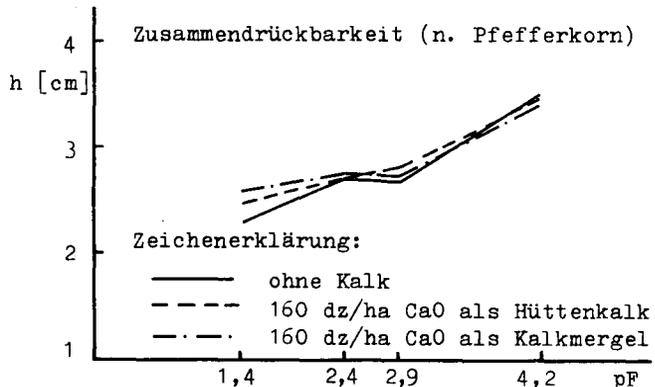
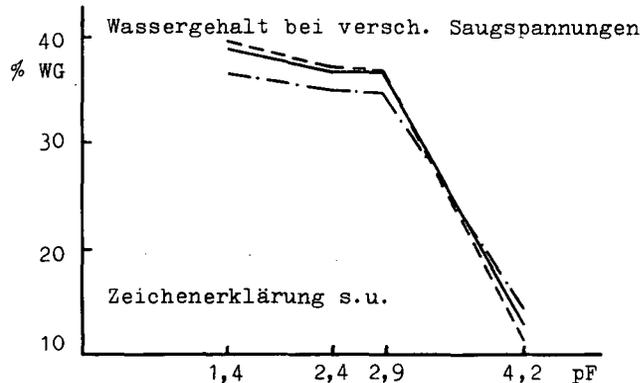
LITERATUR

- 1 Scheffer, G.: Einfluß der Kalkung auf verschiedene Bodeneigenschaften.
Z. Kulturtechnik und Flurbereinigung,
10. Jg., 1969
- 2 Pfefferkorn, C.: Zur Kenntnis der Plastizität der Tone und Kaoline.
Ziegelwelt, 73. Jg., 1942
- 3 Schultze, E. und H. Muhs: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten.
Springer Verlag, Berlin, 1950

Untersuchungsergebnisse "Höckelheim"



Untersuchungsergebnisse "Magelsen"





Über die Gefüge- und Feuchteverhältnisse rekultivierter Böden

von C. Langner *)

Berichtet wurde über Untersuchungen auf dem Spül- bzw. Auflandungsversuch in Lamersdorf im Kreise Jülich. Es handelt sich um die Beurteilung und Prüfung eines 1960 erstmalig durchgeführten Verfahrens der Lößumlagerung zum Zwecke der Rekultivierung, bei dem Wasser als Transportmittel diente. Die Auflandung des Bodens erfolgte nach verschiedener Vorbehandlung der Bodenoberfläche (Abb. 1). Ziel unserer Untersuchungen war die Erfassung möglichst zahlreicher Eigenschaften und Merkmale zur Beurteilung von Zustand und Entwicklung der Lößrohböden 8 bis 10 Jahre nach ihrer Entstehung unter Berücksichtigung der o. e. Untergrundbehandlungen. Zusammengefasst sind hier einige bodenchemische und die wesentlichen bodenphysikalischen Ergebnisse sowie die Ergebnisse von Bodenfeuchtemessungen. Die Untersuchungen wurden auf Polder I, II und III durchgeführt, und zwar im ehemaligen Oberboden sowie im darüber aufgelandeten Lößmaterial. Ferner erfolgten Vergleichsmessungen auf einer gewachsenen unveränderten Braunerde hoher Basensättigung aus Löß - nachfolgend Altland genannt.

Das aufgelandete Material der untersuchten Standorte besitzt bezüglich pH, CaCO_3 , organischer Substanz, Textur und Gefüge weitgehend einheitliche Verhältnisse. Der darunter liegende gewachsene Boden zeigt diesbezüglich deutliche Abweichungen. Hinsichtlich des Gefüges sind diese um so größer, je höher der Anteil an organischer Substanz im Untergrund ist. So liegen

*) Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz NRW
43 Essen-Bredeney, Wallneyer Str. 6

beispielsweise die Werte für das Gesamtporenvolumen im aufgelandeten Boden zwischen 43 + 48 Vol.%, im mehr und minder stark humosen Untergrund, also im ehemaligen A-Horizont, zwischen 54 + 66 Vol.%. Untersuchungen über die Gliederung der Porenräume, ermittelt bei Saugspannungen von 0,06, 0,3 und 15 Atmosphären, führten zu der Feststellung, daß gewachsene Lößböden (Altland) gegenüber aufgelandeten Lößrohböden einen geringeren Anteil an mittleren Poren (Äquivalent-Durchmesser $10 - 0,2/\mu$) und einen größeren Anteil an groben Poren (Äquivalent-Durchmesser $> 10/\mu$) besitzen. Daher vollzieht sich in den Lößrohböden bei gleichzeitig größerer nutzbarer Kapazität die vertikale Wasserbewegung (Versickerung) langsamer als in gewachsenen Böden. Das zeigten Bodenfeuchteuntersuchungen, durchgeführt von April bis Ende September 1968. Unter gleichen Pflanzenbeständen wurde auf den Flächen mit aufgelandetem Löß ein bis zu 10 Vol.% höherer Wassergehalt gemessen als auf Altland. Ursache hierfür sind neben der o.e. Porenraumgliederung auch die Untergrundverhältnisse des Bodens, die wasserstauend wirken. Letzteres wird im wesentlichen auf die noch fehlende Kontinuität zwischen den Porensystemen des gewachsenen und des darüber aufgelandeten Bodens zurückgeführt. - Die untersuchten Spülflächen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Wassergehaltes nur geringfügig voneinander. Es muß daher angenommen werden, daß die Wirkung der verschiedenen Untergrundbehandlungen auf den Bodenfeuchteverlauf unerheblich ist.

Schematische Darstellung des Auflandungsversuches Lamersdorf

Polder IV		Polder III	Polder II	Polder I
a	b			
Krume und Grasnarbe ganz besei- tigt	Oberfläche Urzustand	Oberfläche nur ein- geeignet	Grasnarbe umge- pflügt	Krume und Gras - narbe ganz beseitigt

Behandlung der Versuchsflächen vor der Auflandung

Schematische Darstellung des Auflandungsversuches Lamersdorf

Polder IV		Polder III	Polder II	Polder I
a	b			
Krume und Grasnarbe ganz beseitigt	Oberfläche Urzustand	Oberfläche nur ein- geeignet	Grasnarbe umge- pflügt	Krume und Gras- narbe ganz beseitigt

- 76b -

Behandlung der Versuchsfleichen vor der Auflandung

Neue Möglichkeiten den Boden mittels ver-
dünnter bituminöser Emulsionen zu verbessern

von M. De Boodt *)

(Für die finanzielle Unterstützung, um diese Forschung durchzuführen, sind wir dem IWONL (Institut für die Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Industrie und Landwirtschaft, Brüssel) und der Petrofina (Brüssel) zu Dank verpflichtet.)

Einleitung

Seit den frühesten Zeiten versucht der Mensch den Boden zu verbessern, um den Ertrag des Anbaues zu fördern. Seit undenklicher Zeit ist die Anwendung von Düngemitteln bekannt. Die Ägypter kennen seit vielen Jahrtausenden die Möglichkeiten der Bewässerung. Als Christopher Columbus Amerika entdeckte, wußten die Indianer bereits, daß man den Maisertrag verdoppeln konnte, indem man einen toten Fisch in die Nähe der Maiswurzeln legte. Aufgeklärtere Methoden, die oberflächliche Entwässerung durch Gräben zu bessern, oder eine wirksamere Entwässerung zu erreichen, indem sie mit grober Materie gefüllte Röhren in den Boden verlegten, kannten schon die alten Römer!

Die Naturwissenschaft beschäftigt sich dagegen erst seit Beginn des vorigen Jahrhunderts mit der Bodenverbesserung. In diesem Zusammenhang ist die Forschungsarbeit von Albrecht Thaer (1752-1828) zu erwähnen. Er war der Meinung, daß die Fruchtbarkeit des

*) Prof. Dr. Jr. M.F. De Boodt, Laboratorium für Bodenphysik, Fakultät der Landw. Wissenschaften, Reichsuniversität Gent, Coupure Links 235, Belgien

Bodens nur davon abhängt, wieviel organische Materie er enthält. Bekannt ist auch die Forschungsarbeit von Justus von Liebig (1803-1873), der als erster die Wirkung mineralischer Düngemittel untersuchte. Die Entwässerung mit Hilfe gebrannter flacher Hohlziegel wurde von James Reham im Jahre 1810 in England zum ersten Male untersucht.

Alle die, auf empirischen Schlußfolgerungen basierende Forschungsarbeit über die Bodenverbesserung mag ungefähr noch ein Jahrhundert dauern. Erst nach dem ersten und vor allem seit dem zweiten Weltkrieg wurden gründlichere Forschungen durchgeführt. In Bezug auf Ziegel drainage ist die bahnbrechende Arbeit der Holländer zu erwähnen.

Wenn man die gegenwärtigen Bodenverbesserungsmöglichkeiten betrachtet, ist es offensichtlich, daß mindestens ein Element, nämlich die Strukturierung und Stabilisierung des Bodens fehlt. Unter einer guten Bodenstruktur versteht man eine relativ stabile, räumliche Zusammenlagerung der Bodenteilchen, so daß hinsichtlich der Bodenart und des Getreides eine optimale Anzahl von luft- und wasserspeichernden Poren anwesend ist; dabei werden das Klima und die technischen Verfahrensweisen bei dem Boden beachtet.

In dieser Definition werden verschiedene Faktoren erwähnt, die sich gegenseitig beeinflussen. Der Begriff eines Bodens im optimalen Zustand läßt sich nicht so leicht definieren. Er enthält folgendes: Geeignete Befruchtung, die passende Be- oder Entwässerung, stabile Krümen und Aggregate, in welchen die inneren und Zwischenlücken so verteilt sind, daß eine gute Luft- und Wasserwirtschaft entsteht. Die letztere ist eine Funktion der Tiefe des Grundwasserspiegels, des Klimas und der gebrauchten Phyto-techniken. Der Begriff der Bodenverbesserung bedeutet, daß der Boden in einen optimalen Zustand gebracht wird, ohne Rücksicht auf die Zeit, während der er bewirtschaftet worden ist. Wenn man

nur von den chemischen Aspekten ausgeht, dann nennt man das chemische Bodenverbesserung; wenn man sich mit den physikalischen Aspekten beschäftigt, wird es physikalische Bodenverbesserung genannt. In dieser Wissenschaft sind in den letzten 20 Jahren ziemlich große Fortschritte gemacht worden.

Kurze Entwicklung:

Erwähnenswert in Bezug auf die künstliche Bodenverbesserung ist das Symposium über die "Fortschritte der Naturwissenschaft", das im Dezember 1951 in Philadelphia gehalten wurde. Dort führte eine amerikanische Firma das erste Bodenverbesserungsmittel KRILIUM, (ein Natriumsalz eines Acrylnitrilpolymers) ein. Innerhalb von zwei Jahren wurden über hundert Patente für ähnliche Produkte eingeführt. Trotz vieler Werbung hielt der Erfolg dieser Produkte nicht an. Obgleich sehr kleine Mengen solcher Bodenverbesserungsmittel benutzt werden mußten (0,1 %) betrug der Preis der pro Hektar benötigten Menge über 10.000.-- DM. Das war zu teuer.

Ungeachtet des scheinbaren Mißerfolges war der Begriff der Bodenverbesserung bekannt geworden und man suchte bessere und billigere Mittel. Die moderne Zivilisation will sogar, daß wir unser Schicksal mit beiden Händen ergreifen und die Natur dorthin führen, wo es uns am besten scheint.

Unsere moderne Gesellschaft kann es sich nicht leisten, wie es manchmal der Fall ist, zehn oder mehr Jahre abzuwarten, bis an einem bestimmten Ort der Boden sein Gleichgewicht erreicht, damit die natürliche Vegetation die Oberfläche stabilisieren kann. Es ist nicht mehr denkbar, daß wegen der Austrocknung der Bodenoberfläche die Samen nicht genug keimen, und dadurch nicht einen maximalen Ertrag hervorbringen. Auch die Entwässerungssysteme müssen verbessert werden, besonders bei sandigem Lehm oder lehmigem Sand, wo die Durchdringbarkeit des Bodens äußerst wichtig ist.

Vor etwa 20 Jahren basierten die Bodenverbesserungsmittel auf der Adhäsion von Polymeren an den Bodenkörnchen. In Bezug darauf kann man von einer Pseudoaggregatformation sprechen, deren Zentrum eine klebrige Substanz ist, an welcher verschiedene Teilchen haften. In solchen Aggregaten fehlen meistens die Lücken innerhalb der Aggregate. Die auf diese Weise erreichte Stabilität war gut, aber wegen der Verminderung der Wasseraufnahmefähigkeit in den Primäraggregaten war diese Art der Bodenverbesserung nicht immer die richtige.

Das Ziel der Bodenverbesserung, wie man sie sich heutzutage vorstellt, ist das Schaffen einer Bodenstruktur, die Lücken zwischen und innerhalb der Aggregate hat, die stabil sind. Es handelt sich hier also um zwei Aspekte: um die künstliche Herstellung der Bodenstruktur und die spätere Stabilisierung.

Die Strukturierung des Bodens:

Eine schlechte Bodenstruktur wird dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Bodenteilchen locker gepackt sind. Wegen des Einflusses von Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes und des Bodendruckes werden sie oft sehr dicht gepackt. Diese Bodenteilchen können einzelne Körnchen sein, wie bei einem sandigen Boden oder einem flockenförmigen Ton (Tondomänen), in dem eine mehr oder weniger große Anzahl von Sandkörnchen vermischt ist. Es ist wichtig darauf hinzuweisen, daß die Strukturierung aus zwei Hauptaspekten besteht:

1. Aus dem koagulierten Ton und anderer kolloidaler Bodenbestandteile.
2. Aus der Verkettung der gebildeten Domänen mit den evtl. vorhandenen Sandkörnchen.

Seit vielen Jahren befaßt sich der klassische Begriff der Bodenstrukturierung mit dem Aspekt der Bodenlockerung und läßt dabei den anderen Aspekt mehr oder weniger außer acht. In dieser Vorlesung wird insbesondere der zweite Aspekt besprochen. Bei der Strukturierung geht es hier hauptsächlich um die räumliche Zusammenlagerung der Bodenteilchen, so daß Lücken innerhalb der Aggregate sichtbar werden, wie im Diagramm 1.a. gezeigt. Dieses Modell entspricht ziemlich genau der Wirklichkeit, wie das Lichtbild Nr. 1, das mit einem bildzerlegenden Elektronenmikroskop aufgenommen wurde, zeigt.

Die räumliche Zusammenlagerung der Bodenteilchen und ihre zeitweilige Fixierung in einer solchen Gestaltung werden in der Praxis durch mechanische Behandlung des Bodens bei richtigem Feuchtigkeitsgehalt erreicht. Die Rolle des Wassermeniskus ist äußerst wichtig, wie in Diagramm 1 und 2 gezeigt wird. Diese Möglichkeit, den Boden bei angemessenem Feuchtigkeitsgehalt in gute Struktur zu bringen, kennen die Bauern seit Jahrhunderten. Sie wissen, wenn der Boden in gutem Zustand gepflügt werden soll, daß sein Feuchtigkeitsgehalt weder zu hoch noch zu niedrig sein darf. In der wissenschaftlichen Terminologie heißt es, daß der kritische Feuchtigkeitsgehalt ca. 80 - 90 % der Aufnahmefähigkeit des Feldes ist. Bei diesem Feuchtigkeitsgehalt sind die durch die Menisken veranlaßten bindenden Kräfte wichtiger als der trennende Druck, und sie überschreiten ein Maximum. Ich möchte sie auf Diagramm 3 hinweisen, welches Bodenteilchen mit Oberflächenspannung darstellt. Man muß zwischen der Wassermenge, die den Meniskus bildet, und dem Wasserhäutchen, das die Teilchen umgibt, unterscheiden.

Da zwischen diesen beiden "Sorten" von Wasser eine stetige Verbindung besteht, gibt es immer ein Gleichgewicht innerhalb der Wassermassen. Wenn zwei jeweils von einem Wasserhäutchen einer bestimmten Dicke umgebenen Bodenteilchen miteinander in Berührung gebracht werden, bildet sich ein Meniskus (aus dem Häutchen) zwischen den beiden (Diagramm 3), und Wasser von dem Häutchen wird

weggesaugt, um die Lücke unter dem Wasserhäutchen auszufüllen. (Für eine ausführliche Besprechung dieses Phänomens wird auf einen Artikel im Druck in *Pedologie* (Ghent) 20, 1970, hingewiesen.)

Dieses Phänomen ist auch wichtig, um den neuen Begriff, die sog. *Stabilisierung durch die Mizellmigration* zu verstehen. Wenn ein Wassertropfen, der eine bitum. Mizelle enthält, an irgendwelcher Stelle das Wasserhäutchen trifft, dann zieht sich die Wassermenge mit der Mizelle zusammen unter den Meniskus. Wenn einige von diesen Tropfen einen feuchten Boden treffen, häufen sich Mizellen im Berührungswinkel der Bodenteilchen an. Während sie trocknen, sinken die Mizellen noch tiefer in die Berührungspunkte zwischen zwei Bodenteilchen, und werden zum Abschluß dort eingepflanzt, wie Lichtbild 1 zeigt.

Daraus sieht man leicht, wie wichtig es ist, von Anfang an eine gute Bodenstrukturierung bei einem optimalen Feuchtigkeitsgehalt durchzuführen, um die geschaffenen räumlichen Zusammenlagerungen der Bodenteilchen zu stabilisieren.

Der optimale Feuchtigkeitsgehalt wird mit einem "Stampfvolumeter" im Labor eingestellt, siehe Fig. 4.

Wenn 200 ml Boden in ein Zylinderglas gebracht und 1000 Standartstößen ausgesetzt werden, wird der Boden sich auf ein bestimmtes Volumen senken. Dieses Gleichgewichtsvolumen ist eine Funktion des Feuchtigkeitsgehaltes, und erreicht sein Maximum bei einem genau bestimmten Feuchtigkeitsgehalt, den man den kritischen Feuchtigkeitsgehalt für Bodenstrukturformation nennt. Wenn der Boden diesen Feuchtigkeitsgehalt nicht hat, wird es nötig sein, den Boden zu bewässern, oder zu warten, bis es geregnet hat. Dieser Feuchtigkeitsgehalt braucht nicht unbedingt der für die Mizellmigration optimale Feuchtigkeitsgehalt zu sein. Er muß durch Laborversuche bestimmt werden. In der Praxis wird eigentlich der Feuchtigkeitsgehalt genommen, der den beiden Bedürfnissen der

Strukturierung und der Migration am besten entspricht. Der bei passendem Feuchtigkeitsgehalt bearbeitete und zu gutem Ackerland gewordene Boden muß jetzt stabilisiert werden.

Die Stabilisierung der Bodenstruktur:

Der obenerwähnte Feuchtigkeitsgehalt veranlaßt die Lösung von zweierlei Problemen. Erstens, das Problem der angemessenen (passenden) Strukturierung, und zweitens das der Durchdringung (Penetration) der bitum. Emulsion, die tief genug in den Boden durchdringen muß. Es ist offensichtlich, daß, je dünner das Wasserhäutchen um des Bodenteilchen ist, die Mizellmigration schwieriger wird. Der emulgierte Stoff ist sehr klebrig und wird sofort an der Wand anhaften, mit der er in Berührung kommt. Das muß verhindert werden. Die Mizellmigration muß unbeschwert stattfinden. Die Mizellen müssen durchaus beweglich sein. Das benötigt ein genügend dickes Wasserhäutchen, das eine sehr niedrige Viskosität besitzt, wenn Mizellen anwesend sind.

Durch Experimente ist es nicht schwer, eine Verbindung zwischen dem Feuchtigkeitsgehalt im Augenblick der Behandlung mit der bitum. Emulsion und der erlangten Stabilität der Bodenstruktur herzustellen.

Man muß zugeben, daß die Migration eines emulgierten Stoffes zu den Menisken ein sehr komplexes Phänomen ist, in welchem verschiedene physikochemische Faktoren einbegriffen sind. Diese Migration zu erreichen, bedingt ausführliche Forschungen im Labor über Ladungen von Doppelschicht = Oberflächen- und Zwischenoberflächen-Spannung, die sowohl die Emulsion als auch den Boden charakterisieren.

Es ist offensichtlich, daß nur gut definierte Emulsionen für diesen Zweck geeignet sind. Wenn Vorsichtsmaßregeln nicht getroffen werden, werden die Emulsionen an den Bodenteilchen irgendwo kleben und ihr Ziel verfehlen. Man braucht Ausbildung und Erfahrung, auch wenn man die richtigen Emulsionen hat, um ein gutes Ergebnis zu bekommen. Die Emulsionen, die wir in unseren Versuchen benutzten, heißen Humofina. Sie repräsentieren eine Serie von Emulsionen, die von der Petrofina-Gruppe patentiert worden sind.

Fina Deutschland, Fina Belgien, Fina Frankreich, Fina Niederlande etc. sind Zweigstellen dieser Gruppe.

Humofina bezeichnet nicht mehr nur ein einziges Produkt, sondern eine ganze Serie. Die wichtigsten sind:

- a) Hydrophobische Emulsionen, die außer einer guten Strukturierung und Stabilisierung wasserabweisende Eigenschaften, auf dem Boden begrenzt, dem Boden verleihen. Diese Emulsion ist für nasse und schwere Böden zu empfehlen.
- b) Hydrophile Emulsionen, die dem Boden wasserspeichernde Eigenschaften verleihen. Man kann gleichzeitig eine höhere Umsatzfähigkeit des Bodens erlangen. Trockene, sandige Böden können daraus großen Nutzen ziehen.
- c) Vermittelnde Zwischenemulsionen: wenn die Bodensorte, das Klima, die Tiefe des Bodenwasserspiegels in acht genommen werden, kann eine Emulsion gemacht werden, die vermittelnde Eigenschaften von a) und b) wiedergibt.

Ein gutes physikalisches Bodenverbesserungsmittel, wie wir es uns hier vorstellen, muß in sandigen Böden mindestens 4 bis 5 Jahre und in schweren Böden 3 bis 4 Jahre halten. Die Degradierungsprodukte müssen einfach sein, und es darf keine Gefahr bestehen, daß sie den Boden verunreinigen. Eine solche Behandlung des Ackerlandes soll die Behandlung mit Dünger am Anfang

einer Fruchtfolge ersetzen. Dort, wo nur eine Behandlung nötig ist, wie für die Stabilisierung von Bänken und das anschließende Säen des Grasses, scheinen die Wurzeln so gut gewachsen zu sein, daß der auf natürliche Weise gebildete organische Stoff in den Wurzeln selbst die degradierenden künstlichen Mizellen allmählich ersetzt.

Man muß auch auf die gesteigerte biologische Aktivität, die bei behandeltem Boden häufig zu beobachten ist, besonders achtgeben. Diese Aktivität verursachen die Asphalte des Bitumens und manchmal der Stoff, der diese Materie in Emulsion verwandelt ("Emulsifizier"). Sie können als die Antriebe zu zunehmender Stickstoff-Fixierung aus der Luft betrachtet werden, die dann die Aktivität der zellstoffzersetzenden Bakterien anregt. Eine Zunahme bis 15 % an Stickstoffgehalt bei behandeltem Boden, im Vergleich zu unbehandeltem Boden, 3 Monate nach Anwendung des Bitumens, ist normal. (Ein ausführlicher Vortrag wird von Prof. Voets, Vorsitzender der Mikrobiologischen Abteilung der Landwirtschaftsfakultät, Universität von Ghent, verfaßt. Er wird Ende 1970 in Pedologie (Ghent) erscheinen.)

Durchführung der Behandlung:

Ob der Ort eine Bank, ein Abhang oder eine Ebene ist, ist für das Verfahren im Grunde gleich.

Zuerst muß man den optimalen Feuchtigkeitsgehalt herausfinden, den man beachten muß, um eine gute Aggregatformation zu bekommen.

Für den Boden, der zum ersten Mal bewirtschaftet wird, ist ein Laborversuch notwendig, aber sonst reicht die Erfahrung des Bauern, um ein gutes Ergebnis zu bekommen. Um den Boden in ein gutes Ackerland zu verwandeln, kann ein Bodenbearbeitungsgerät oder eine feine Egge sehr nützlich sein.

Wenn der Boden gut bearbeitet ist, wird er mit einer 3 - 5-fach mit Wasser verdünnten Emulsion besprüht. (Die Konzentration der Emulsion hängt von der Bodenart ab.) Die optimale Emulsionsmenge, die in Gebieten mit feuchtem Klima gebraucht werden kann, ist zwischen 0,5 und 1 Liter pro m^2 , in trockenen und halbtrockenen Gegenden (manchmal auch bei hohem Salzgehalt) liegt sie zwischen 1 und 1,5 Liter Emulsion pro m^2 .

Die verdünnten Emulsionen können mit den Geräten verteilt werden, die man benutzt, um Pestizide zu verteilen. Man muß aufpassen, daß die Flüssigkeit nicht durch den Motor läuft, sondern daß sie unter Druck in einen getrennten Behälter gegeben wird. Es ist möglich, daß Düsenöffnungen von 0,8 bis 1 mm und ein Druck zwischen 1,5 und 3 Atmosphären/ m^2 genügen. Die Hauptsache ist, daß die Emulsion den Boden nicht belegt, wie bei gestrichenen Flächen, sondern daß die Mizellen frei bleiben, damit sie zu den Berührungspunkten der Bodenteilchen ziehen. Wenn die verdünnte Emulsion auf die Bodenteilchen gegeben wird und die Penetration schon angefangen hat, wird ein Bodenbearbeitungsgerät oder eine Egge gebraucht, um die Emulsion bis zu einer Tiefe von 10 cm einzuarbeiten. Um den strukturierten und manchmal recht lockeren Boden genug zu fixieren, wird eine Cambridgewalze benutzt. Nach 24 Stunden ist der vollständige Bruch der Emulsion erreicht und die Mizellen sind dann endgültig fixiert.

Bei diesem Allgemeinverfahren gibt es einige Variationen, die manchmal besonders interessant sind. Wenn man den Boden bis zu einer Tiefe von 30 cm verbessern will, wird die Behandlung in zwei Stufen ausgeführt. Zuerst wird der Boden behandelt, und die Emulsion zur Tiefe von 15 cm eingearbeitet. Dann wird der Boden bis zur Tiefe von 30 cm gepflügt, wobei darauf zu achten ist, daß er ganz gewendet wird. Dann wird der Boden zum zweiten Mal behandelt, wieder bis zur Tiefe von 15 cm, so daß die beiden Behandlungen eine Gesamttiefe von 30 cm erreichen.

Eine Anwendung die auch wichtig ist, ist die Behandlung des Bodens, der über Entwässerungsanlagen und um sie herum durchgeführt wird. Das wird gemacht, um die Permeabilität des Bodens zu steigern, und es muß geschehen, während die Entwässerung gelegt wird. Wenn der Boden naß ist, kann die Behandlung nicht sofort stattfinden, man muß warten, bis das überflüssige Wasser von den Seiten der Aushöhlung abgelaufen ist.

Die Behandlung mit einer bitum. Emulsion kann durchgeführt werden, bevor die Höhle der Entwässerungsanlage aufgefüllt wird. Ein auf diese Weise behandelter Boden, der dann über die Anlage geschüttet wird, kann mit geschickter Behandlung eine Permeabilität erreichen, die zwischen 10 und 100 mal höher ist, als bei unbehandeltem Boden.

Noch eine andere Gelegenheit, diese Bodenbehandlung anzuwenden, ist das Einpflanzen von Bäumen in einen Boden, der leicht austrocknet. Der Boden, mit dem die Pflanzenhöhle zugeschüttet wird, kann mit einer Dosis zwischen 1 und 1,5 % behandelt werden. Hauptsächlich bei trockenen Böden, wo neugepflanzte Bäume bewässert werden, können die Überlebenschancen zwischen 40 und 80 % oder mehr gesteigert werden.

Es ist also leicht zu sehen, daß die physikalische Verbesserung des Bodens mehr Geschicklichkeit fordert, als die Anwendung von chemischen Düngemitteln. Es ist auch offensichtlich, daß die Anwendungsmöglichkeiten so zahlreich sind, daß eine sehr große Anwendung dieser neuen Technik in der nächsten Zukunft zu erwarten ist.

Text für die Diagramme:

Diagramm 1 und 2:

Räumliche Zusammenlagerung von sandigen Bodenteilchen bzw. von Tondomänen mit Sand, bei der die Rolle des Meniskus deutlich wird.

Diagramm 3:

Schematische Darstellung eines Wasserhäutchens um zwei Körnchen mit Meniskus. Die Körnchen werden von dem Meniskus zueinander angesaugt, aber von den Ladungen in der Doppelschicht zurückgestoßen.

Diagramm 4:

Stampfvolumeter mit Zylinderglas, in welches 200 ml Boden gegeben werden. Die Bodenmenge bekommt 1000 Standardschläge.

Diagramm 5:

Nach 1000 Schlägen senkt sich die Erde auf ein gewisses Volumen, das eine Funktion des Feuchtigkeitsgehaltes ist. Der Feuchtigkeitsgehalt, bei welchem die niedrigste Volumendichte vorkommt, ist genauer bestimmbar bei Sand als bei schwerem Böden.

Text für das Lichtbild Nr. 1

Am Berührungspunkt der Sandkörnchen, haben sich Bitumenmizellen angehängt, und eine Verbindung zwischen Bodenteilchen gebildet. Sie sind auch der Anlaß zur Stabilität des Aggregates (500 mal vergrößert. Bild im Labor für Elektronenmikroskopie, Universität, Ghent, aufgenommen.)

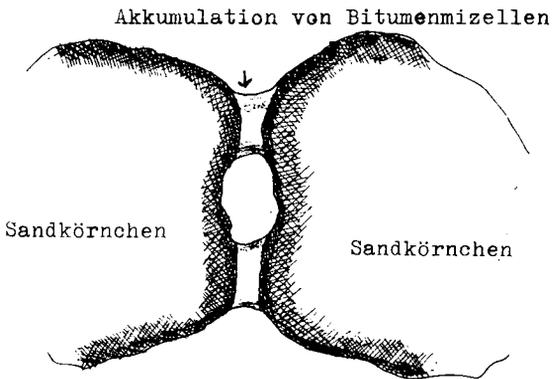


Diagramm nach Lichtbild Nr.1

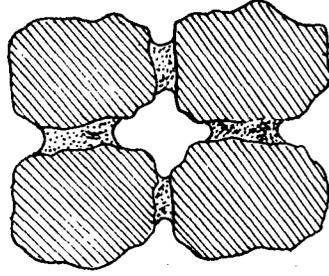


Fig. 1

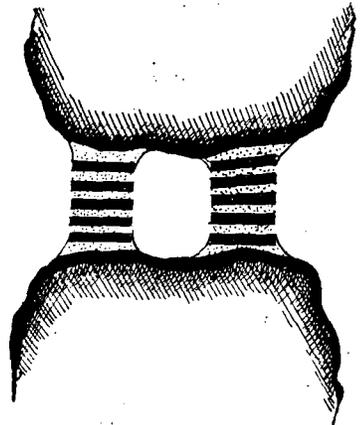


Fig. 2

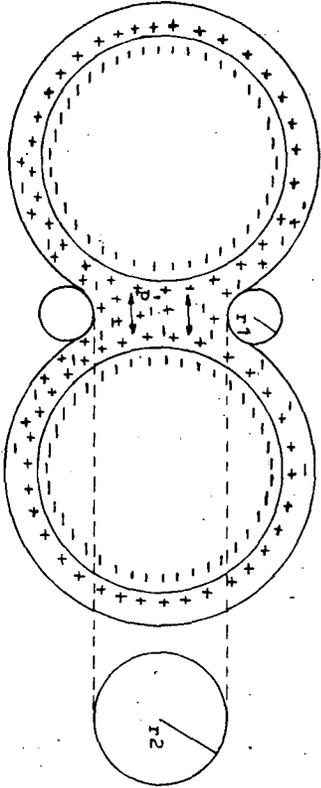


Fig. 3

Stampfvolumeter

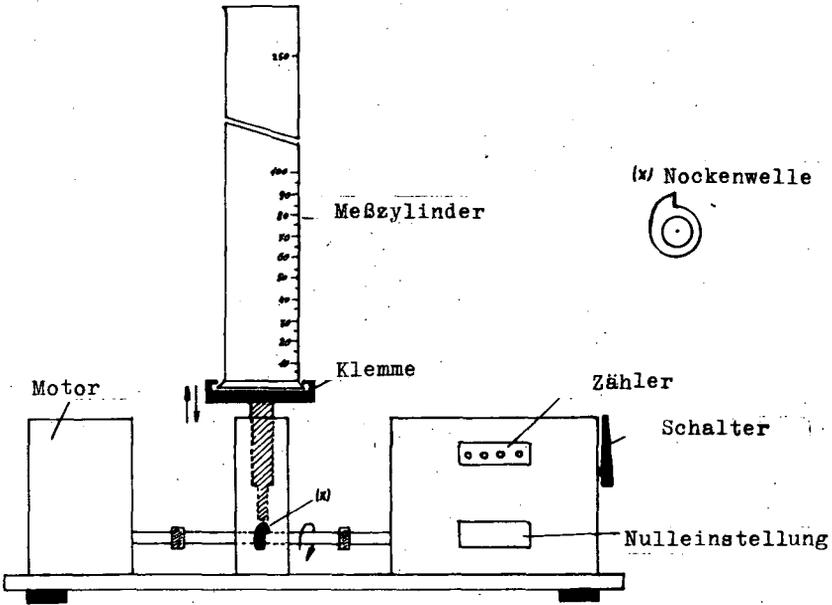


Fig. 4

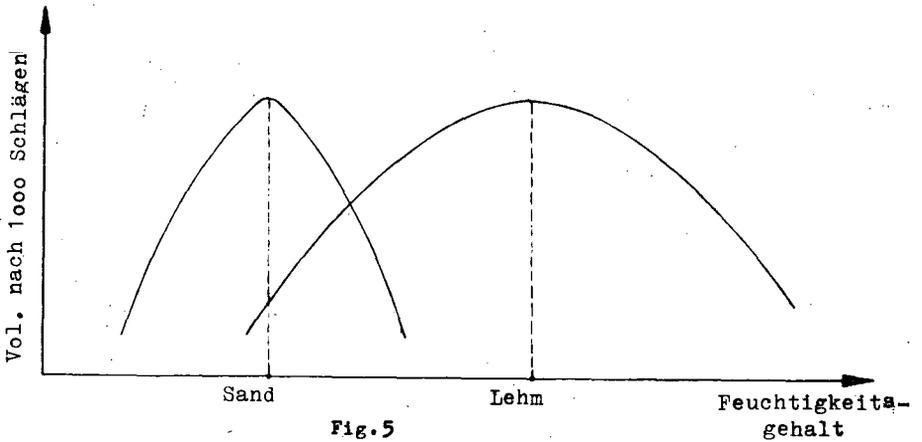


Fig. 5



Die klimatische Wasserbilanz zur Beurteilung des
Entwässerungsbedarfes bei Untergrundmeliorationen

von B. Wohlreb *)

Zur Kennzeichnung von Pseudogleyen sind schon auf den verschiedensten Substraten unter den jeweiligen spezifischen lokalen Verhältnissen Untersuchungen durchgeführt worden (ARENS, KRÄMER u. LANGNER; GORA; KERPEN; MÜCKENHAUSEN; ZAKOSEK und andere). Diese Untersuchungen waren in der Regel zeitlich auf Monate oder allenfalls wenige Jahre beschränkt. Sie ließen deshalb selten Aussagen über die Häufigkeit von Naß-, Feucht- und Trockenphasen - langfristig gesehen - am jeweiligen Standort zu.

Bei der Bearbeitung des Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanes, bei dem es bekanntlich nicht nur um Dargebot und Bedarf schöpfbaren Wassers, sondern auch um die Regulierung des Wasserhaushaltes - auf die Bedarfsträger Land- und Forstwirtschaft bezogen, also um die Regulierung des Bodenwasserhaushaltes - geht, ergab sich die Frage, wie man wohl beispielhaft die Dynamik des Bodenwasserhaushaltes der Pseudogleye aus einem bestimmten Substrat in einem begrenzten Klimagebiet zum Ausdruck bringen könne. Es handelt sich in diesem speziellen Fall um zwangsläufig als Grünland genutzte Pseudogleye aus sehr dichten Geschiebelehmen, zum Teil mit schwach-mächtiger Deckendauflage (SUNKEL u. LANGNER). Bodenaufbau, Korngrößen- und Porenraumverteilungen eines solchen Standortes zeigt Abbildung 1. Da langjährige Bodenfeuchtebestimmungen nicht vorlagen, war es naheliegend, anhand der aus meteorologischen Daten errechneten klimatischen

*) Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz,
Essen, Wallneyer Str. 6

Wasserbilanz einen Überblick über die Dynamik des Bodenwasserhaushaltes solcher Standorte zu gewinnen. Zur Anwendung kam die von HAUDE entwickelte Methode, die CZERATZKI und KÖRTE bereits zur Stauerung der Berechnung benutzt haben und die auch schon in der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung zur Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit Eingang gefunden hat (WOHLRAB).

Im vorliegenden Fall wurde bewußt von der Modellvorstellung ausgegangen, daß der Geschiebelehm praktisch undurchlässig sei, als Wurzelraum im wesentlichen nur die oberen etwas lockeren Horizonte des lehmigen Sandes infrage kämen und bei der ebenen Lage des Standortes ein spürbarer seitlicher Wasserabzug in der Stauzone nicht stattfindet. Unter diesen Annahmen ergibt sich nach der errechneten klimatischen Wasserbilanz für die Jahre 1947 bis 1964 der in Abbildung 2 dargestellte Bodenfeuchteverlauf.

Da die Mittel- und Grobporen ($p_f < 4,2$) der Deckschicht insgesamt nur maximal 72 mm Wasser (ausgedrückt in Wasserhöhe) aufnehmen können, führen demnach länger anhaltende Niederschläge bei gleichzeitig geringer Verdunstung sehr schnell zur Füllung des groben Porenraumes. Bei einem Überschreiten des Fassungsvermögens kommt es zwangsläufig sogar zum Stauwasseraustritt an der Oberfläche. Die Darstellung (Abb. 2) zeigt sehr deutlich, daß auf einem solchen Standort in unmelioriertem Zustand regelmäßig mit zeitweiligen Übernässungen gerechnet werden muß (Bodenfeuchtegang im Bereich der dunkel gerasterten Flächen). In Naßjahren ergeben sich sogar monatelang anhaltende Nässephasen, die nur kurzfristig unterbrochen sind (Beispiel: Ende Juni/Anfang Juli und Anfang September 1961.) Andererseits ist auf der Abbildung der für Pseudogleye ökologisch so bedeutsame, mitunter sehr schnelle Umschlag von der Nässephase in

Trockenheit deutlich erkennbar, und zwar am Absinken der Feuchtekurven in den hellen Flächenabschnitt (zunehmender Wassermangel), oft sogar bis zum Welkepunkt.

Soweit die zur Charakterisierung der Bodenwasserdynamik von Pseudogleyen herangezogene Darstellung des Bodenwasserhaushaltes aufgrund der errechneten klimatischen Wasserbilanz, wie sie im Wasserwirtschaftlichen Rahmenplan beispielhaft zur Unterrichtung von Fachleuten der Wasserwirtschaft - in weitestem Sinne - herangezogen wurde! Im Zusammenhang vor allem mit der Untergrundlockerung (SCHULTE-KARRING; SCHMID u. WEIGELT) tauchte immer wieder die Frage auf: "Reicht diese Melioration aus, oder unter welchen Bedingungen ist darüber hinaus eine Entwässerung notwendig?" Im Gelände erkennbare örtliche morphologische Gegebenheiten - Mulde und Hangfuß -, die eine Bedarfsdränung von vornherein nahelegen (SCHULTE-KARRING), sollen in diesem Zusammenhang außer Betracht bleiben.

Da zur Beantwortung dieser Frage bisher allenfalls kurzfristige Untersuchungen an Einzelobjekten vorliegen und Notwendigkeit sowie Ausmaß von Bedarfsdränungen - evtl. kombinierte Maulwurf-Rohrdränungen - entscheidend von der Häufigkeit verbläibenden Wasserüberschusses in gelockerten Profilen abhängen -- Häufigkeit auch von der Rentabilität solcher Meliorationen her gesehen -, liegt der Gedanke nahe, als Beurteilungsmaß die errechnete klimatische Wasserbilanz eines möglichst langen Zeitraumes heranzuziehen.

Da seit kurzem die Möglichkeit besteht, die klimatische Wasserbilanz mittels elektronischer Datenverarbeitung*) zu errechnen, bot sich die Gelegenheit, auch in dieser Hinsicht einmal einen Test durchzuführen. Dabei wurde von folgenden Annahmen ausgegangen (Abb. 3):

*) Das Programm wurde in der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz im wesentlichen von Dr. V. TROLL erstellt.

Ein Pseudogley in ebener Lage - also ohne nennenswerten seitlichen Wasserabzug - mit einem nahezu undurchlässigen Staukörper wird 80 cm tief gelockert. Auf diese Weise erweitert sich sein ursprünglich maximal nur 30 cm mächtiger Wurzelraum auf mindestens 70 cm. Wenn man von einem sicher nicht zu hoch angesetzten Porenvolumen von 45 % ausgeht und dabei die Verteilung auf Fein-, Mittel- und Grobporen theoretisch mit 20:20:5 % - eher zu ungünstig - ansetzt, ergibt sich im gelockerten Profil ein für die Vegetation wirksames Fassungsvermögen - Mittel- plus Grobporen - von 175 mm Wasserrhöhe gegenüber 75 mm im unmeliorierten Boden.

Für dieses Modell wurde mit Hilfe der klimatischen Wasserbilanz, und zwar unter Verwendung von Zweitagesummen, der Bodenfeuchteverlauf rückwirkend für die Zeit von 1947 bis 1967 errechnet. Die erforderlichen meteorologischen Daten lagen von verschiedenen Hauptklimastationen des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES vor. Ohne Beachtung der lokalen Situation tieflockerungsbedürftiger und -fähiger Böden wurden bewußt zwei Extreme, nämlich die Stationen Geisenheim und Husum, gewählt. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen beispielhaft die Verhältnisse im Jahr 1964, und zwar in der von der EDV ausgedruckten Form. Von den Jahren 1947 bis 1967 wurden aus diesen Druckdiagrammen für April bis September die Zeitabschnitte, in denen volle Wassersättigung erreicht oder überschritten war, herausgezogen. Diese Zeitabschnitte erscheinen für Geisenheim in Abbildung 6 und für Husum in Abbildung 7. Es zeigt sich, daß man unter den gewählten Modellvorstellungen bei Niederschlags- und Verdunstungsverhältnissen, die denen von Husum ähneln, ganz offensichtlich neben der Tieflockerung ohne Entwässerungsmaßnahmen nicht auskommt, um einen vollen Meliorationserfolg zu erzielen. In der Spanne von 21 Jahren war jedenfalls nach der klimatischen Wasserbilanz kaum eines hinsichtlich schädlichen Wasserüberschusses erträglich. Demgegenüber traten unter den Verhältnissen, wie sie in Geisenheim herrschen, lang anhaltende Naßperioden allenfalls im April auf.

Das hier herangezogene Beispiel einer Auswertung der klimatischen Wasserbilanz ließe sich je nach Klima- und Bodenverhältnissen sowie je nach dem mit der Porenraumverteilung quantifizierbaren Lockerungseffekt anderen örtlichen Gegebenheiten anpassen. Schwieriger ist schon die Erfassung vertikaler und seitlicher Wasserbewegung; denn oft haben wir es nicht mit einem gänzlich undurchlässigen Staukörper zu tun, und vielfach ist das Gelände kein völlig horizontales Plateau. Außerdem läßt das allgemeine Urteil, ob und mit welcher Häufigkeit unter definierten Standortbedingungen bei einer bestimmten Untergrundmelioration noch mit Nässephasen zu rechnen ist, die konkrete Frage offen: Welche Stauwassermengen fallen in diesen Phasen an und müßten abgeführt werden, nach welcher Abflußspende ist also ein zusätzliches Entwässerungssystem zu projektieren? Quantitative Angaben hierüber lassen sich ebenfalls mit Hilfe der klimatischen Wasserbilanz aus den Niederschlagsüberschüssen ableiten, die während der Nässephasen vom Boden gar nicht aufgenommen werden konnten. Diesen Überschüssen - im gewählten Rechenbeispiel als mm je 2 Tage - ist etwa die Hälfte der die Grobporen beinhaltenden Wasserhöhe zuzurechnen, um den Luftaustausch im oberen Teil des Wurzelraumes jederzeit zu gewährleisten.

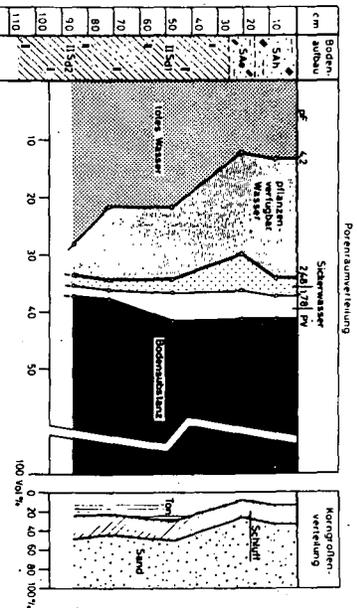
Anhand eines Modelles wurde über die Beurteilung des zusätzlichen Entwässerungsbedarfes bei Untergrundmeliorationen mit Hilfe der klimatischen Wasserbilanz berichtet. Diese theoretische Betrachtung wird mit folgender Empfehlung abgeschlossen:

Die zur Zeit laufenden Versuche der Untergrundmelioration mit und ohne Bedarfsdränung auf verschiedenen Standorten sollten dazu herangezogen werden, mittels der dort anfallenden Meßwerte bodenkundlicher, hydrologischer und meteorologischer Art die dargestellte Aussagefähigkeit der klimatischen Wasserbilanz - auch in quantitativer Hinsicht - zu prüfen und gegebenenfalls in entsprechende Korrelation zu bringen. Wenn das gelingt, ist in ihr ein wesentliches Hilfsmittel für die weitläufige Projektbearbeitung von Untergrundmeliorationen, einschließlich der heute immer vorrangiger werdenden Rentabilitätsbeurteilung, zu sehen.

LITERATURVERZEICHNIS

- ARENS, R., F. KRÄMER u. Ch. LANGNER: Über die Bodenstruktur, den Wasserhaushalt und die Ertragsfähigkeit von Pseudogleyen und gleyartigen Braunerden. Z.f. Acker- u. Pflanzenbau, 1959, 107, 67-98.
- CZERATZKI, W., und W. KORTE: Rationelle Steuerung der Feldberegnung, Landbauforschung Völkenrode, 5. Jg., 1955.
- DEUTSCHER WETTERDIENST: Tagessummen der Niederschläge, tägl. 14⁰⁰ Uhr Temp.- und Dampfdruckmeßwerte von den Stationen Husum und Geisenheim; März bis September 1947 - 1967.
- GORA, A.: Feld- und Laboruntersuchungen an Pseudogleyen verschiedenen geologischen Ausgangsmaterials als Grundlage für deren standortgerechte Melioration. Albrecht-Thaer-Archiv, Bd. 8(1964), H.6/7, S. 551-565.
- HAUDE, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt.Dt.Wetterdienst, 2 (11), 1955.
- KERPEN, W.: Die Böden des Versuchsgutes Rengen, Kartierung, Eigenschaften und Standortwert, Forschung und Beratung (NW), Reihe B, Wissenschaftliche Berichte der Landw. Fakultät der Universität Bonn, Hiltrup (1960).
- KORTE, W.: Klimatische Wasserbilanz. Landbauforschung Völkenrode, 8. Jg., Heft 4, 1959.
- MÜCKENHAUSEN, E.: Der Wasserhaushalt der Pseudogleye und dessen Bedeutung für die Pflanze; Forstliche Standortaufnahme, Begriffe u. Fachausdrücke. Landwirtschaftsverlag Hiltrup, 1958.

- SCHMID, G., u. H. WEIGELT: Neue Wege bei der Aufwertung von Pseudogleyen. Mitt. der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Göttingen 1970 (1. Druck).
- SCHULTE-KARRING, H.: Die Verbesserung des Wasserhaushaltes stauwasser Böden durch systematische Rohrdränung oder tiefe Bodenlockerung. Bayer. Landw. Jahrb., 44. Jg., Sonderheft 3/1967, S. 43-54.
- SCHULTE-KARRING, H.: Die Unterbodenmelioration, Ergebnisse 12jähriger Untersuchungen. Auszug aus dem Zweijahresbericht 1968 der Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler.
- SUNKEL, R. (Berichterstatte) und Ch. LANGNER (Bodenuntersuchungen): Gutachten über die Standort- und Nutzungsverhältnisse im Raum Ramsdorf-Velen unter besonderer Berücksichtigung des Bodenwasserhaushaltes (unveröffentl. Gutachten der Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes NW, Essen), 1966.
- WOHLRAB, B.: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan und Berechnungswasserbedarf. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft, Heft 2/1967, S. 105-129.
- ZAKOSEK, H.: Über Pseudogleye in der Rheinpfalz. Notizbl. d. hess. Landesamtes f. Bodenforschung, Wiesbaden 1954, Bd. 82.



Pseudogley aus Decksand über Geschiebelehm

- ZEICHENERKLÄRUNG
- feine Poren
 - mittlere Poren
 - schwer drainend grobe Poren
 - leicht drainend grobe Poren
 - Boden

Abb. 1

BODENFEUCHTEVERLAUF

in einem Pseudogley
errechnet nach der klimatischen Wasserbilanz

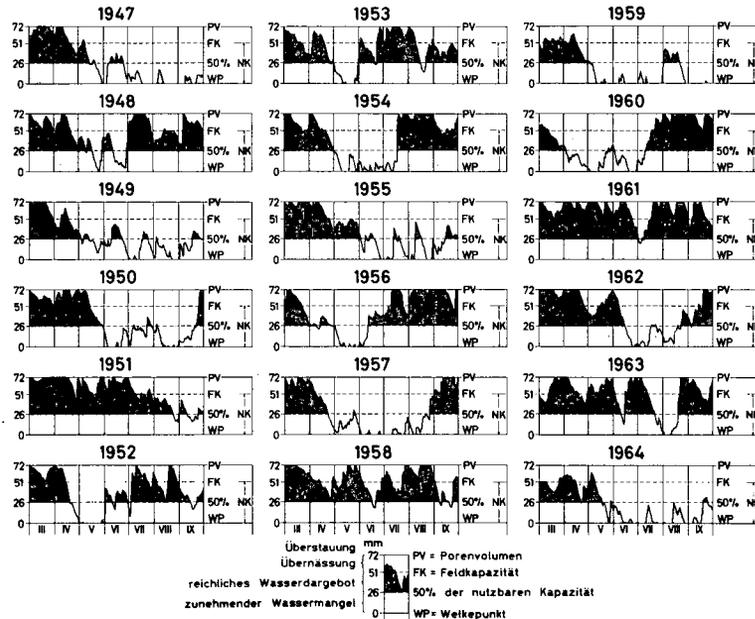


Abb. 2

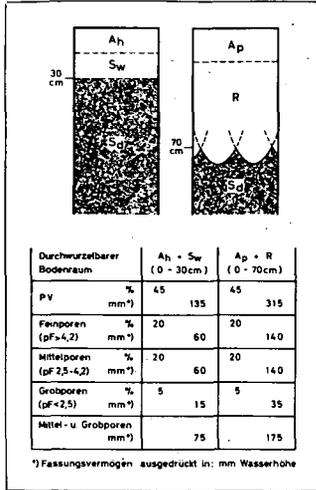


Abb. 3 Pseudogley vor und nach einer Tieflockerung (schematische Darstellung)

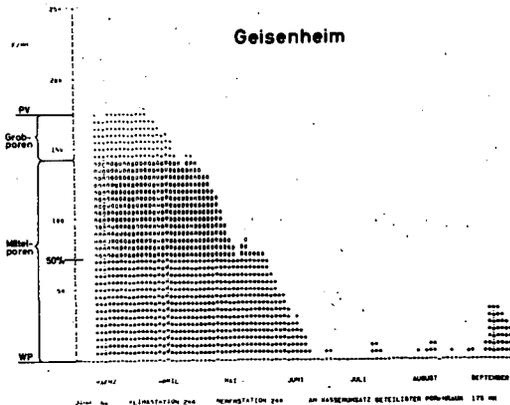


Abb. 4 Klimatische Wasserbilanz 1964 (errechnet und ausgedrückt mittels EDV) für einen tiefgelockerten Pseudogley unter Klimaverhältnissen der Station Geisenheim

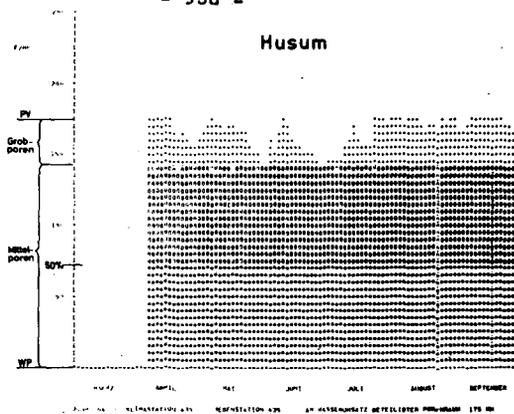


Abb. 5 Klimatische Wasserbilanz 1964 (errechnet und ausgedruckt mittels EDV) für einen tiefgelockerten Pseudogley unter Klimaverhältnissen der Station Husum

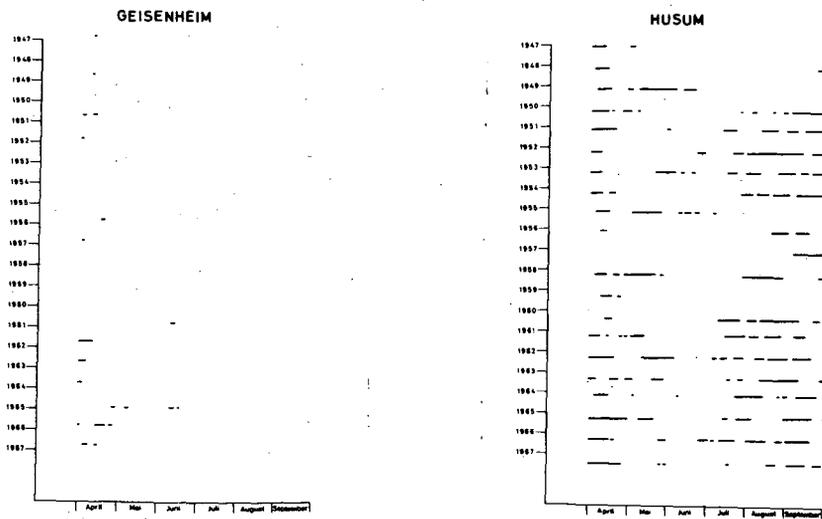


Abb. 6 Nässephasen in einem tiefgelockerten Pseudogley, ermittelt aufgrund der klimatischen Wasserbilanz für 1947 bis 1967 unter Klimaverhältnissen der Station Geisenheim

Abb. 7 Nässephasen in einem tiefgelockerten Pseudogley, ermittelt aufgrund der klimatischen Wasserbilanz für 1947 bis 1967 unter Klimaverhältnissen der Station Husum



Untergrundmelioration -

Beurteilung der Erfolgchance

von K. H. Hartge *)

Seit starke Maschinenleistungen tiefere Bodenbearbeitungen ermöglichen, sind Tiefumbruch und Untergrundlockerung immer stärker in den Blickpunkt des Interesses getreten. Die ersten Anwendungen speziell der Tieflockerung erfolgten dabei an Böden, bei denen die hohe Lagerungsdichte mit Sicherheit der ertragsbegrenzende Faktor war. Die anfänglichen Erfolge dieser Melioration führten dann, wie in ähnlichen Situationen meistens, zur Anwendung der Methode im erweiterten Maße. Dabei wurden dann natürlich auch Böden in Angriff genommen, bei denen die Lagerungsdichte nicht ganz so eindeutig die Hauptursache der mangelnden Ertragsleistung war. Die Folge dieser Extrapolation der Methode war dann oft ein verminderter Erfolg. Es tauchte dann bald die Frage auf, welche Kriterien eine Auskunft darüber geben, ob in einem ins Auge gefaßten Fall mit ausreichender Sicherheit mit einem Gelingen der Meliorationsmaßnahme gerechnet werden kann.

Diese Situation gab Anlaß, die Erfolgsaussichten von Tiefumbruch und Untergrundlockerung näher zu untersuchen.

Dabei bietet sich an, das Risiko des Mißlingens in 2 Teilrisiken zu unterteilen: nämlich (1) das Teilrisiko des Nichterreichens des gewünschten Effektes und (2) das Teilrisiko des schnellen Zerfallens bzw. Vergehens des erreichten Effektes.

*) Institut für Bodenkunde, 3 Hannover-Herrenhausen, Herrenhäuser Str. 2

1. Das Risiko des Nichterreichens der gewünschten Wirkung

Ziel aller Tiefarbeitungsmaßnahmen ist die Lockerung, d. h. das Schaffen von groben Sekundärporen zwischen den durch die Bearbeitung hergestellten Bröckeln. Neben diesem Hauptanliegen treten alle sonst noch auftretenden Gesichtspunkte zurück. Ausnahmen sind selten. Sie kommen vor allem bei Tiefumbruchvorhaben im Hochmoor vor. Aber auch hier ist zum mindesten die Erhaltung eines hinreichenden Anteiles an groben Poren ein entscheidendes Argument.

Bei Umbruchverfahren ist nun der Erfolg, d. h. die Bröckelung des Bodens im Verlaufe der Arbeit gut kontrollierbar. Das Risiko, daß dabei Schäden angerichtet werden, ist daher hier klein. Ganz anders liegen die Dinge bei der Untergrundlockerung. Meist ist eine hinreichende Bröckelung nicht auf den ersten Blick erkennbar. Um den Erfolg zu beurteilen bedarf es der Überlegung, daß die Volumenzunahme stets größer sein muß, als die durch die Frontfläche des Lockerungswerkzeuges gedrückte Höhle. Ist sie das nicht, so hat es keine Bröckelung im Boden und somit weder Sekundärporen, noch eine Lockerung gegeben. Das Ausmaß der Volumenzunahme kann entweder durch den erfahrenen Blick des Fachmannes oder durch ein primitives Nivellierverfahren festgestellt werden.

2. Das Risiko des schnellen Zerfallens einer Lockerung

Wenn man von der Annahme ausgeht, daß in einem Boden wenigstens annähernd ein Druckgleichgewicht herrscht, dann bedeutet jede Lockerung, die eine Verlagerung von Festsubstanz nach oben mit sich bringt, eine Störung dieses Gleichgewichtes.

Der Boden wird daher dazu tendieren, die Gleichgewichtslage wieder herzustellen. Aus diesem Grunde würde jede Lockerung früher oder später wieder zusammensacken. Die Sackungsgeschwindigkeit ist abhängig von der inneren Reibung im Boden und dem Ausmaß der Störung des Gleichgewichtes.

Da der Winkel der inneren Reibung in Böden sehr umständlich zu messen ist, kann man als Ersatz auch eine Nachahmung des Sackungsvorganges verwenden wie sie an anderer Stelle beschrieben wurde (HARTGE 1969). Das Ausmaß der Störung des Gleichgewichtes kann man aus dem Gesamtporenvolumen, bei Tonböden aus dem Grobporenanteil abschätzen.

Es ergibt sich als Näherungslösung, daß Poren mit einem Porenvolumen von $> 45\%$ bzw. einem Grobporenanteil ($> 50 \mu$) von $\geq 10\%$ nur bei sehr hoher Sackungstabilität tiefbearbeitet werden sollten, während solche mit einem Porenvolumen von $\leq 40\%$ bzw. einem Grobporenanteil ($> 50 \mu$) von $\leq 5\%$ auch bei geringer Sackungstabilität locknungswürdig sind.

LITERATUR

HARTGE, K. H., 1969: Z. Pflanzenern., und Bodenkunde, 122,
250-259



Strukturelle Umgestaltung des Gesamt-Bodenprofils und die
Neugestaltung der Ackerkrume beim Tiefumbruch von Löß-
Parabraunerden von K. Scheffer u. B. Meyer^{*)}

Das betrachtete Versuchsobjekt ist eine Parabraunerde aus mächtigem, grundwasserfernem Löß, die 1966 bis 95 cm Tiefe umgebrochen wurde. Die durchschnittliche Mächtigkeit des A_1 -Horizontes beträgt 45 cm, die des $B_t + B_v$ -Horizontes 130 cm.

Ziel des Umbruchs war a) die Schaffung einer neuen tonreicheren Ackerkrume, von der eine höhere Strukturstabilität erwartet wurde und b) die Verbesserung der kapillaren Dränfähigkeit des Unterbodens.

Der Vergleich zwischen dem Profil der ungestörten Parabraunerde und dem durch B_t/A_1 -Horizont-Balken-Schrägschichtung gekennzeichneten Tiefumbruchprofil zeigt folgendes:

Im Parabraunerdeprofil ist der Übergang A_1/B_t im wesentlichen durch eine Einengung des Porenbereiches pF 2,5-3,0 gekennzeichnet. Durch den Tiefumbruch wird dieser Sprung beseitigt. In den A_1 -Horizont-Balken wird jedoch keine Poren-Umverteilung gegenüber dem Ausgangszustand erreicht, in den B_t -Horizont-Balken findet nach anfänglicher Auflockerung ein schnelles Setzen statt, das nach einiger Zeit ebenfalls den Ausgangszustand dieses Materials wieder herstellt. Eine Tiefenkalkung bringt infolge der mangelhaften Verteilbarkeit des Kalks keine Verbesserung, da sie zu spät zur Wirkung gelangt.

Der Tiefumbruch erfaßt nicht denjenigen Teil des B_t -Horizontes (120 cm), in dem die stärkste Einengung des dränfähigen Porenvolumens vorliegt, kann also keine wesentliche Verbesserung der Untergrund-Dränage bewirken.

^{*)} Institut für Bodenkunde, 34 Göttingen, v.Siebold-Str. 4

Hinzu kommt, daß durch den Tiefpflug eine beträchtliche Verdichtung des B_t -Horizontes an der Pflugschle erzeugt wird.

Die neugeschaffene Ackerkrume besteht zu ca. 80% aus B_t -Horizont-Material. Sie erweist sich, wie die Ton-Schluff-Trennung zeigt, die stärker ist als im Parabraunerde-Ap, als sehr strukturlabil und außerordentlich anfällig für Pflugschle-Verdichtungen, die sich im Gegensatz zur Parabraunerde biologisch-mechanisch kaum beheben lassen.

Untersuchungen über die zeitliche Entwicklung der Ap-Struktur anhand von Poren-Verteilungs-Diagrammen ergaben für die ersten drei Versuchsjahre:

Unter Getreide - nicht aber unter Rüben - wird im Tiefumbruch-Ap der ständig durchlüftete Weitporen-Anteil ($pF < 2$) gegenüber dem Parabraunerde-Ap erhöht. Der Poren-Anteil 30-3 $\mu \phi$ ($pF 2-3$) ist dagegen reduziert, der Poren-Anteil mit $pF > 3$ entsprechend dem höheren Tongehalt wiederum erhöht. Im Jahresgang ist jedoch der effektive Luftporen-Gehalt im Tiefumbruch-Ap durchweg geringer als im Parabraunerde-Ap. Gleiches gilt für die pflanzenverfügbare Wassermenge. Dies erklärt sich aus den höheren Anteilen an Poren mit $pF 2-3$ im Parabraunerde-Ap, die mit zunehmender Austrocknung bei hohen Restgehalten an pflanzenverfügbarem Wasser als Luftporen fungieren können.

Die jahreszeitliche Strukturwandlung im neuen Ap unterliegt den gleichen witterungsbedingten Schwankungen wie im ursprünglichen Parabraunerde-Ap. Es konnte also durch den bloßen Tiefumbruch keine Strukturstabilisierung des Oberbodens erzielt werden. Dies ist nur durch starke nachträgliche meliorative Kalkungen zu erreichen, die allerdings auch auf der nicht umgebrochenen Parabraunerde den gleichen strukturverbessernden Effekt gehabt hätten.

Durch den Tiefumbruch und die dadurch bewirkte Anhebung des Tongehaltes im neuen Ap auf 25% wurde die Bodenbearbeitung - besonders im Herbst - beträchtlich erschwert. Trotz sichtbarer

früherer Abtrocknung der Oberfläche ist der früheste Bearbeitungszeitpunkt auf den Tiefumbruch-Parzellen im Frühjahr nicht vorverlegt worden.

Die oberflächliche Abtrocknung erfaßt auf den umgebrochenen Flächen nur die obersten Zentimeter. Infolge des geringeren kapillaren Zusammenhanges zwischen den in sich kompakten Aggregaten ist die Wassernachlieferung aus den unteren Abschnitten des Ap gehemmt. Dadurch bleibt hier die Feuchtigkeit erhalten, und die Befahrbarkeit ist ähnlich schlecht wie auf dem Parabraunerde-Ap. In trockenen Frühjahren kann es infolge mangelnder kapillarer Wassernachlieferung von unten in das Saatbett zu Auflaufverzögerungen und Wachstumshemmungen bei Getreide und besonders Rüben kommen.

(Ausführliche Darstellung siehe Göttinger Bodenkundliche Berichte, Bd. 16, 1970)



Umgestaltung des jahreszeitlichen Wasserhaushaltes von Löß-
Parabraunerden nach Tiefumbruch von B. Meyer und K. Scheffer *)

Der Tiefumbruch von Parabraunerden aus Löß, durchgeführt mit dem Ziel einer Tonanreicherung im Oberboden (Ap) und der Verbesserung der natürlichen Dränung durch Erhöhung der kapillaren Leitfähigkeit des Unterbodens hat bisher zu unterschiedlichen, in vielen Fällen negativen Resultaten geführt.

Einleitend werden die Voraussetzungen für eine Indizierung eines Lößstandortes für den Tiefumbruch diskutiert. Dabei kommt es in erster Linie auf die Beziehungen zwischen den jahreszeitlichen Änderungen der Saugspannungs-Tiefengradienten und den daraus resultierenden Raten an abwärts verdrängtem Kapillarswasser an. Am Beispiel einer Parabraunerde (45 cm A₁, 130 cm B_t) aus mächtigem grundwasserfernem Löß wird demonstriert, daß aufgrund der vorgegebenen hydrodynamischen Bedingungen keine Verbesserung der vertikalen Wasserabfuhr zu erwarten ist - im Gegensatz zu anderen Versuchsflächen, wo dünnere Lößdecken über durchlässigerem Untergrund lagern.

Der Vergleich zwischen dem Profil einer ungestörten Acker-Parabraunerde und dem einer tiefumgebrochenen Nachbar-Parzelle zeigt im Jahresgang folgende Unterschiede in der Wasserführung:

Ap Bei etwa übereinstimmenden Diagrammen der kapillaren Leitfähigkeit im wasserungesättigten Zustand zwischen pf 1.8 und 3.0 zeigen die Ap-Horizonte der Tiefumbruch-Parzellen gegenüber denen der Parabraunerde eine verzögerte Austrocknung in trockenen Witterungsperioden und eine langanhaltende stärkere Wassersättigung in Nässeperioden. Beides ist auf den

*) Institut für Bodenkunde, 34 Göttingen, v. Siebold-Str. 4

mangelhaften kapillaren Kontakt zum Unterboden zurückzuführen. Als Kriterium für aufsteigende und absteigende Wasserbewegung wird die Differenz zwischen der aus den Wassergehalten über die pF-Charakteristik errechnete Aquivalentensaugspannung (I) und der mit Tensiometern gemessenen Realsaugspannung (II) verwertet. Bei absteigender Bewegung ist I größer, bei aufsteigender kleiner als II. Die Tiefumbruch-Ap-Horizonte lassen aufgrund dieser Betrachtung sowie aufgrund der größeren Realsaugspannungs-Amplituden erkennen, daß die Pflugsohlen einen hemmenden Einfluß sowohl auf die aufsteigende als auch auf die absteigende Wasserbewegung haben.

Unterboden. Unter dem Ap gleicht sich der jahreszeitliche Wassergehalts- und Saugspannungsgang beider Parzellen einander an.

Ab 50 cm Tiefe trocknet die ungestörte Parabraunerde im Sommer eher aus als das durch A_1/B_t -Balken-Schrägschichtung gekennzeichnete Tiefumbruch-Profil. Dies ist einerseits auf den weniger gehemmten kapillaren Wasser-Abzug nach unten, später auf die gute kapillare Aufwärtsbewegung des Wassers mit dem Verdunstungshub zurückzuführen. Die Austrocknung des Tiefumbruch-Profiles ist demgegenüber erheblich verzögert, schreitet jedoch bis in den Herbst hinein fort, wenn die Parabraunerde bereits wieder durch von oben in den Leitbahnen zugeführtes ungespanntes Wasser aufgefüllt wird. Man bedenke hierzu, daß im Tiefumbruchprofil sämtliche vertikalen Leitbahnen wie Regenwurm- und Wurzelgänge, die in der Parabraunerde 1-2% des Gesamt-Volumens ausmachen, zerstört worden sind.

Ab 100 cm Tiefe, also unterhalb der Umbruch-Tiefe ist zwischen beiden Parzellen wieder völlige Übereinstimmung im jahreszeitlichen Feuchtegang hergestellt.

Die vorgelegten Ergebnisse lassen keine Verbesserung der Wasserhaushaltsbilanz der Parabraunerde durch Tiefumbruch erkennen. Die Bilanz für die Tiefe 0-100 cm ist in beiden Fällen etwa

dieselbe, sofern man von jahreszeitlichen Phasenverschiebungen im Austrocknungs- und Befeuchtungsgang absieht, die nach Tiefumbruch nicht günstiger als vorher zu beurteilen sind.

(Ausführliche Darstellung siehe Göttinger Bodenkundliche Berichte, Bd. 16, 1970)