

Mehrjährige mikroskopische Beobachtungen von Hohlraumveränderungen meliorierter Böden und deren zugehörige physikalische Kennwerte

H. BORCHERT

Institut für Landeskultur der Justus Liebig-Universität, Giessen, D.B.R.

EINLEITUNG

Anlässlich der Zweiten Internationalen Tagung über Bodenmikromorphologie in Arnheim, Holland, 1964 wurde bereits schon einmal über die bodenmikromorphologischen Arbeiten des hiesigen Instituts für Landeskultur berichtet, die bei langjährigen Untersuchungen von meliorierten Böden mit durchgeführt werden [1]. Da diese mikroskopische Untersuchungsmethodik zunehmend erfolgversprechend schien, wurde sie im Hinblick auf die Kulturtechnik verbessert und auf weiteren Versuchsfeldern zur Untersuchung herangezogen [2].

Die Meliorationsstandorte mit durchgeführter Maulwurfdränung, Tieflockerung und Tiefpflügen liegen auf Löß, Löß-Basalt, Löß-Tonschiefer, Löß-Zechstein, Keupertonen und Alluvialböden und sind bodentypologisch Parabraunerden, Pseudogleye und Pelosole [11]. Von den Ergebnissen der Bodengefügeuntersuchungen werden im folgenden einige mitgeteilt. Fotos: Vergrößerung 2:1. Abb. 6, 3:1.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE UND DISKUSSION

FELD RUPPERTENROD MIT MAULWURFDRÄNUNG

Der Boden, eine Pseudogley-Braunerde aus Löß-Basalt, liegt im Vogelsberg, Hessen und hat einen Tongehalt ($< 0,002$ mm) in der Krume von 17%, in 40 cm Tiefe 27% und in 60 cm Tiefe 33% und entsprechenden Schluffgehalt (0,002-0,06 mm) von 73%, 63% und 67% [10]. Die in Arnheim 1964 beschriebene Gefügeentwicklung des gelockerten Bodens ist bis 1968 weiterverfolgt worden. Abbildung 1 gibt die Porengrößenanteile $> 10 \mu$ (dränende Poren) und $10-0,2 \mu$ (pflanzenverfügbares Wasser) wieder, nach der Absaugmethode auf Keramikplatten nach Czeratzki [4]. Hinzu kommen die Gesamtporenvolumina, erhalten durch Addition vom Wassergehalt bei pF 2,5 und gleichzeitig pyknometriertem Luftgehalt [9]. Die Werte der Wasserpermeabilität in cm/sec von gesättigten Stechzylinderproben nach Hartge [5] stehen unter den Porensäulen des gleichen

Untersuchungstermins. Alle Bodenproben wurden einerseits aus dem Zentrum der Lockerung (gestört) und zum Vergleich andererseits aus dem unberührt gebliebenen Boden (ungestört, Nullparzelle) derselben Tiefe entnommen.

Es besteht im Laufe der Jahre eine deutliche Entwicklungstendenz. Die ersten Jahre wird der Anteil an großen Poren durch Bodentiere merklich erhöht, dabei ist es gleich, ob anfangs bereits viele künstliche Hohlräume

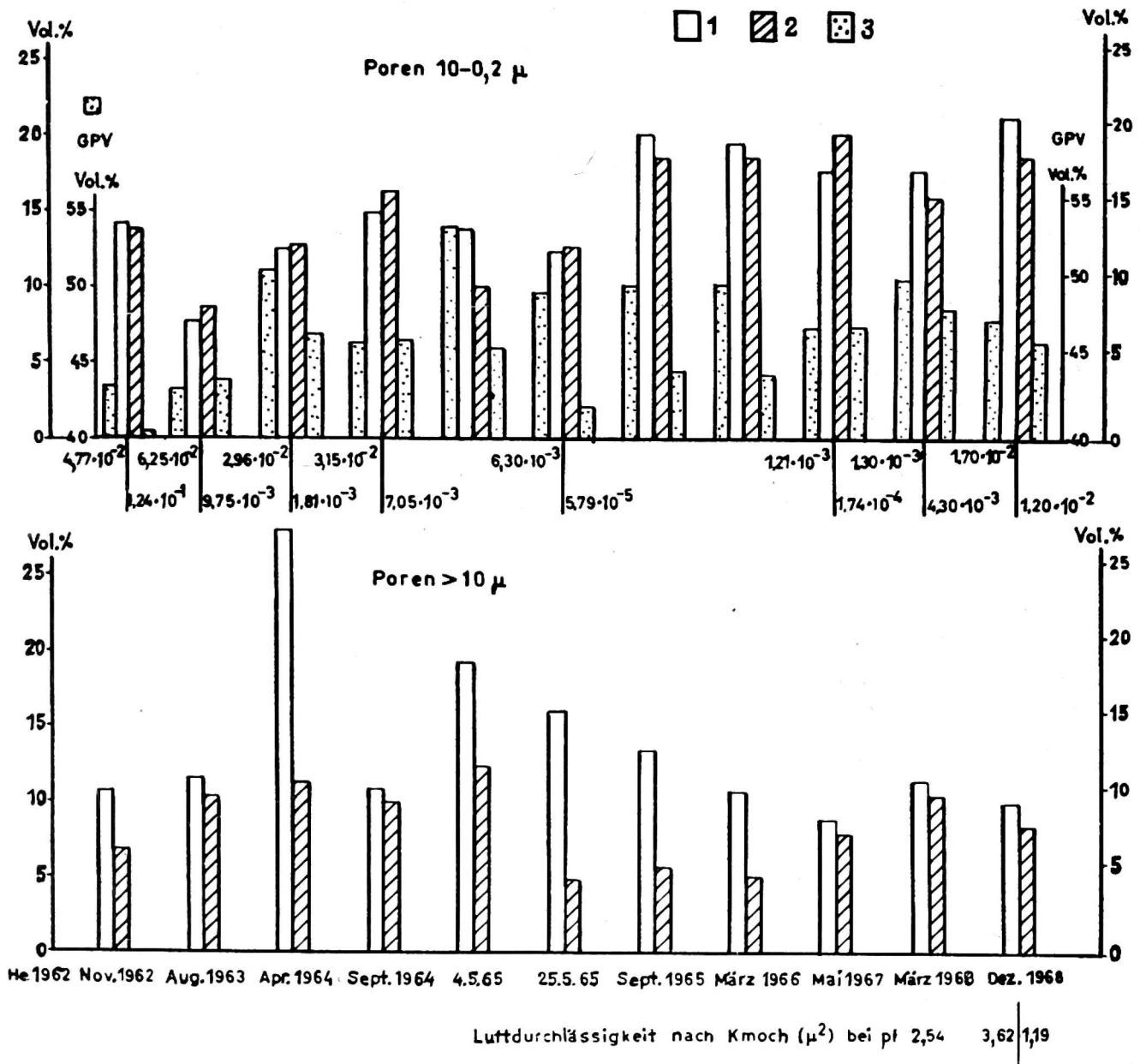


Abb. 1. Porengrößenverteilung von Feld Ruppertenrod mit Maulwurfdränung. MD-Feld Ruppertenrod (Finkernagel) in 35 cm Tiefe, 1 — gestört, 2 — ungestört, 3 — Gesamtporenvolumen (GPV).

durch die Melioration bestanden oder nicht; denn die Bodenfestigkeit ist durch die Melioration stark vermindert, bietet wühlenden Tieren günstige Bedingungen. Nach etwa 3 Jahren beginnt der Anteil der großen Poren, auf den Ausgangsgehalt zurückzugehen, die Durchwurzelung setzt aber verstärkt ein und führt zu einem erhöhten und bis ins 6. Beobachtungsjahr bleibenden Gehalt an Poren mit pflanzenverfügbarem Wasser. Die Wasserdurchlässigkeit ist allgemein gut bis mittelmäßig, dagegen genügt die Luftdurchlässigkeit nicht und ist als "sehr gering" zu benennen [7].

Die Gefügebilder vom September 1965 verdeutlichen diesen Umwandlungsprozeß (Abb. 2). Auf der linken Bildhälfte ist die Lockerung an den locker gelagerten Aggregaten und den vielen Zwischenhohlräumen gut erkennbar. Die beim Dränziehen entstandenen kantigen, scherbenförmigen Bodenaggregate haben jetzt durch die Bodentiertätigkeit runde stabilere Formen. Die Festigkeit des ungestörten Bodens, 1 m vom Maulwurfdrän, spiegelt sich in dem polyedrigplattigen Reißen des Bodens beim Trocknen wider (rechte Bildhälfte). Ein früherer Hohlraum (Bildmitte) ist mit Feinsand ausgefüllt. Außer sehr vielen Wurzelporen sind kaum größere Poren da. Die beim Maulwurfdränziehen miterfolgte Lockerung ist für eine anhaltende Wasserzügigkeit des Bodens und Beseitigung der Stau-nässe wichtiger als der Erddrän. Aufgrund von morphologischen Untersuchungen an 15 maulwurfgedrännten Standorten konnten Optimalwerte für die Beurteilung eines Standortes für Maulwurfdränung ausgearbeitet und der Dränanweisung DIN 1185 übergeben werden: 30-35% Ton, Ton — Schluff = Verhältnis 1:2 und Plastizitätszahl 13.

FELD OBERSEIBERTENROD MIT TIEFLOCKERUNG

Was bei der Maulwurfdränung von der gleichzeitigen Auflockerung erwartet wird und im Zusammenhang mit dem Gehalt an Ton und Schluff an Gefügestabilität erwartet werden kann, gilt erst recht bei der speziellen Tiefenlockerung. Ist der Bauer betriebswirtschaftlich selbst

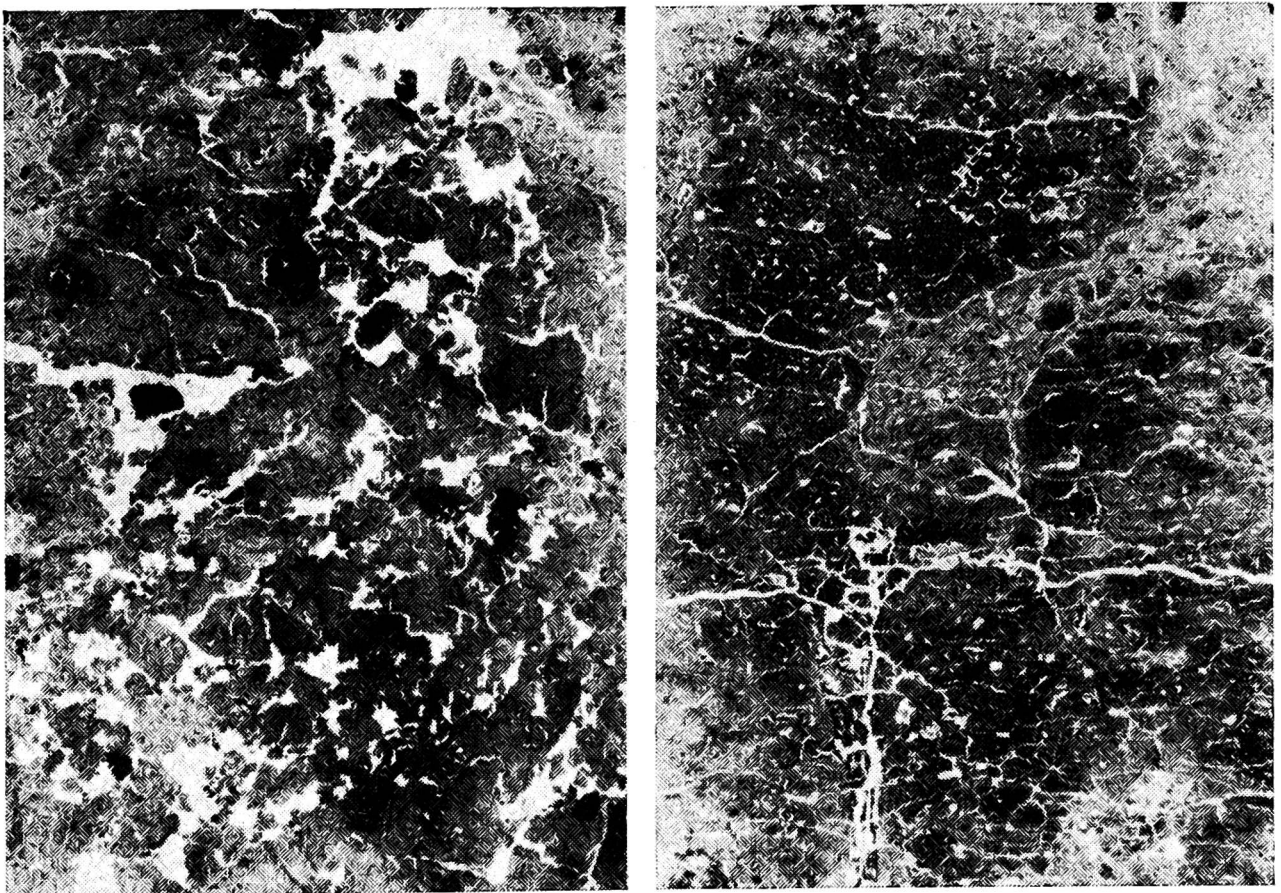


Abb. 2. Bodengefüge des Maulwurfdränfeldes Ruppertenrod in 35 cm Tiefe 3 Jahre nach Dränziehen, links: gestört, rechts: ungestört (1 m vom Drän).

noch in der Lage, mit dem etwa 10 cm breiten Lockerungsschuh am Maulwurfdränpflug den Boden oberhalb eines Erddröns ab etwa 50 cm Tiefe mit aufzulockern, so muß doch in größeren Bodentiefen mit meistens noch höherer Bodenfestigkeit gerechnet, d.h. die Lockerung durch Spezialgeräte und außerbetrieblich durchgeführt werden.

Im Rahmen einer solchen größeren Meliorationsmaßnahme wurden 1960 mehrere ha Ackerland bei Oberseibertenrod im Vogelsberg, Hessen, im Furchenabstand von 80 cm tiefglockert mit gleichzeitigem Kalkeinblasen. Aus technischen Mängeln war die Breitenwirkung nicht groß, so daß bei allen Böden ein ungestörter Bodenkegel stehen blieb. Der Boden ist typologisch ein schwach podsolierter Pseudogley aus Basaltverwitterung mit schwacher Lößbeimengung. Der Tongehalt beträgt in der Krume 13%, im Staukörper im podsolierten Teil um 13%, im unteren Teil um 25%, er steigt im stauend wirkenden sehr festen Untergrund auf 32%. Dazu der entsprechende Schluffgehalt: 77%, 80% und 54%. Die Lockerung war nur bis kaum 60 cm Tiefe erfolgt.

Trotzdem war nach 9 Jahren an der aufgrabenen Erdwand ganz deutlich die Lockerungsfurche abzugrenzen, die Kalkmasse gut zu sehen, wenn auch aus technischen Mängeln fleckhaft angereichert. Die mikromorphologische Untersuchung ergab eine ziemlich dichte, hohlraumarme Wiederausfüllung des unteren Teiles der Lockerungsfurche durch vorwiegend schluffiges Material. Im übrigen Lockerungsbereich war die Meliorationsmaßnahme an folgendem noch gut nachweisbar (Abb. 3 links): starke Wasserbewegung ließ schichtförmige Kornsortierung in relativ dichter Lage entstehen (im Bild links unten), diese wird durch die Wühlarbeit der Bodentiere immer wieder zerstört. Die gebildeten Hohlräume erhalten durch hohen Anteil an Basaltmineralresten in sperriger Lage oft noch zusätzliche Stabilisierung. Ein ganz anderes Bild bietet das Gefüge vom ungestört gebliebenen Bodenkegel zwischen zwei Lockerungsfurchen. Ihn zeichnet Hohlraumarmut, plattige Rißbildung und Dichtlagerung der größeren Gemengteile aus (Abb. 3 rechts).

Diese mikroskopische Beobachtung wird bestätigt durch gleichzeitige andere Untersuchungsergebnisse. So beträgt die Wasserdurchlässigkeit wohl im "gestörten" in 40 cm Tiefe $k_f = 4,5 \times 10^{-2}$ doch im "ungestörten" nur $k_f = 1,3 \times 10^{-4}$ cm/sec, die Luftdurchlässigkeit bei pF, 2,5 nach Kmoch entsprechend $67,4 \mu^2$ ("gut") und $0,8 \mu^2$ ("sehr gering"). Das Gesamtporenvolumen betrug 49,0 Vol% und 47,6 Vol%, die Poren $> 10 \mu$ 12,9% und 10,9%, die Poren 10-0,2 μ 10,1% und 6,7%.

Interessant in diesem Zusammenhang sind die Werte der Bodenaktivität (CO₂-Entwicklung, Bodenatmung). Diese Untersuchungsmethode [6] wurde hinzugenommen, um auch die Veränderung der gesamten Bodenfauna nach einer getätigten Melioration zu beobachten. Die Bodenproben waren ebenfalls zum gleichen Termin entnommen. Die CO₂-Abgabe als Summenwert nach 7 Meßtagen (im Labor) betrug in mgCO₂/100 g Trok-

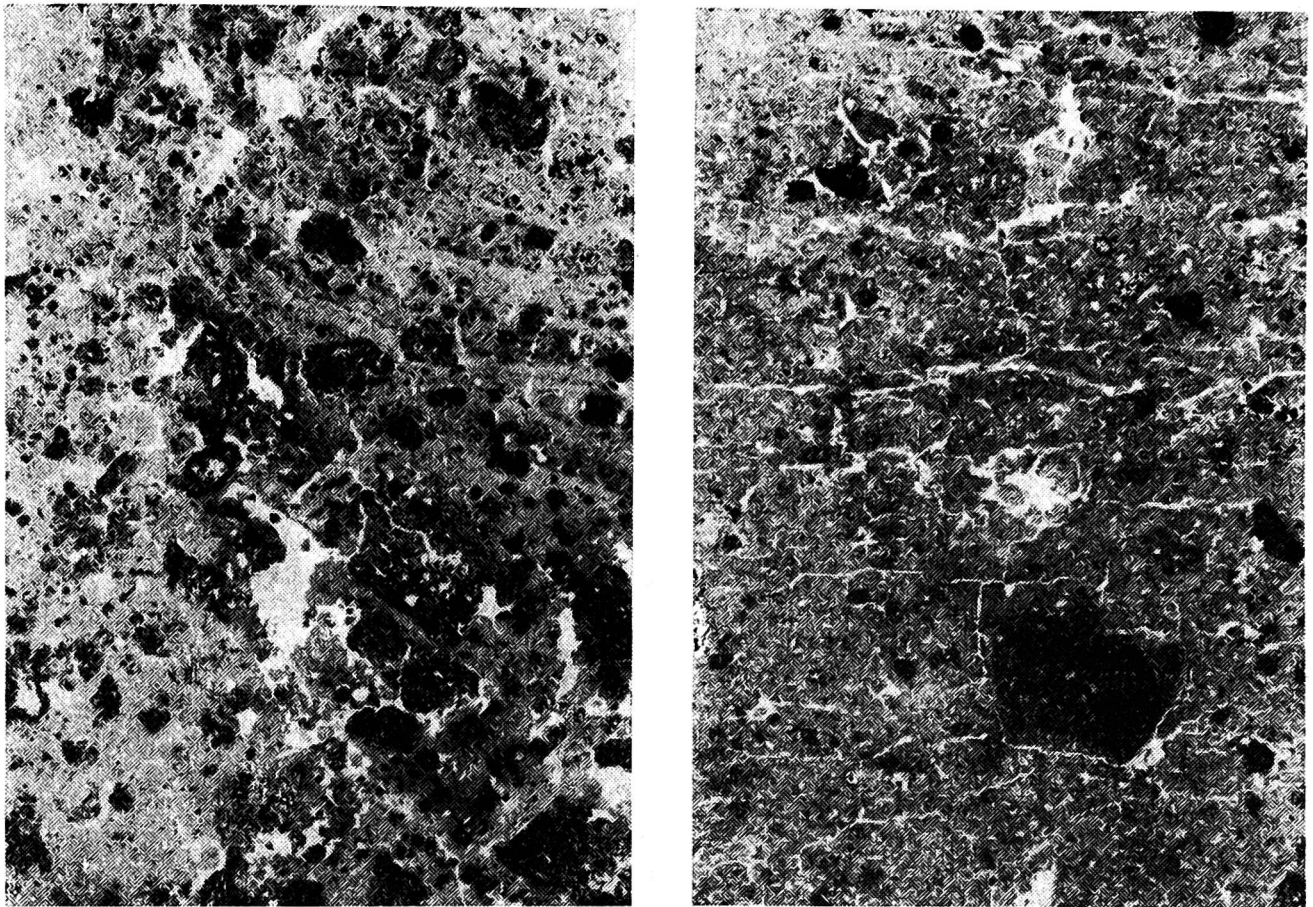


Abb. 3. Bodengefüge des Tieflockerungsfeldes Oberseibertenrod in 40 cm Tiefe 9 Jahre nach Lockerung, links: gestört, rechts: ungestört (40 cm von Lockerungsfurche).

kenboden bei "gestört" ab 20 cm Tiefe alle 10 cm: 81,2% — 56,9% — 37,1% — 25,7% und im "ungestörten" 49,9% — 31,5% — 33,5% — 24,9%. Während also an der Basis der Lockerung durch zu starke Nässe und Wiederdichtlagerung kein Unterschied vorliegt, tritt er in dem hohlraumreicheren durchlüfteten oberen Lockerungsbereich deutlich in Erscheinung.

FELD STEINFURT MIT TIEFENLOCKERUNG

Der Boden ist ein Pseudogley aus Basaltverwitterungsresten mit Lößbeimischung auf dem Vogelsberg, Hessen. Der Tongehalt liegt höher als in Oberseibertenrod, in der Krume bei 23%, im Staukörper bis 38% und im Untergrund bei 60 cm um 30%, entsprechend der Schluffgehalt 65%, 53% und 65%. Da das Feld unter erheblichem Hangdruckwasser litt, wurde oberhalb der 1964 mit Kalkeinblasen durchgeführten Tiefenlockerung ein Fangdrän gezogen. Die Lockerungstiefe betrug 60 cm.

Die ansteigende Tendenz des Gehalts an dränenden Poren (Abb. 4) innerhalb der ersten 3 Jahre nach der Melioration ist wieder wie bei den Maulwurfdränfeldern zu finden. Das Schliffbild (Abb. 5 links) vom November 1967 erklärt dies zur Genüge: trotz sichtlicher Feinsandanreicherungen aufgrund starker Durchfeuchtung erhält der Boden durch zahlreiche Bodentieraggregate und -hohlräume ein aufgelockertes Gefüge.

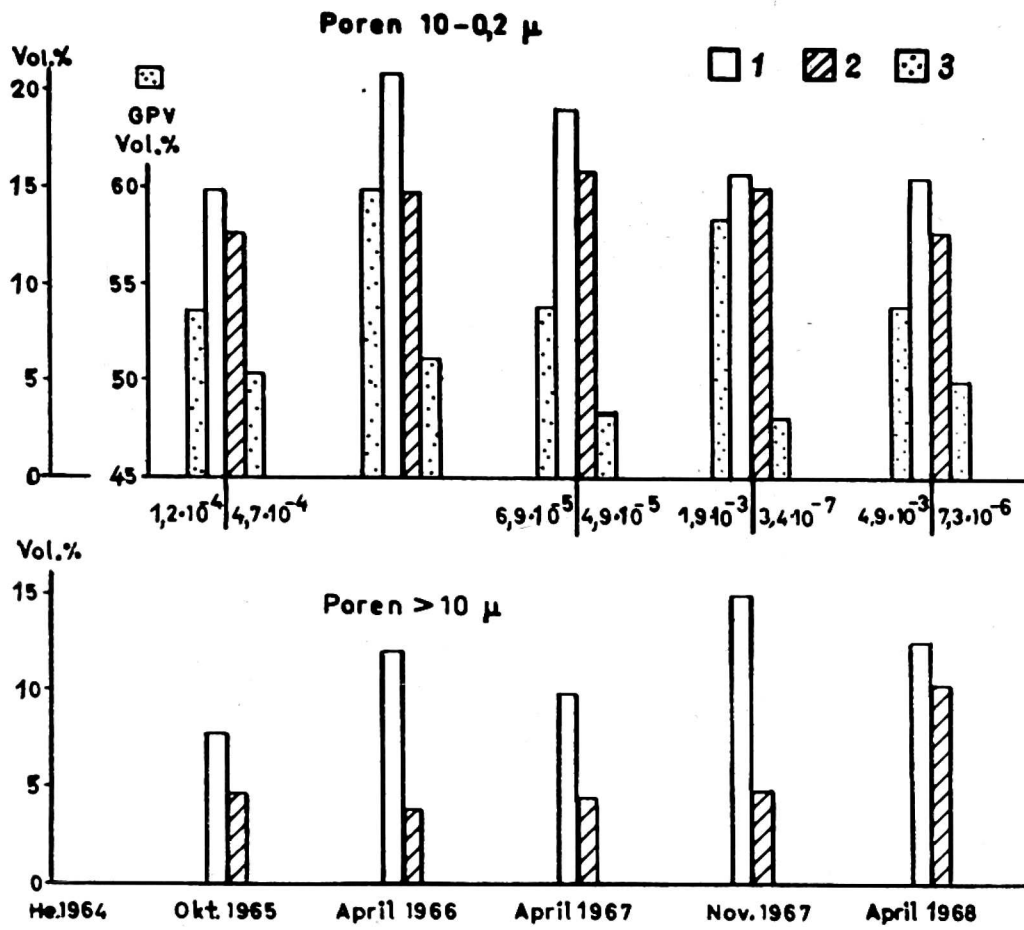


Abb. 4. Porengrößenverteilung von Feld Steinfurt mit Tiefenlockerung. TL-Feld Steinfurt (Muth) in 45 cm Tiefe. 1 — gestört, 2 — ungestört, 3 — Gesamtporenvolumen (GPV).

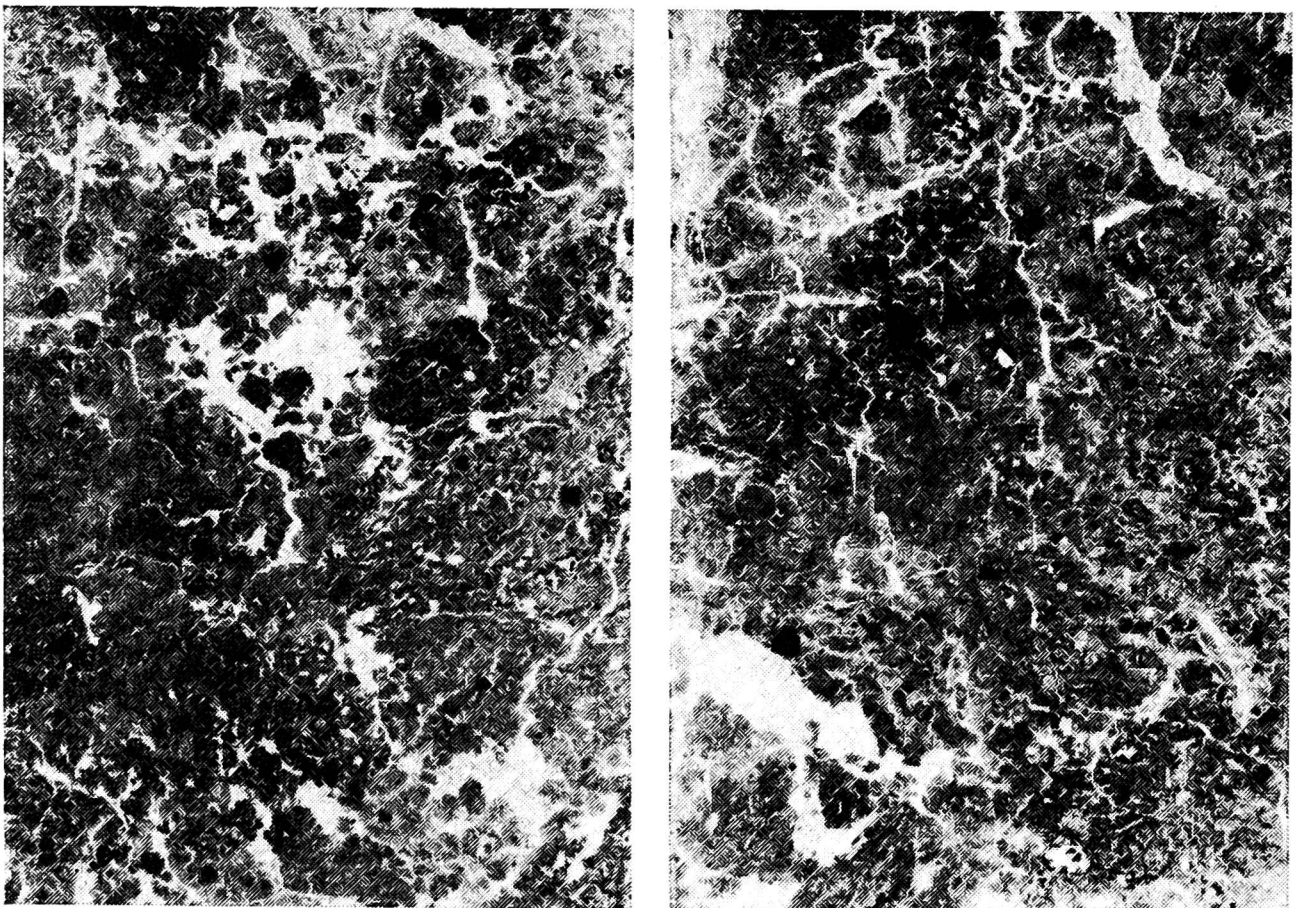


Abb. 5. Bodengefüge des Tieflockerungsfeldes Steinfurt in 45 cm Tiefe 3 Jahre nach Lockerung, links: gestört, rechts: ungestört (40 cm von Lockerungsfurche).

Der ungestörte Boden zwischen den Lockerungsfurchen ist kompakter (Abb. 5 rechts). Auffallend ist die schlechte Wasserdurchlässigkeit (Abb. 4), selbst bei hohen Gesamtporenvolumina. Unter dem Mikroskop findet man im stark zersetzten Basalt gelbliche Anteile, teils sich am Mineralrand gerade ganz herauslösend, teils ist der Boden angereichert mit diesen runden Teilchen, die große Schrumpfung zeigen, Innenrisse, abgelöst vom umliegenden Boden (Basaltverwitterung: Montmorillonit).

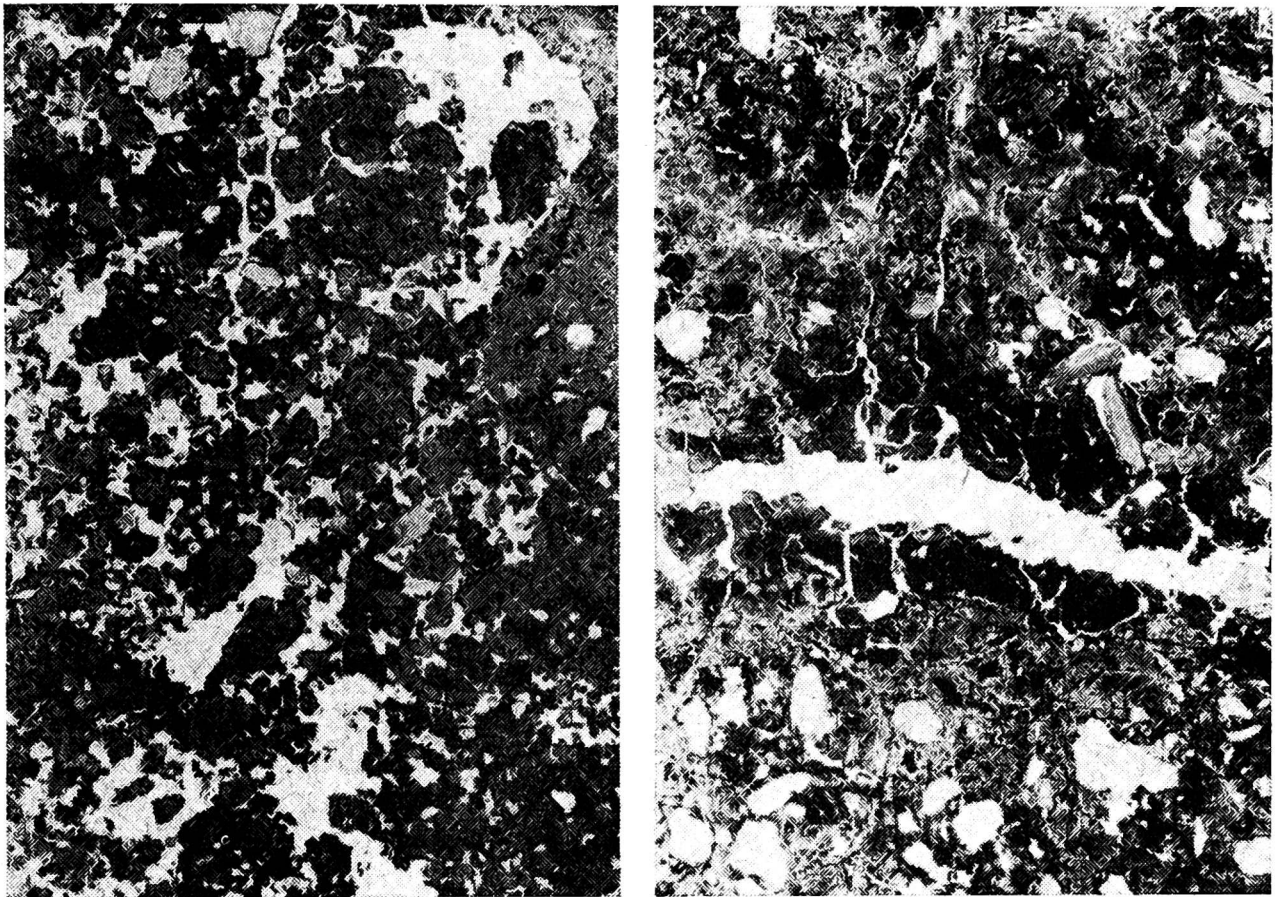


Abb. 6. Bodengefüge des Tieflockerungsfeldes Wetzhausen in 50 cm Tiefe 1/2 Jahr nach Lockerung, links: gestört, rechts: ungestört (4 m von Lockerungsfurche).

Sie sind unschwer als Tonteilchen zu erkennen. Bei der Wassersättigung der Zylinderprobe für die Permeabilitätsmessung quellen diese Proben mehrere Millimeter aus dem Zylinder, wenn man Tage lang sie wässert; im Vakuum konnte dies später vermindert werden.

Die CO_2 -Untersuchung vom April 1967 ergab interessante und bestätigende Ergebnisse. Die Summenwerte an CO_2 mg/100 g Trockenboden betragen im gestörten Boden der Lockerungsfurche ab 20 cm Bodentiefe alle 10 cm: 104,4 — 73,8 — 30,9 — 32,0 — 24,3 und entsprechend im ungestörten Bodenkegel zwischen den Lockerungen 59,4 — 37,1 — 31,2 — 29,4 — 48,7. Während also im oberen besser durchlüfteten Lockerungsbereich die Bodenaktivität weitaus stärker im "gestörten" als im "ungestörten" war, fiel sie im unteren Lockerungsbereich nicht nur auf den Wert von "ungestört" zurück, sondern blieb aufgrund zu hoher Nässe und geringer Oxydation unter diesem Wert.

FELD FEHLHEIM MIT TIEFENLOCKERUNG

Mit zunehmendem Tongehalt wird die Tiefenlockerung problematischer. Unter anderem aus drei Hauptgründen: (1) Der Bodenwassergehalt liegt fast immer für eine optimale Lockerung zu hoch. (2) Der Besatz an wühlenden Bodentieren ist meist in diesen "toten" Tonböden zu niedrig für eine Umwandlung des künstlichen Bodengefüges nach erfolgter Melioration. (3) Die Kationenbelegung der Tonminerale wirkt sich mit steigendem Tongehalt zunehmend auf Stabilität oder Labilität der Grundmasse aus.

Der Boden in Fehlheim bei Bensheim, Odenwald, ist ein Pseudogley auf alluvialen Ablagerungen des Rheines, sein Tongehalt liegt in der Krume bei 35%, im Staukörper bei 40% und im Untergrund bei 45%, entsprechend der Schluffgehalt: 63,0%, 48,0% und 44,0% [8]. 1964 ist die Lockerung offensichtlich in zu feuchtem Bodenzustand durchgeführt worden. Die Lockerungsfurche ist schmal, der Boden kaum gebrochen und in sich verschoben. Im Schliffbild vom April 1969, 5 Jahre nach der Melioration, sind kaum Spuren von Bodentierleben zu finden (Abb. 7 links). Die weißlichen Kalkanreicherungen liegen wie einbetoniert an der Lockerungsgrenze, wo der Boden, von der Maschine gedrückt, rote Eisenfärbung besitzt, das Zeichen für Staunässe.

Die Schrumpfrißbildung ist wie im dichten ungestörten Boden (rechte Bildhälfte) stark ausgeprägt. Die Wasserdurchlässigkeit ist mit $k_f =$

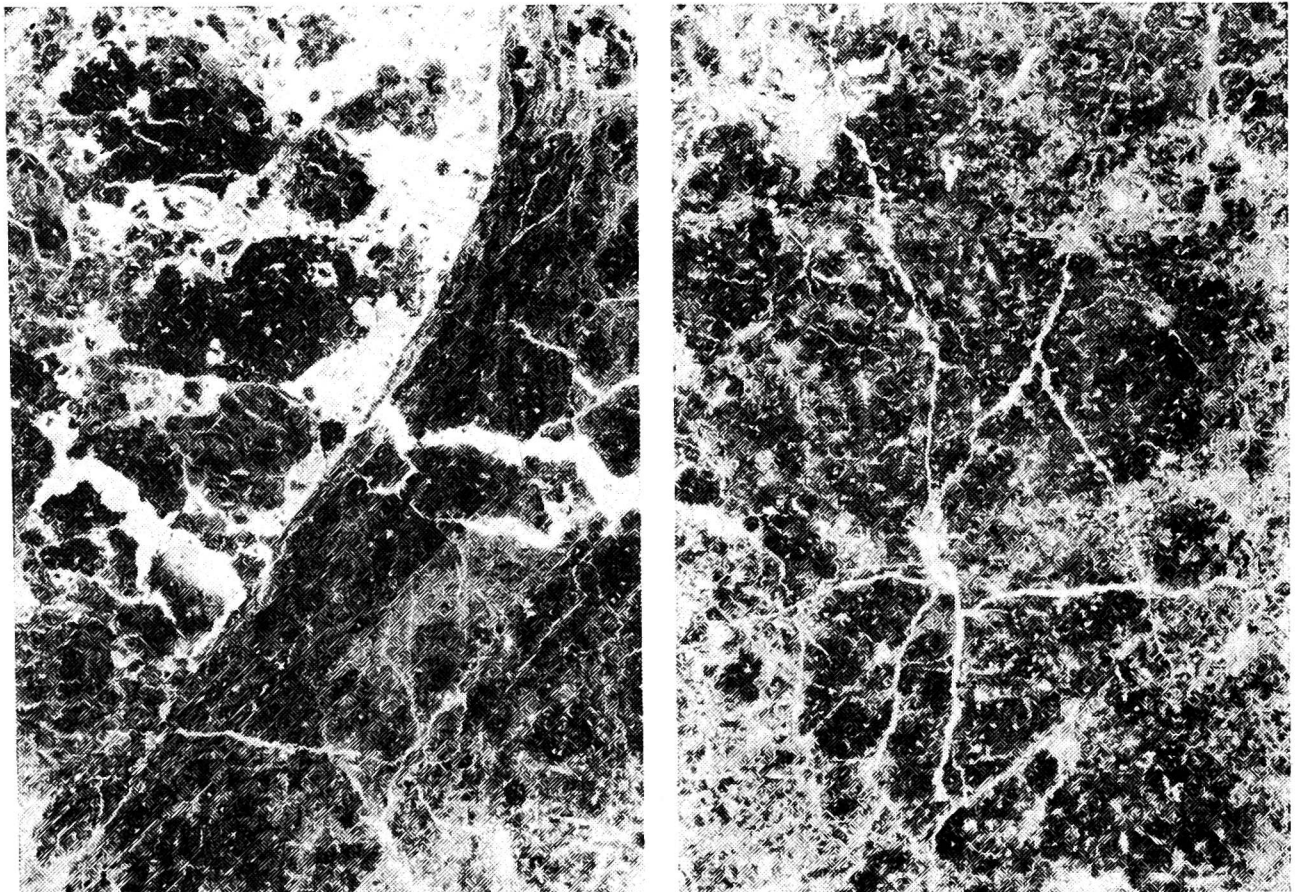


Abb. 7. Bodengefüge des Tieflockerungsfeldes Fehlheim in 45 cm Tiefe 5 Jahre nach Tieflockerung, links: gestört, rechts: ungestört (40 cm von Lockerungsfurche).

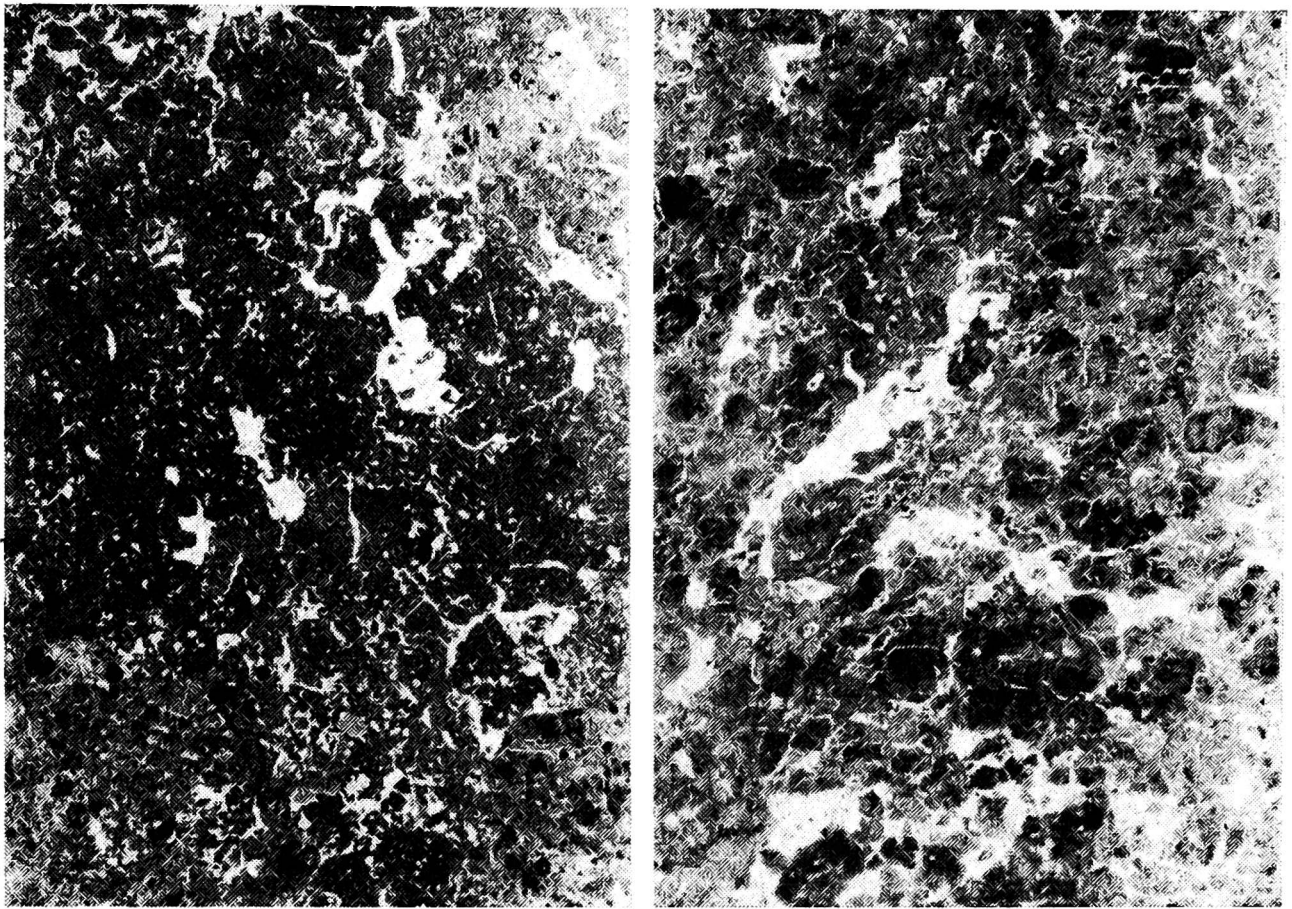


Abb. 8. Bodengefüge des Tiefplugfeldes Fehlheim in 50 cm Tiefe 4 Jahre nach Tiefpflügen, links: Krumenbalken, rechts: Unterbodenbalken.

= $8,0 \times 10^{-5}$ cm/sec (“gestört”) und $k_f = 6,0 \times 10^{-4}$ cm/sec (“ungestört”) nur mittelmäßig. Die Luftdurchlässigkeit bei pF 2,5 mit $14,9 \mu^2$ (“gestört”) und $2,0 \mu^2$ (“ungestört”) sehr gering bis gering. Die Gesamtporenvolumina lagen bei “gestört” bei 48,4 Vol%, bei “ungestört” 44,3 Vol%, entsprechend die Poren $> 10 \mu$: 8,3 Vol% und 3,6 Vol% und die Poren 10-0,2 μ : 5,4 Vol% und 5,4 Vol%.

Auf die Wiedergabe der Sondenmessungen zur Feststellung der Bodenfestigkeit wurde bei allen Feldern verzichtet. Sie sind besonders bei Prüfungen auf Verdichtungen, wie Pflugsohlenbildungen, die bei allen Meliorationsfeldern gefunden wurden, wertvoll. Darüber wird aber gesondert berichtet [3].

FELD WETZHAUSEN MIT TIEFLOCKERUNG

Dies Feld stellt bodentypologisch einen Pelosol auf Gipskeuper in der Nähe von Schweinfurt, Bayern, dar [11] mit sehr hohem Tongehalt von 63%. Im Herbst 1967 wurde auf 70 cm tiefgelockert mit gleichzeitiger Tiefendüngung. Das Gefügebild vom April 1968 aus der Lockerungsfurche in 50 cm Tiefe zeigt eine ausgeprägte Aggregatstruktur, ganz im Gegensatz zur kompakten Struktur der 4 m danebenliegenden Parzelle ohne Lockerung (Abb. 6 rechts und links) Das Gesamtporenvolumen beträgt 64,4 Vol% (“gestört”) und 58,9 Vol% (“ungestört”), die Poren $> 10 \mu$: 32,1 Vol% und 14,8 Vol%; die Poren 10-0,2 μ : 7,6 Vol% und

9,1 Vol⁰/₀. Doch zeigten die weiteren Untersuchungen eine Tendenz zur Gefügeverschlechterung. Es wird sich nunmehr erfahrungsgemäß erst nach einigen Anlaufjahren herausstellen ob die Bodengefügeumbildung und -stabilisierung stattfand. Im hiesigen Institut übernahm Herr Dipl.-Landwirt Rojahn die weitere Untersuchung, der nicht vorgegriffen werden soll.

FELD FEHLHEIM MIT TIEFPFLÜGEN

Die Beobachtungsreihe wäre nicht vollständig ohne den Hinweis auf den Tiefpflug. So bewährte sich auf dem Fehlheimer Boden neben der wenig wirkenden Tieflockerung der ebenfalls 1964 durchgeführte Tiefumbruch. Wie die Gefügebilder aus dem Krumpfpflugbalken (Abb. 8 links) und aus dem Unterbodenbalken (Abb. 8 rechts) in einer Tiefe von 50 cm beweisen, ist nach 4 Jahren in den "toten" Boden doch etwas Leben durch das vollständigere Brechen und Mischen des Bodens hineingekommen. Die entsprechenden Gesamtporenvolumina sind 45,2 Vol⁰/₀ (Krumpfbalken) und 44,2 Vol⁰/₀ (Unterbodenbalken), entsprechend die Poren > 10 μ : 6,2 Vol⁰/₀ und 6,7 Vol⁰/₀; die Poren 10-0,2 μ : 11,1 Vol⁰/₀ und 7,9 Vol⁰/₀. Die Untersuchungen an Tiefpflugfeldern sind aber noch nicht abgeschlossen, es wäre verfrüht, jetzt schon zu urteilen.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Untersuchung von Meliorationsfeldern (Maulwurfdränung, Tiefenlockerung und Tiefpflügen) wurde die mikromorphologische Methode ausgebaut. Ihre Beobachtungsergebnisse werden anderen Untersuchungsergebnissen (bodenphysikalisch, bodenbiologisch) gegenübergestellt. Bei der Maulwurfdränung wird eine Eignung der Böden für diese Dränung mit folgenden Kennwerten festgestellt: 30-35⁰/₀ Ton, ein Ton-Schluff-Verhältnis von 1:2 und eine Plastizitätszahl von 13. Mit Einschränkungen gilt dies für die Tieflockerung. Doch wird diese Melioration mit zunehmendem Tongehalt fraglicher aufgrund fehlender Wühlarbeit von Bodentieren. Der Tiefpflug kann dann als Lösung angesehen werden, doch fehlen genügend Erfahrungen über eine größere Sequenz von Jahren.

Vorliegende Arbeit wurde mit Unterstützung seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, wofür an dieser Stelle gedankt wird.

LITERATUR

1. Borchert H., 1964. Mikromorphologische Beobachtungen an meliorierten Böden. In: Jongerius A., Soil Micromorphology. Elsevier Publishing Company, Amsterdam.

2. Borchert H., 1968. Über Erfahrungen bei der Bodenschliffherstellung für kulturtechnische Untersuchungen. II. Intern. Tagung zu Problemen der Schliffpräparation 1966. Zentrales Geol. Inst. Wiss.-Techn. Informationsdienst 9, 1, Berlin.
3. Borchert H., 1969. Über die Gefügeentwicklung verschiedener tiefgelockerter Böden. Symposium über die Tiefenbearbeitung des Bodens. Forschungsrat Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Gießen.
4. Czeratzki W., 1958. Eine keramische Platte zur serienmäßigen Untersuchung von Porengrößen im Boden im Spannungsbereich bis ca 1 Atm. Z. f. Pflzern., Dü., Bodkd. 81, 50.
5. Hartge K., 1961. Die Messung der Wasserpermeabilität an Stechzylinderproben. Z. f. Kulturtechnik 2, 2, 103-114.
6. Isermeyer H., 1952. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. Z. f. Pflzern. Dü. Bodkd. 96, 26-38.
7. Kmoch H. G., Hanus H., 1965. Vereinfachte Methodik und Auswertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft. Z. f. Pflzern. Dü. Bodkd. 111, 1-10.
8. Meimberg R., 1967. Die Auswirkung von Meliorationsmaßnahmen, insbesondere der Tiefenlockerung, auf bodenphysikalische Kennwerte staunasser Böden. Dissertation, Gießen.
9. Loebell R., 1955. Luftpyknometer. Verlag Wasser und Boden, Hamburg. Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen 4.
10. Mertin W., 1965. Bodenverbesserung durch Maulwurfdränung im Vogelsberg. Dissertation, Gießen.
11. Mückenhausen E., 1962. Entstehung, Eigenschaften, und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Verlag Kommentator in Frankfurt, Main.

Some years microscopic observations on pore changes in meliorated soils and their physical indicators

S u m m a r y

The last ten years in the G.F.R. the melioration of agricultural areas increased. The lastingness of different meliorations has been investigated since 1962 in a few meliorated fields at the "Institut für Landeskultur" of the University of Giessen.

The following meliorations are being carried out: earthmoledrainage, deep soil loosening and deep ploughing. The soils are lying on different geological material: loess, loess-basalt, shale and alluvial material. The soil-type primarily is pseudo-gley. The micromorphological investigations made with soil slides (50 cm²) extend on observations of aggregate-shapes, pore-forms, microerosion, clay-translocation, organic material, change of oxidation and reduction (iron-concretions). If possible the transformation of these factors will be investigated every year. These micromorphological observations will be compared with investigations of pore size distribution, permeability of water and air, soil-density (measuring-probe) and soil-fauna activity (CO₂-origin). •