

Zur Veränderung ökologischer Bodeneigenschaften durch unterschiedliche Bodenpflegemaßnahmen in einer Obstanlage

F. WELLER * (Teil I) und E. GEYGER ** (Teil II)

* *Universität Hohenheim, Forschungsstelle für Standortkunde im Bereich Agrarbiologie, Bavendorf, D.B.R.*

** *Universität Göttingen, Systematisch-Geobotanisches Institut, Göttingen, D.B.R.*

I. PROBLEMSTELLUNG UND BISHERIGE ERGEBNISSE ÖKOLOGISCHER UNTERSUCHUNGEN

Um den Indikatorwert mikromorphologischer und mikromorphometrischer Analysen für die ökologische Beurteilung bestimmter Bodenpflegemaßnahmen ermitteln zu können, erscheinen parallellaufende Untersuchungen des Pflanzenwachstums und der unmittelbar physiologisch wirksamen Faktoren, wie des Wärme-, Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushaltes, unerlässlich. Ein Bodenpflegeversuch an der Außenstelle Bavendorf des Instituts für Obstbau und Gemüsebau der Universität Hohenheim bot eine günstige Gelegenheit für derartige Parallel-Untersuchungen. Das Ziel dieses Versuches ist es, den Einfluß unterschiedlicher Bodenbehandlungsmaßnahmen auf die Wuchs- und Ertragsleistung von Apfelbäumen zu ermitteln. Darüberhinaus wird versucht, durch vergleichende Untersuchungen der Bodentemperatur, der Bodenfeuchtigkeit und des Stickstoffangebotes sowie der räumlichen Verteilung der Saugwurzeln im Boden zur Klärung der ursächlichen Zusammenhänge zwischen Bodenbehandlung und Leistung der Bäume beizutragen.

Außerdem werden mikromorphologische und mikromorphometrische Untersuchungen angestellt, über die anschließend Frl. Dr. E. Geýger berichten wird. Um den Rahmen zu umreißen, in dem diese Untersuchungen stattfinden, sei zunächst eine kurze Charakterisierung des Gesamtversuches und eine knappe Besprechung der wichtigsten Ergebnisse der bisherigen ökologischen Untersuchungen vorangestellt.

VERSUCHSANLAGE

Der Versuch wurde 1960 auf dem Versuchsgelände der Außenstelle Bavendorf im nordöstlichen Bodenseegebiet in Südwest-Deutschland angelegt (Jahresdurchschnittstemperatur ca. 8°C, mittlere jährliche Niederschlagssumme 950 mm mit einem ausgeprägten Sommermaximum). Er

umfaßt eine Fläche von 2 ha, die vorher als Wiese genutzt wurde. Der Boden ist eine mäßig saure Pseudogley-Parabraunerde geringer Entkalkungstiefe aus tonig-lehmiger Würm-Grundmoräne mit einem Schluffanteil von 50-60%. Gepflanzt wurden drei verschiedene Apfelsorten (Golden Delicious, Goldparmäne, Roter Boskoop) auf der vegetativ vermehrten Unterlage M XI im Abstand 5×7 m.

Von den insgesamt im Vergleich stehenden zwölf Bodenbehandlungsverfahren wählten wir für die genaueren Untersuchungen vier aus, die sich besonders stark voneinander unterscheiden. Dabei wurden folgende Bodenbehandlungen berücksichtigt: (1) Mechanisch offen gehaltener Boden mit Einsaat von Gründüngung im Spätsommer; (2) Ständige Strohbedeckung ohne Umbruch; (3) Dauerrasen gemulcht (8 bis 10 Schnitte pro Jahr, Belassen des geschnittenen Grases auf der Fläche); (4) Dauerrasen genutzt (4 bis 5 Schnitte pro Jahr, Entfernung des geschnittenen Grases). Die Bäume erhalten eine einheitliche Düngung von 150 kg N, 90 kg P₂O₅ und 200 kg K₂O pro Hektar und Jahr.

ERTRAGSLEISTUNG DER BÄUME

Die Ertragsleistung der Apfelbäume wurde durch die Art der Bodenbehandlung in starkem Maße beeinflußt. Alle drei Sorten erbrachten bis jetzt bei Strohbedeckung die höchsten Erntemengen. An zweiter Stelle folgt der offen gehaltene Boden, an dritter der gemulchte Rasen. Mit Abstand am schlechtesten waren die Erträge im genutzten Rasen; die Sorten Golden Delicious und Roter Boskoop erreichten hier nicht einmal die Hälfte der Erntemenge bei Strohbedeckung (Tab. 1).

Sehr wahrscheinlich spielt bei dieser starken Ertragsdepression der mit der Entnahme des geschnittenen Grases verbundene ständige Entzug von leicht verfügbaren Nährstoffen eine entscheidende Rolle. Beim gemulchten Rasen entfällt dieser Gesichtspunkt jedoch. Trotzdem ist auch hier die Ertragsleistung gegenüber der im offen gehaltenen oder strohbedeckten Boden noch deutlich gemindert, wenn auch in geringerem Maße. Es liegt nahe, eine wesentliche Ursache für diese Ertragsminderung in der Konkurrenzwirkung der Pflanzen des Rasens zu suchen. Diese Pflanzen produzierten beispielsweise im Jahr 1967 allein an den beim

Tabelle 1. Durchschnittliche Erntemengen in den verglichenen Parzellen (Summen aus dem 4. bis 9. Standjahr in dz/ha)

Sorte	Bodenbehandlung			
	offener Boden	Strohmulch	Rasen gemulcht	Rasen genutzt
Golden Delicious	1050	1195	990	495
Roter Boskoop	1224	1390	992	515
Goldparmäne	844	881	724	555

Mähen erfaßten oberirdischen Teilen im gemulchten Rasen 89 dz, im genutzten Rasen 87 dz Trockensubstanz zusätzlich pro ha. Für die Ertragsunterschiede zwischen offen gehaltenem und strohbedecktem Boden scheidet diese Ursache jedoch aus. Dies weist darauf hin, daß noch andere Faktoren, die durch die Art der Bodenbehandlung modifiziert werden, von Bedeutung sein müssen. Sie zu ergründen, ist das Ziel aller Untersuchungen, über die im folgenden kurz berichtet wird.

BODENTEMPERATUR

Registrierende Messungen der Bodentemperatur in 10 und 25 cm Tiefe ergaben, daß dieser wichtige ökologische Faktor durch die Bodenbehandlung deutlich beeinflußt wird [10]. Die Bedeckung der Bodenoberfläche durch Rasen oder Stroh verringerte vor allem die täglichen und jährlichen Extremwerte im Vergleich zu offen gehaltenem Boden, wobei die

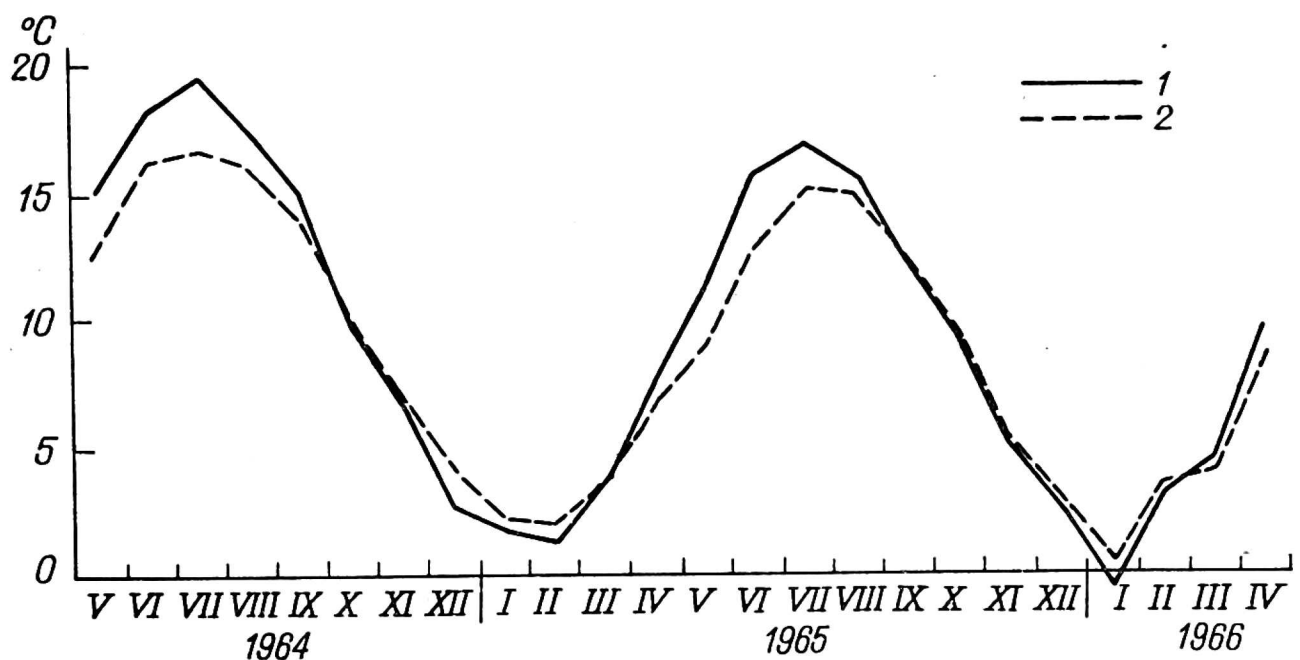


Abb. 1. Monatsmittel der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe. 1 — in unbedecktem Boden, 2 — unter Strohbdeckung.

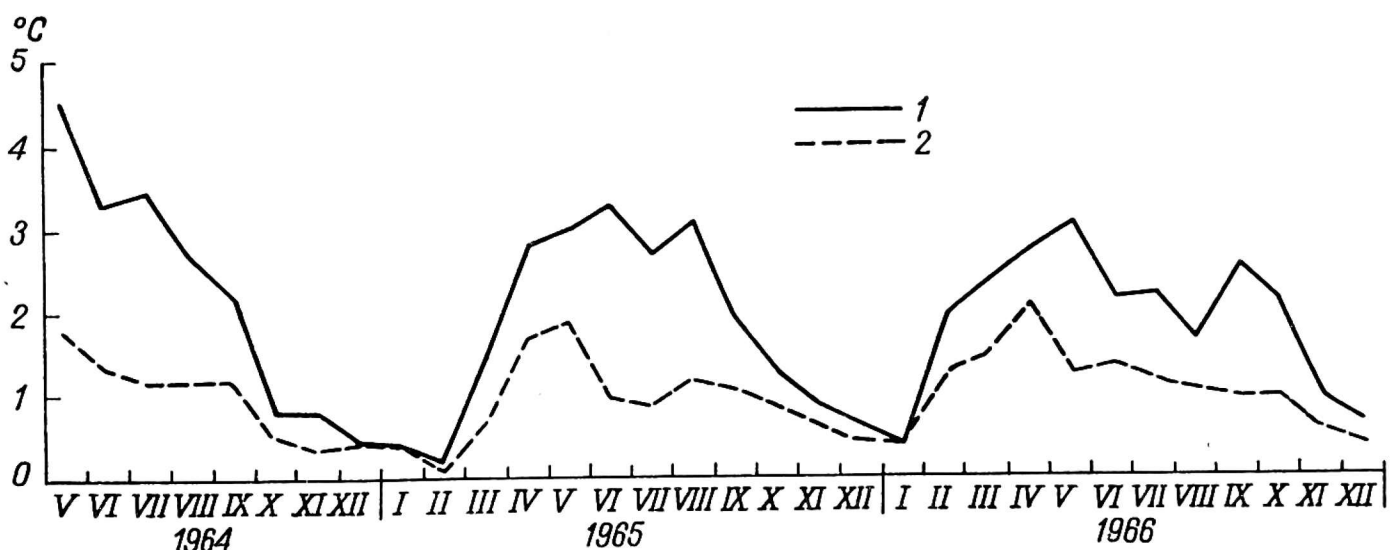


Abb. 2. Monatsmittel der täglichen Schwankung der Bodentemperatur in 10 cm Tiefe. 1 — in unbedecktem Boden, 2 — unter Strohbdeckung.

Strohdecke stärker wirkte als Rasen. Der größte in 10 cm Tiefe an strahlungsreichen Tagen kurzfristig beobachtete Temperaturunterschied zwischen offenem und strohbedecktem Boden betrug $7,5^{\circ}\text{C}$. Auch in den Monatsmitteln drückte sich der Einfluß deutlich aus; sie lagen unter Stroh in den Sommermonaten um $1-2^{\circ}$, vereinzelt sogar bis 3°C tiefer als im offenen Boden, im Winter dagegen bis über 1°C höher (Abb. 1). Die Verringerung des Monatsmittels der täglichen Schwankungen der Bodentemperatur durch die Strohbedeckung betrug im Sommer nicht selten bis über 60 Prozent von derjenigen im offenen Boden (Abb. 2).

BODENFEUCHTIGKEIT

Der Wassergehalt des Oberbodens wurde in Abständen von drei Wochen gravimetrisch bestimmt und mit Hilfe des Trockenraumgewichtes des Bodens in Volumprozent umgerechnet. Die Proben wurden zunächst aus 5-15 cm Tiefe entnommen, später zusätzlich auch aus 0-5 cm. Ab Ende 1966 beschränkten wir uns auf die obersten 5 cm, da hier die Unterschiede am deutlichsten hervortraten. In diesem Bereich war der offene Boden fast immer am trockensten, während der strohbedeckte Boden im Durchschnitt den höchsten Wassergehalt aufwies (Abb. 3). In 5-15 cm Tiefe waren die Unterschiede geringer (Abb. 4). Während niederschlagsarmer Perioden enthielt der Boden auch in dieser Tiefe unter Stroh ver-

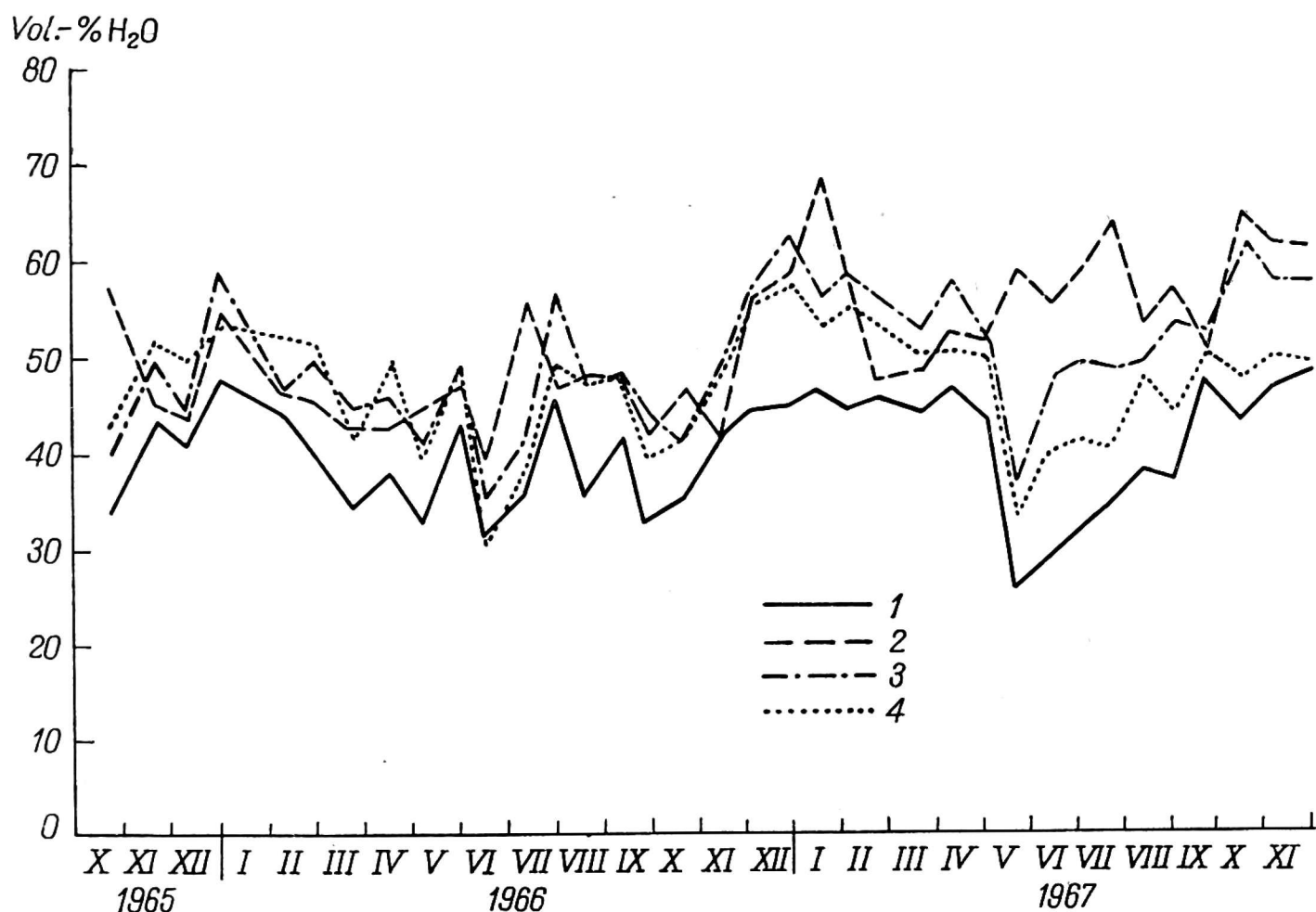


Abb. 3. Wassergehalt des Bodens in 0-5 cm Tiefe. 1 — offener Boden, 2 — Strohmulch, 3 — Rasen gemulcht, 4 — Rasen genutzt.

gleichsweise mehr Wasser als in den übrigen Parzellen, während niederschlagsreicher Perioden lag dagegen der Wassergehalt in der Regel unter genutztem Rasen am höchsten. Nur im niederschlagsarmen Sommer 1964 trocknete der Boden unter beiden Rasenbehandlungen für längere Zeit stärker aus als der offen gehaltene.

Bei der Beurteilung des Wassergehaltes für die Wasserversorgung der Pflanzen ist zu berücksichtigen, daß durch die unterschiedliche Behandlung des Bodens auch dessen Wasserbindungsintensität und damit der Anteil an totem Wasser verändert wurde. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht,

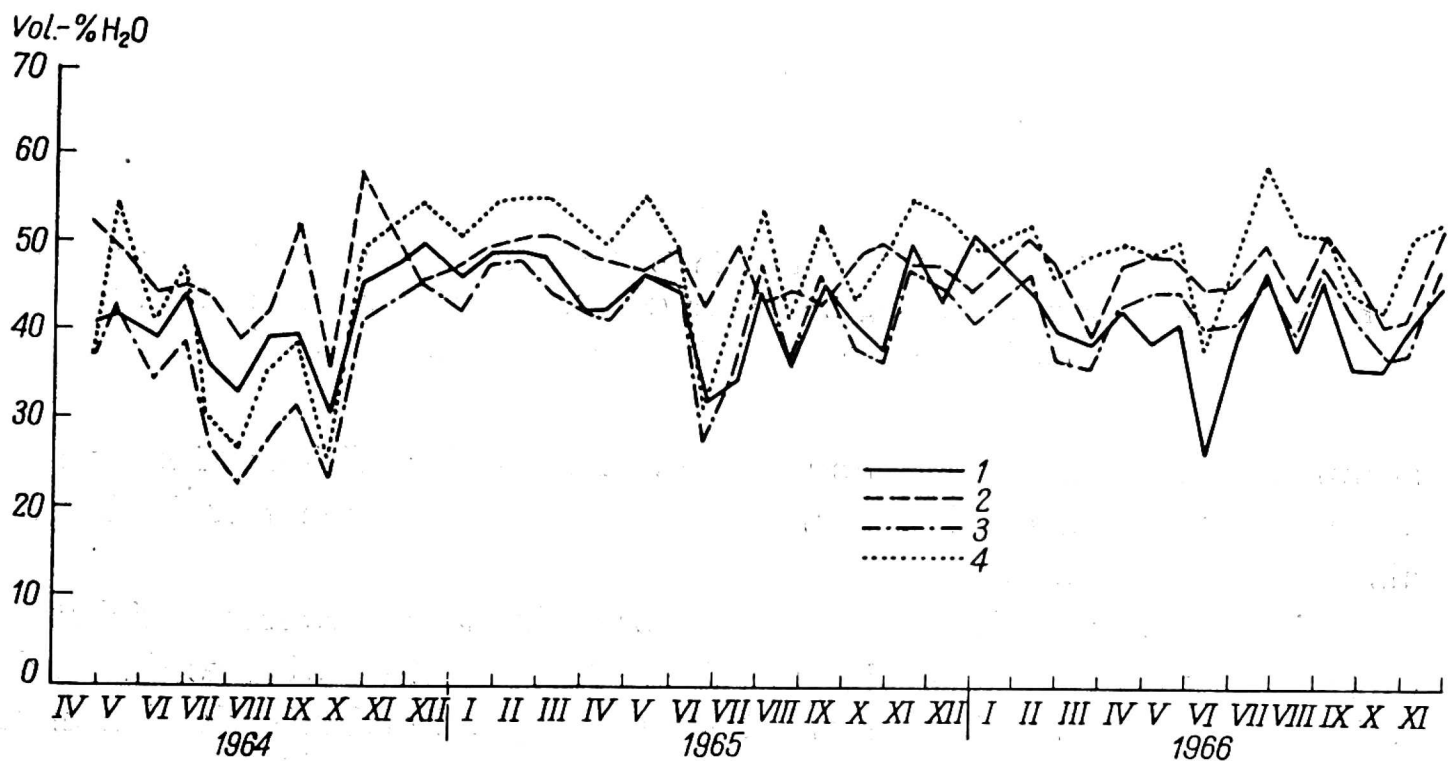


Abb. 4. Wassergehalt des Bodens in 5-15 cm Tiefe. 1 — offener Boden, 2 — Strohmulch, 3 — Rasen gemulcht, 4 — Rasen genutzt.

ist dieser Anteil in den obersten 5 cm beim offenen Boden am geringsten. Dementsprechend ist dessen Gehalt an verfügbarem Wasser im Vergleich zu den anderen Parzellen weniger ungünstig zu beurteilen, als es nach den Werten des Gesamtwassergehaltes in Abbildung 3 zunächst erscheint. Umgekehrt hat der Boden unter Strohmulch und unter genutztem Rasen in 8-12 cm Tiefe einen besonders hohen Totwassergehalt. Das bedeutet, daß diese beiden Behandlungen trotz ihrem gegenüber den anderen Parzellen häufig höheren Gesamtwassergehalt (Abb. 4) in dieser Tiefe hinsichtlich des verfügbaren Wassers im Durchschnitt nicht günstiger abschneiden.

STICKSTOFFANGEBOT DES BODENS

Zur Beurteilung des Angebotes und des Nachlieferungsvermögens an mineralischem Stickstoff wurde der Nitratstickstoffgehalt von Bodenproben unmittelbar nach der Probenahme sowie nach einer anschließenden sechswöchigen Bebrütung mit Hilfe der 2,4-Xylenol-Methode be-

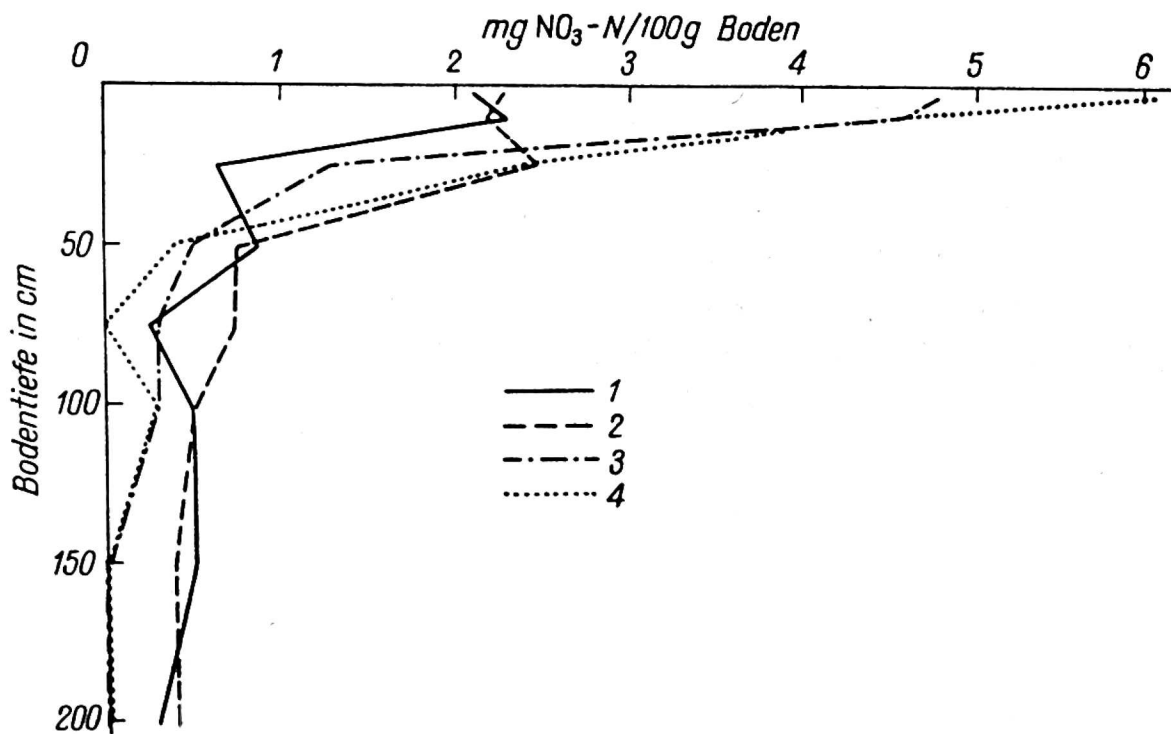


Abb. 5. Nitratstickstoff-Akkumulation in Bodenproben aus verschiedener Tiefe nach sechswöchiger Bebrütung im Labor (20°C). 1 — offener Boden, 2 — Strohmulch, 3 — Rasen gemulcht, 4 — Rasen genutzt.

stimmt. Auf eine Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs konnte verzichtet werden, da dieser in den vorliegenden Böden nur in Spuren als Zwischenprodukt auftritt.

Bei allen vier Bodenbehandlungen war ein nennenswertes Stickstoffangebot nur im Oberboden festzustellen (Abb. 5). Hier wird es durch die Art der Bodenbehandlung stark beeinflusst [9]. Fortlaufende Untersuchungen im Abstand von drei Wochen ließen zwischen den verschiedenen behandelten Parzellen teilweise erhebliche Unterschiede erkennen. Im Durchschnitt war die Nitratstickstoff-Akkumulation während der sechswöchigen Bebrütung unter beiden Rasenbehandlungen deutlich höher als im offenen oder strohbedeckten Boden (Abb. 6). Der aktuelle Nitratstickstoff-Gehalt des Bodens bei der Probenahme lag allerdings unter genutztem Rasen ebenso wie der im offenen und strohbedeckten Boden in der Regel deutlich tiefer als derjenige unter gemulchtem Rasen (Abb. 7).

SAUGWURZELVERTEILUNG

Um eine Vorstellung von der Anpassung der Wurzelverteilung an die unterschiedlichen Bodenbehandlungen zu erhalten, entnahmen wir im Juni 1966 bei einigen Bäumen in 150 cm Entfernung vom Stamm Bodenproben in Stufen von 10 cm bis zu einer Maximaltiefe von 200 cm und ermittelten die Zahl der darin enthaltenen unverkorkten Wurzelspitzen [8]. Dabei ergab sich, daß der Oberboden sowohl in den offenen, nur sehr flach bearbeiteten, als auch in den strohbedeckten Parzellen dichter mit Saugwurzeln durchsetzt war als in den Rasenparzellen. Eine beson-

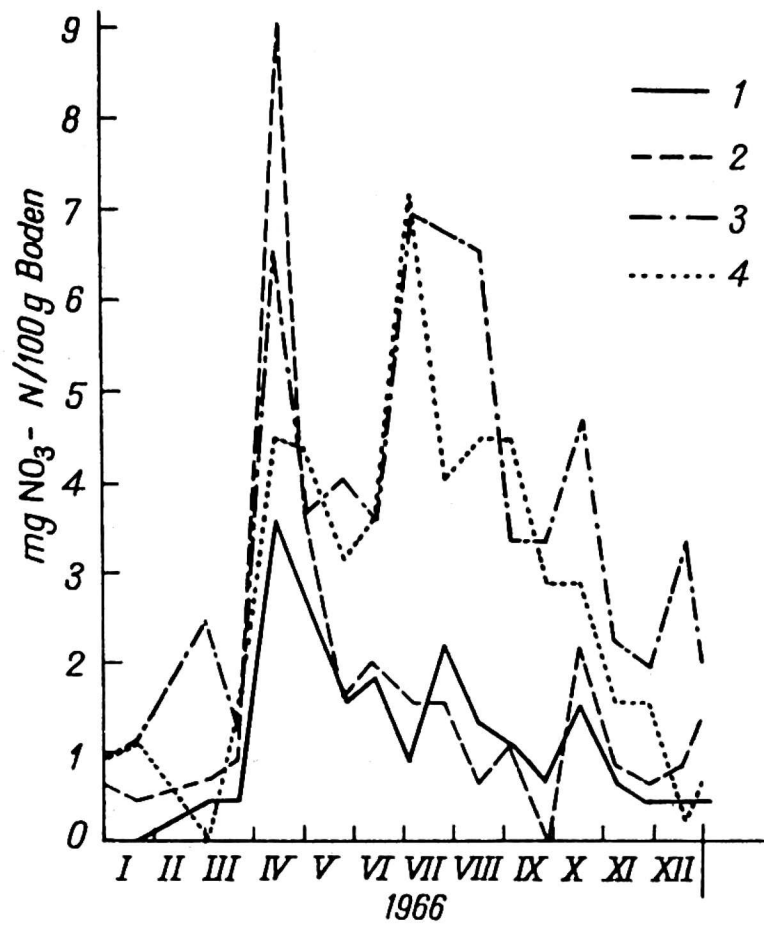


Abb. 6. Jahresgang der Nitratstickstoff-Akkumulation in 0-5 cm Tiefe bei Bebrütung am Standort. 1—offener Boden, 2—Strohmulch, 3—Rasen gemulcht, 4—Rasen genutzt.

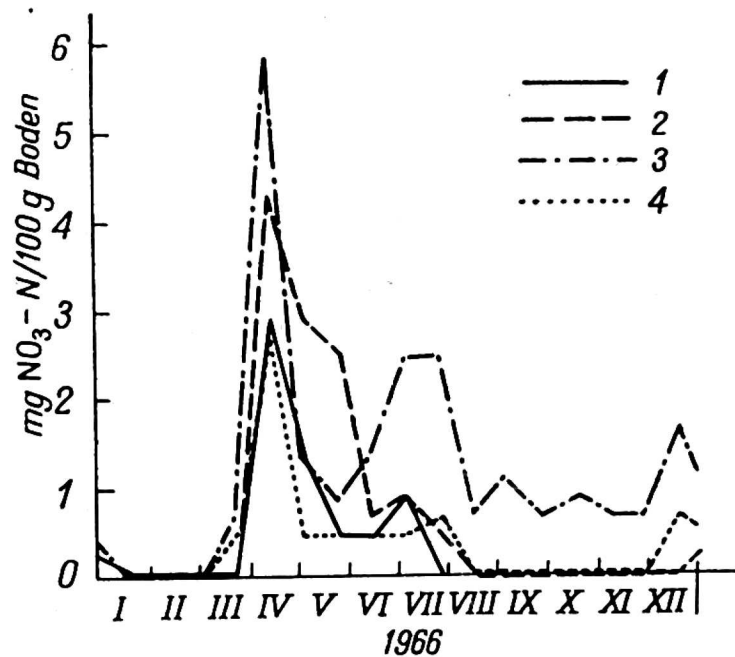


Abb. 7. Jahresgang des aktuellen Nitratstickstoff-Gehaltes des Bodens in 0-5 cm Tiefe. 1—offener Boden, 2—Strohmulch, 3—Rasen gemulcht, 4—Rasen genutzt.

ders starke Anreicherung von Saugwurzeln im Oberboden wurde unter Strohmulch gefunden, während der Untergrund hier schlechter als in den übrigen Parzellen durchwurzelt war. Unter 150 cm fanden sich in dem dichtgelagerten Geschiebemergel in allen Behandlungen nur noch vereinzelte Saugwurzeln (Abb. 8).

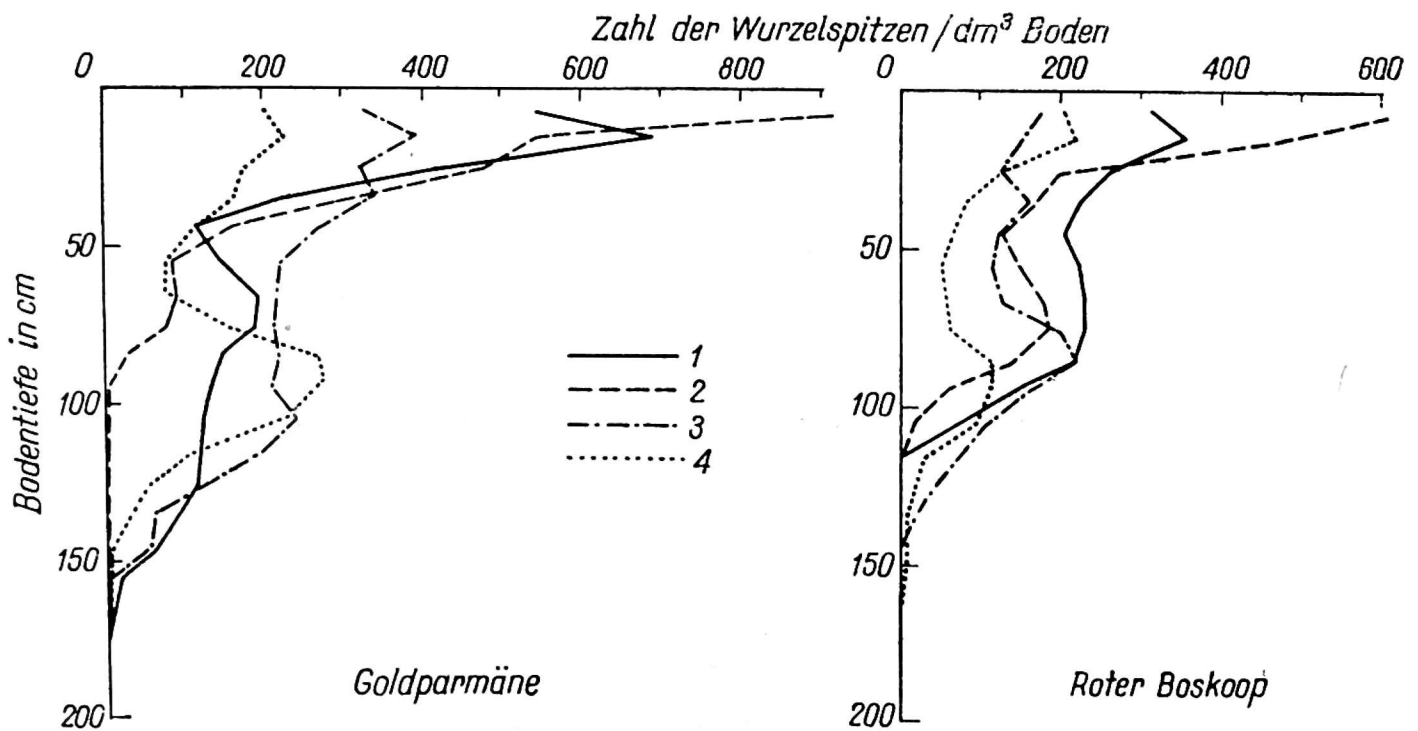


Abb. 8. Vertikale Verteilung der Saugwurzeln von Apfelbäumen in 150 cm Entfernung vom Stamm. 1 — offener Boden, 2 — Strohmulch, 3 — Rasen gemulcht, 4 — Rasen genutzt.

Die starke Zusammendrängung von Saugwurzeln auf die obersten Bodenhorizonte unter Strohmulch ist möglicherweise eine Folge schlechter Bodendurchlüftung. Spezielle Untersuchungen über die Bodendurchlüftung stehen allerdings noch aus, doch läßt eine vielfach blauschwarze, an der Luft verschwindende Verfärbung des Oberbodens unter der Strohecke auf eine schlechtere Sauerstoffversorgung schließen.

FOLGERUNGEN

Überblickt man die mitgeteilten Ergebnisse, so zeigt sich, daß alle untersuchten physiologisch wirksamen Faktoren durch die Art der Bodenpflege mehr oder weniger stark verändert wurden und daß auch die von diesen Faktoren beeinflusste Saugwurzelveilung deutliche Unterschiede aufweist. Außerordentlich schwierig ist es jedoch, zu entscheiden, ob die Leistungsunterschiede der Bäume auf die Unterschiede der erfaßten Faktoren zurückgehen und welcher Faktor dabei die wichtigste Rolle spielt. Am ehesten scheint der Ertragsunterschied zwischen den beiden Rasenparzellen erklärlich. Hier weist der starke Unterschied im aktuellen Nitratstickstoffgehalt des Bodens darauf hin, daß — wie bereits einleitend angedeutet — die Stickstoffversorgung der Bäume im genutzten Rasen wesentlich geringer sein dürfte als im gemulchten Rasen, was auch durch die Ergebnisse von Blattanalysen bestätigt werden konnte.

Wie im genutzten Rasen war das Stickstoffangebot des Bodens auch in den rasenfreien Parzellen deutlich geringer als im gemulchten Rasen. Trotzdem war die Ertragsleistung der Bäume hier aber höher. Dies ist — wie bereits gesagt — vermutlich eine Folge der fehlenden Wurzelkonkurrenz durch die Gräser. Möglicherweise ist durch diese Wurzelkonkur-

renz die geringere Saugwurzeldichte der Bäume im Oberboden der Rasenparzellen bedingt. Diese geringere Saugwurzeldichte ist ökologisch vor allem deshalb von Bedeutung, weil der Oberboden im Vergleich zu den tieferen Bodenhorizonten wesentlich reicher an verfügbaren Nährstoffen ist. Somit dürften die Bäume in den rasenfreien Parzellen die Nährstoffe des Oberbodens besser ausnutzen als in den Rasenparzellen, wo außerdem zusätzlich noch ein Nährstoffentzug durch die Wurzeln der Gräser und Kräuter erfolgt.

Es ist denkbar, daß auch der im Vergleich zum offenen Boden noch deutlich höhere Ertrag in den strohbedeckten Parzellen durch die hier besonders intensive Durchwurzelung der obersten Zentimeter des Bodens bedingt ist. Als weitere fördernde Momente könnten wirken, daß der Wassergehalt gerade in diesem Bereich unter der Strohdecke meist deutlich höher als im offenen Boden ist und daß außerdem die Bodentemperatur im Winter etwas höher liegt und damit noch eine Wurzelaktivität ermöglicht zu einer Zeit, die für die Ausbildung der Blüten in der folgenden Vegetationsperiode besonders wichtig ist.

Alle diese Überlegungen können allerdings zunächst nur hypothetischer Art sein. Zur weiteren Klärung sind zusätzliche Untersuchungen notwendig. Hier setzt nun unsere Frage an die Mikromorphologie an, ob sie uns durch ihre integrierende Betrachtung zusätzliche Bestätigungen unserer Überlegungen geben bzw. neue Gesichtspunkte aufzeigen kann. Daß die Struktur des Bodens durch die unterschiedliche Behandlung stark verändert worden ist, zeigt sich schon makroskopisch. Während der Oberboden in den Rasenparzellen gut gekrümelt erscheint, ist er bei offen gehaltenem Boden gröber bröckelig, unter Stroh dagegen meist breiig-schmierig, schrumpft hier aber bei stärkerer Austrocknung stark zusammen und bildet dann große, bis 5 cm breite Risse. Bodenphysikalische Untersuchungen, die freundlicherweise vom Bodenlabor der Abteilung Wasserwirtschaft des Regierungspräsidiums Nordwürttemberg durchgeführt wurden, lassen ebenfalls deutliche Unterschiede im Oberboden der unterschiedlich behandelten Parzellen erkennen. So ist beispielsweise das Porenvolumen unter genutztem Rasen und unter Strohmulch größer (59-63%) als unter Mulchrasen und in offenem Boden (50-54%). Parallel dazu ist auch der Gehalt an organischer Substanz unter genutztem Rasen

Tabelle 2. Wassergehalt beim sog. permanenten Welkepunkt ($pF = 4,2$) in den verglichenen Parzellen (Vol. %)

Tiefe	Bodenbehandlung			
	offener Boden	Strohmulch	Rasen gemulcht	Rasen genutzt
1-5 cm	19,4	24,4	24,6	27,6
8-12 cm	22,4	26,0	20,4	26,9

und Strohmulch höher als in den anderen Parzellen. Wie bereits erwähnt, wird unter diesen Behandlungen auch das Wasser stärker gebunden (vergl. Tab. 2). Doch wird darauf Fräulein Dr. Geýger anschließend in ihrem Beitrag noch näher eingehen.

ZUSAMMENFASSUNG VON TEIL I

In einer Apfelpflanzung im östlichen Bodenseegebiet (Südwestdeutschland) auf Pseudogley-Parabraunerde geringer Entkalkungstiefe aus tonig-lehmiger Würm-Grundmoräne wurde Anfang 1960 ein Bodenpflegeversuch angelegt, bei dem der Einfluß unterschiedlicher Bodenbehandlung auf die Leistung der Obstbäume untersucht wird. Es ergaben sich starke Ertragsunterschiede zwischen Parzellen mit mechanisch offen gehaltenem, strohbedecktem und rasenbewachsenem Boden. Vergleichende Untersuchungen einiger physiologisch wirksamer Faktoren, wie Bodentemperatur, Bodenfeuchtigkeit und Stickstoffangebot sowie der mit diesen Standortsfaktoren in enger Beziehung stehenden Saugwurzelverteilung und Bodenstruktur sollen zur Klärung der Ursachen der beobachteten Ertragsunterschiede beitragen. Die bisherigen Ergebnisse sind folgende:

Die Bodentemperatur war im Sommer unter Stroh am niedrigsten, unter offengehaltenem Boden am höchsten; im Winter dagegen umgekehrt unter Stroh am höchsten, unter offenem Boden am niedrigsten. Die rasenbewachsenen Parzellen nahmen eine Mittelstellung ein. Insgesamt waren die Tages- und Jahresschwankungen unter Rasen und vor allem unter Stroh deutlich geringer als im offen gehaltenen Boden.

Der Gesamt-Wassergehalt und die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers im Oberboden waren häufig unter der Strohbedeckung am höchsten, im offenen Boden dagegen am niedrigsten. Diese Unterschiede zeigten sich in den obersten 5 cm besonders deutlich.

Die Nitratsnachlieferung war unter den Rasenparzellen deutlich stärker. Trotzdem waren die Obstbäume hier infolge der Konkurrenz der Gräser häufig schlechter mit Stickstoff versorgt als in den übrigen Parzellen.

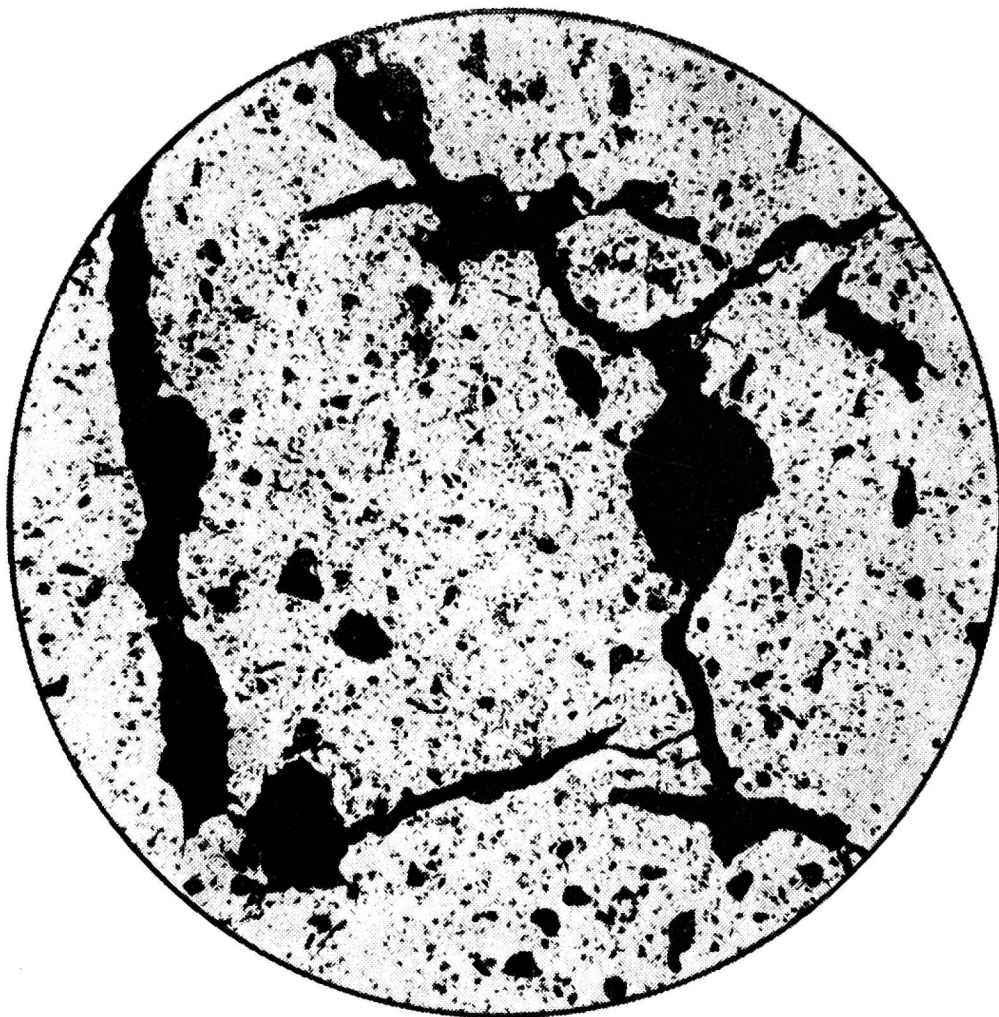
Die Rasenparzellen waren im Oberboden von Saugwurzeln der Apfelbäume weniger stark durchsetzt als die strohbedeckten und die offen gehaltenen Parzellen, sowohl absolut als auch im Vergleich zu den tieferen Horizonten. Eine besonders starke Anreicherung von Saugwurzeln im Oberboden wurde unter Strohmulch gefunden, während der Untergrund hier schlechter durchwurzelt war als in den übrigen Parzellen.

II. MIKROMORPHOLOGISCHE UND MIKROMORPHOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

Herr Dr. Weller hat über seine Untersuchungsergebnisse berichtet, die vor allem physikalische und chemische Bodenfaktoren betrafen. Wenn außerdem die *Mikromorphologie* der Böden untersucht wurde, so hat das

auch in diesem Bodenpflegeversuch — der allerdings vor allem auf die Ertragsleistung der Obstbäume ausgerichtet ist — seine guten Gründe. Durch die Anwendung der mikromorphometrischen Untersuchungsmethoden hat sich schon mehrfach gezeigt [1, 2, 6], daß die Bodenstruktur relativ schnell auf Veränderungen der Umweltbedingungen anspricht.

Durch die unterschiedlichen Maßnahmen der hier beschriebenen Versuche wurde nur in einem Falle unmittelbar auf die Struktur eingewirkt: bei den mechanisch immer wieder offen gehaltenen Parzellen. Das führte bei dem schluff- und tonreichen Bodenmaterial zu einer Struktur mit oft geradlinigen, meist glattwandigen Rissen, die im Extremfall glattflächige Bröckel absonderten. Dies dürfte durch die sommerliche Austrocknung und die winterliche Frosteinwirkung auf den offenen Boden gefördert worden sein (Abb. 9). Selbst gelegentliche Regenwurmlosungen (Abb. 10) waren glattflächig und im Innern fast hohlraumfrei.



5mm

Abb. 9. Strukturphotogramm aus 50 cm Tiefe unter offenem Boden.

Bei den anderen Parzellen wurde die Strukturbildung auf dem Umweg über die größere Aktivität der Bodenfauna beeinflusst. Die Bodenkleintiere fanden durch die organische Auflage reichlich Nahrung vor, außerdem waren die Temperaturen und die Feuchtigkeitsverhältnisse im Jahresverlauf ausgeglichener als in den offen gehaltenen Parzellen. Beides zusam-

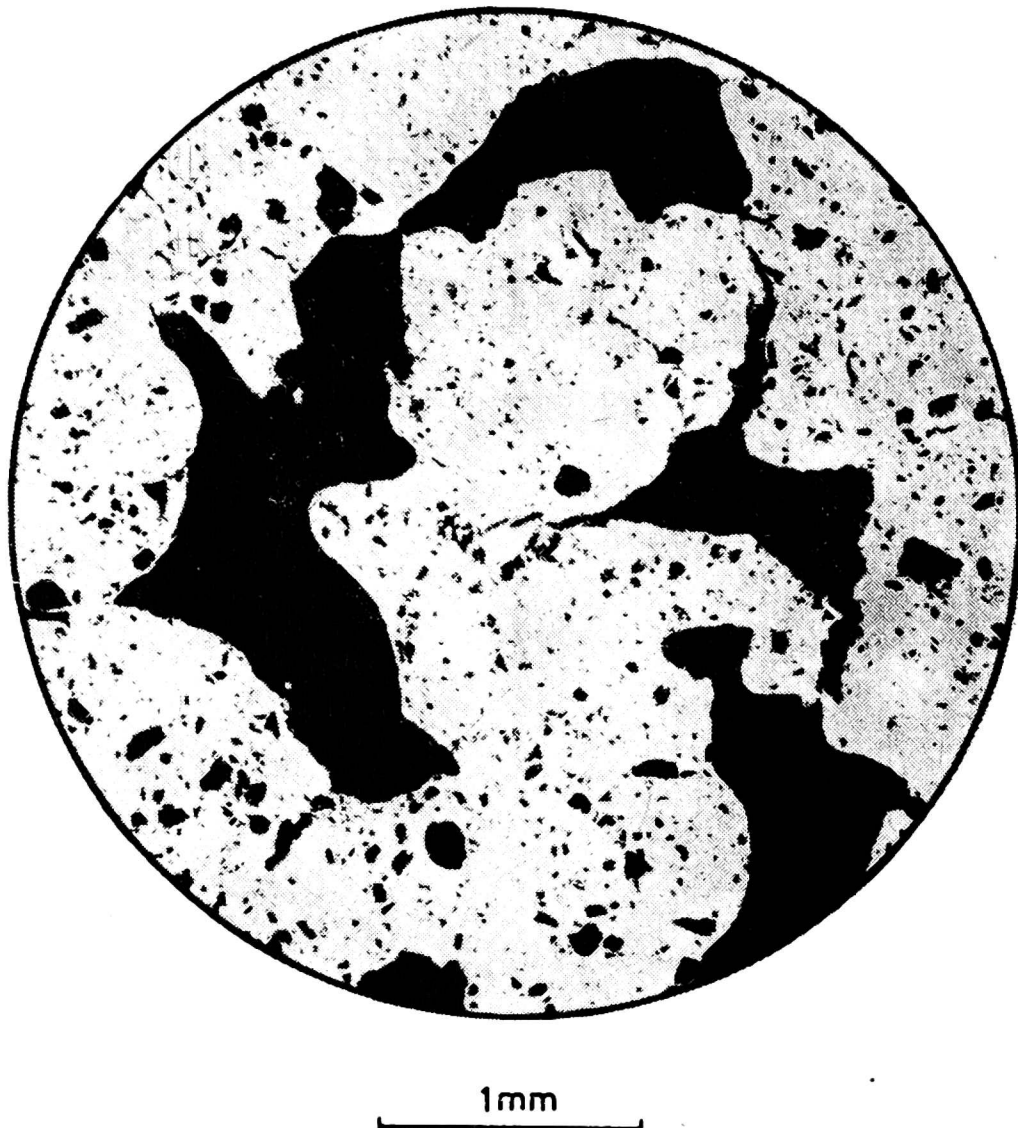


Abb. 10. Strukturphotogramm aus 12 cm Tiefe unter offenem Boden.

men schuf so günstige Umweltbedingungen für die Bodentiere, daß sich schon in dem kurzen Versuchszeitraum von 6 Jahren die Struktur vor allem in den oberen Bodenhorizonten erheblich verändert hatte. Im folgenden werden typische Strukturbilder des Oberbodens unter organischer Bedeckung gezeigt, die als repräsentativ aus großen Serien von Strukturphotogrammen ausgewählt wurden.

Sehr auffällig war die Bildung eines Feinschwammgefüges in dem weichen und infolge großer und langdauernder Feuchtigkeit sehr plastischen Boden unter Strohmulch. Die Regenwürmer haben hier durch ihre Tätigkeit ein System von krummlinigen, glatt- bis rauhwandigen Höhlungen geschaffen, das nur stellenweise von schmalen Schrumpfrissen ergänzt wurde (Abb. 11). Die makroskopisch beobachtete Bildung großer Trockenrisse bei gelegentlicher starker sommerlicher Austrocknung setzte sich also nicht bis in die Feinstruktur fort. Auch die Bodenschicht unmittelbar unter der Strohbedeckung war durch die Regenwürmer stark verändert: hier wurde Mineralboden in horizontalen Feinlagen zwischen die Strohreste eingebaut (Abb. 12).

Unter Rasenbedeckung fiel vor allem der Reichtum an Feinwurzeln auf, mit denen gleichzeitig ein System von "Luftkanälen" den Boden

durchzog. Im Bereich der Wurzeln waren größere vielgestaltige Höhlungen ausgebildet, in denen Kleintierlosung verschiedenster Größe abgelagert wurde (Abb. 13). Unverkennbar war auch hier die formbildende Tätigkeit der Regenwürmer, die zu einem reichgegliederten Schwammgefüge geführt hat (Abb. 14).

In größerer Tiefe war die Struktur dann in allen Parzellen ähnlich, sie zeigte den Pseudogleycharakter des Gefüges mit wenigen schmalen, glattwandigen Schwundrissen zwischen großen Komplexen fester Bodensubstanz.

MIKROMORPHOMETRIE

Die unterschiedliche Auflockerung der Grobstruktur durch das Bodenleben läßt sich quantitativ zunächst mit der Messung der inneren Oberfläche der Bodenstruktur erfassen [4, 5]. Wir verstehen darunter die Grenzflächen zwischen Hohlräumen (über 30 μ m Breite) und fester Substanz. In den untersuchten Profilen wurden die höchsten Werte, nämlich $32 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ Bodenvolumen, in den obersten Horizonten unter Rasenmulch erreicht. Das Profil unter Rasennutzung hatte durchgehend hohe Werte ($20\text{-}30 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$), während sie unter offen gehaltenem Boden am niedrigsten lagen ($8\text{-}12 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$).

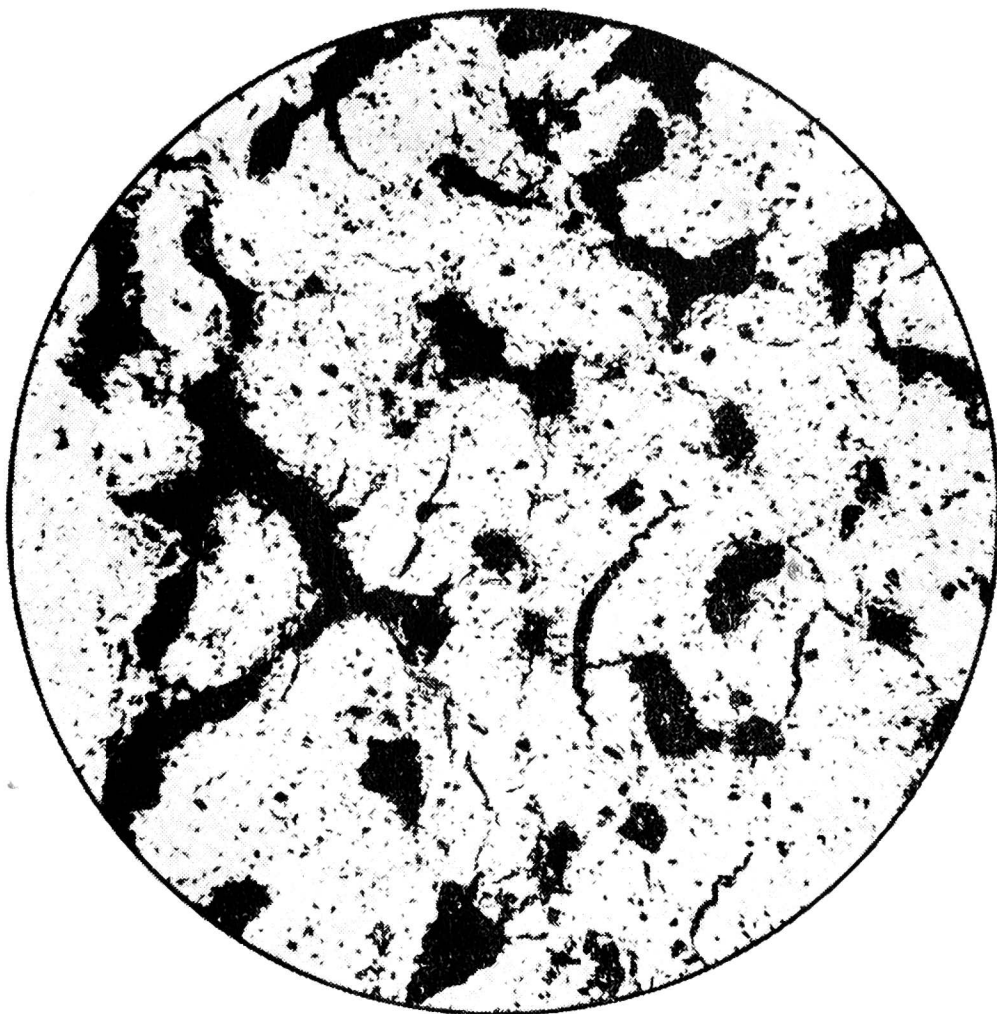


Abb. 11. Strukturphotogramm aus 12 cm Tiefe unter Strohmulch.



Abb. 12. Strukturphotogramm aus 2 cm Tiefe unter Strohmulch.

Sehr viel differenzierter kann das Porengefüge erfaßt werden, wenn man das Hohlraumgrößenspektrum quantitativ ermittelt. Hierzu wurden die Ergebnisse der mikromorphometrischen Messungen an Strukturphotogrammen 50:1 mit dem Teilchengrößenanalysator [5, 6] mit denen der pF-Bestimmungen kombiniert.

Abb. 15 zeigt in graphischer Darstellung die Ergebnisse der Hohlraumgrößensmessungen und gleichzeitig die der Korngrößenanalyse nach Casagrande, die freundlicherweise vom Bodenlabor der Abteilung Wasserwirtschaft des Regierungspräsidiums Nordwürttemberg für uns durchgeführt wurde.

Die Diagramme zeigen in Prozent des Bodenvolumens von links nach rechts: Ton, Schluff, Sand; Feinporen (unter 0,2 my), Mittelporen (0,2-8 my), langsam dränende Grobporen (8-45 my) und schnell dränende Grobporen (über 45 my) [7]. In jedem Profil wurden Proben aus den Tiefen 1-5 cm, 8-12 cm, 28-32 cm und 48-52 cm quantitativ ausgewertet.

Das erste Profil betrifft den offenen Boden. Er enthält zwar, von oben nach unten abnehmend, 20-14% Grobporen, ist aber gegenüber allen andern Profilen durchgehend ärmer an Mittelporen. Der Tonanteil ist in allen Tiefen ungefähr gleich groß (ca. 12%), ebenfalls der Schluffanteil (ca. 25%). Der Sandanteil nimmt in 35-45 cm Tiefe merklich zu.

Das Profil unter Strohmulch hat durchgehend etwa 10% mehr Hohlräume, und zwar sind vorwiegend die Mittelporen erhöht. Das Profil unter Rasenmulch liegt bezüglich seines Hohlraumgefüges zwischen dem offenen Boden und den Strohmulchparzellen; das unter genutztem Rasen ist in den oberen 35 cm noch hohlraumreicher als das unter Strohmulch,

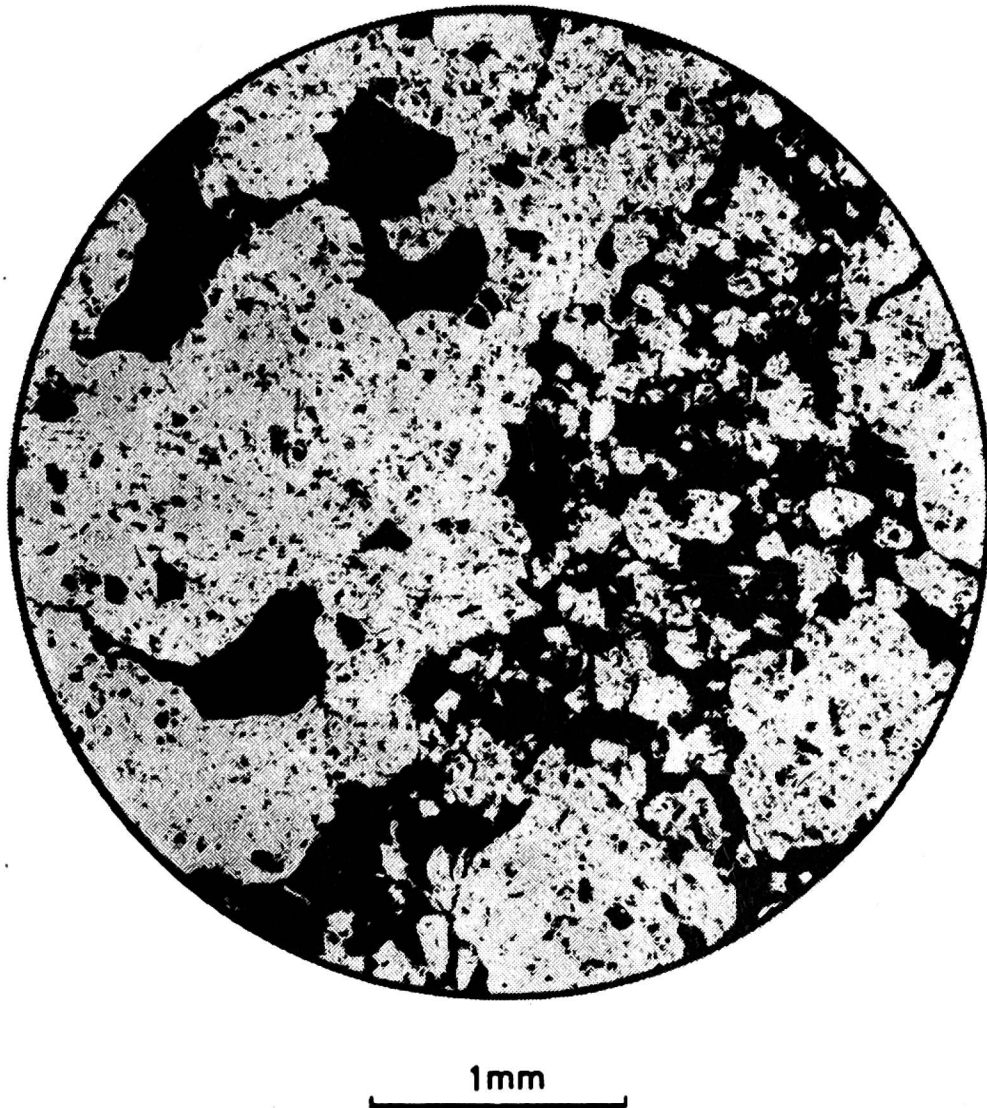


Abb. 13. Strukturphotogramm aus 3 cm Tiefe unter Rasen.

ab 45 cm Tiefe enthält das Profil unter Rasennutzung aber einen hohen Tonanteil (23% des Bodenvolumens); hier ist auch der Anteil an Grobporen (mit nur 4%) sehr gering.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Aus den mikromorphologischen und mikromorphometrischen Untersuchungsergebnissen gewinnen wir auf dem Umwege über die Bodenstruktur wertvolle Aufschlüsse über die unmittelbar auf das Pflanzenwachstum einwirkenden Standortsfaktoren Wärme, Wasser, Luft und Nährstoffe. Sie werden im folgenden zwar getrennt abgehandelt, jedoch soll hier betont werden, daß sie stets miteinander wirken und sich auch wechselseitig beeinflussen. Die vorgefundene Bodenstruktur ist daher immer ein Ergebnis dieses Wirkungsgefüges.



Abb. 14. Strukturphotogramm aus 7 cm Tiefe unter Rasen.

Der unterschiedliche *Wärmehaushalt* der behandelten Parzellen spiegelt sich in der Intensität des Wurzelwachstums und der Bodentiere wider. Die Winter- und Sommerextreme unter offenem Boden sind für beide ungünstiger als die ausgeglicheneren Temperaturen unter Bodenbedeckung. Dementsprechend ist die Bodenstruktur unter offenem Boden am wenigsten biologisch umgeformt worden, sondern zeigt deutlicher die physikalischen Prozesse der Strukturbildung an.

Mit den ganzjährigen gravimetrischen *Feuchtemessungen* stimmten die ermittelten Strukturunterschiede ebenfalls gut überein. Der offene Boden mit seiner relativ geringen kapillaren Wasserhaltekapazität bei genügendem Anteil an Grobporen ist am meisten dem Wechsel von Befeuchtung und Austrocknung ausgesetzt. Den besten Verdunstungsschutz bietet die Strohbedeckung, dort sind genügend langfristig wassergefüllte Mittelporen vorhanden. Unter Rasen fallen besonders die großen Höhlungen im Bereich der Pflanzewurzeln auf. Hier wird bei Nässe die Dränung verstärkt, bei Trockenheit wirkt sich die erhöhte Transpiration der rasenbewachsenen Parzellen auch auf die Bodenaustrocknung aus, daher erklärt sich wohl das Wassergehaltsminimum unter Rasen im trockenen Sommer 1964.

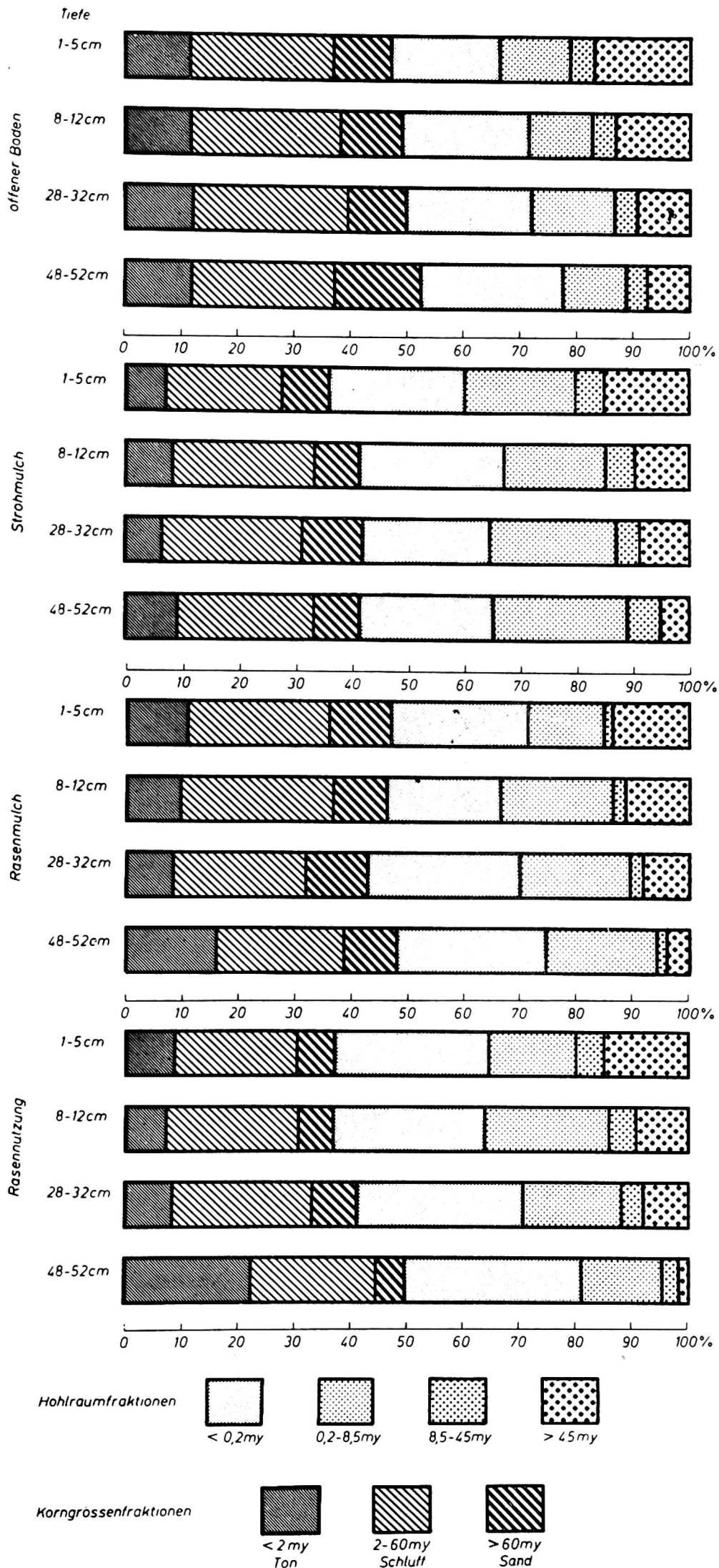


Abb. 15. Graphische Darstellung der Volumenanteile an bestimmten Hohlraumgrößen und Korngrößen in den vier untersuchten Bodenprofilen.

Zum *Lufthaushalt* der Böden liegen uns bisher keine direkten Untersuchungen vor. Mit gewissen Vorbehalten können wir uns zunächst am Gehalt und der Verteilung der Grobporen in den verschiedenen Bodenhorizonten orientieren. Sie nahmen in allen Parzellen von oben nach unten merklich ab, lagen aber in 35-40 cm Tiefe stets noch über 10% des Bodenvolumens. Die Luftführung, die im allgemeinen den Grobporen zugesprochen wird, kann aber durch zwei Momente eingeschränkt sein: erstens handelt es sich bei den gemessenen Grobporen teilweise um Schwundrisse, die sich bei Nässe schließen, zweitens können alle Grobporen mit Wasser gefüllt sein, wenn durch Stauwirkung tieferer Horizonte das zugeführte Wasser nicht schnell genug abgeleitet wird. Auch die starke Verzweigung der Saugwurzeln vor allem unmittelbar unter der Strohauflage sprechen hier eher für eine gehemmte Durchlüftung. Dagegen spricht allerdings die intensive Tätigkeit der Regenwürmer, die durch Direktbeobachtung am Profil und im mikromorphologischen Strukturbild unzweifelhaft vorhanden ist.

Bei der *Nährstoffversorgung* der Böden sind Vergleiche bei dieser Versuchsanordnung besonders schwierig, da Mineraldüngung und verschiedenartige Zufuhr organischer Substanz ineinandergreifen und außerdem verschiedene biologische Systeme miteinander in Konkurrenz treten. Aus der Struktur kann vor allem geschlossen werden, daß die Bodentiere einen gewissen Gehalt an organischer Substanz anzeigen, die sie entweder der Mulchauflage entnehmen oder aus abgestorbenen Wurzeln beziehen. Je reichlicher und je eiweißhaltiger diese organische Zufuhr ist, desto intensiver gestaltet sich das Bodenleben. Die hieraus resultierende Bodenstruktur erscheint von den Rasenparzellen über den Strohmulchboden bis zum offenen Boden abnehmend "belebt".

Wir können abschließend feststellen, daß wir gerade durch die kombinierte Anwendung von physikalisch-chemischen und mikromorphologischen Untersuchungsmethoden tiefer in das Wirkungsgefüge der konstanten und der variablen Standortfaktoren einzudringen vermochten als mit der bloßen Feststellung von Einzelmerkmalen. Vor allem darf bei ihnen der unterschiedliche Indizienwert nicht vernachlässigt werden. So war die Ertragsleistung der Obstbäume kein integrierendes Indiz für die Produktivität der Standorte, da die Bäume teilweise mit anderen Pflanzen in Konkurrenz standen. Eher spiegelt sich der unterschiedliche Fruchtbarkeitszustand der Parzellen in der Aktivität der Bodentiere wider, die unter Bodenbedeckung mit organischen Substanzen erhöht war und eine verbesserte Bodenstruktur nach sich zog [3].

ZUSAMMENFASSUNG VON TEIL II

Die qualitative und quantitative mikromorphologische Analyse der Bodenprofile nach sechs Jahren Versuchsdauer ergab eine unterschiedliche Ausgestaltung der Bodenstruktur vor allem in den oberen Boden-

horizonten. Unter Strohbedeckung war die Aktivität der Regenwürmer besonders auffällig an der Strukturbildung abzulesen. Der zumeist hohe Wassergehalt unter Strohmulch führte zu Verschlämmung und Aufweichung des ton- und schluffreichen Bodens; bei gelegentlichen Austrocknen entstanden bis 5 cm breite Schwundrisse, die bis zu 30 cm Abstand voneinander haben konnten und den Oberboden in große Polyeder zerteilten. Im Innern der Polyeder erschien die Bodenmasse in trockenem Zustand besonders dicht.

Durch Kombination von physikalischen und mikromorphometrischen Meßergebnissen wurden das Gesamtporenvolumen und das Hohlraumgrößenspektrum ermittelt. Das Gesamtporenvolumen war unter Bodenbedeckung zumindest in den obersten 50 cm der Profile höher als im offen gehaltenen Boden. Im letzteren war vor allem der Gehalt an Mittelporen reduziert, die gerade das pflanzenverfügbare Wasser enthalten.

Die mikromorphometrisch ermittelte innere Oberfläche der Bodenstruktur bei Lufttrockenheit im Grobporenbereich (über 30 μ Durchmesser) war fast in allen untersuchten Horizonten am größten unter Rasen, am geringsten unter offen gehaltener Bodenoberfläche.

Ein Vergleich der mikromorphologischen und mikromorphometrischen Untersuchungsergebnisse mit den physiologisch wirksamen Einzelfaktoren, der Saugwurzelverteilung und der Ertragsleistung der Bäume läßt erkennen, daß die Bodenmikromorphologie vor allem in Verbindung mit anderen Untersuchungen wertvolle Hinweise zur Aufklärung der Kausalzusammenhänge zwischen Standort und Leistung zu geben vermag.

LITERATUR

1. Beckmann W., 1967. Bodenstruktur und Wasserhaushalt im Boden, dargestellt an Böden aus dem Südschwarzwald. In: Die mikromorphometrische Bodenanalyse, Hrsg. W. L. Kubiëna, Stuttgart, 103-118.
2. Geÿger E., 1964. Mikromorphometrische Untersuchungen über den Einfluß bestimmter Pflanzengemeinschaften auf die Strukturbildung im Boden. In: Micro-morphology, ed. by A. Jongerius, Amsterdam, 445-457.
3. Geÿger E., 1967. Bodenstruktur und Entwicklung der Panama-Disease in Bananenpflanzungen. In: Die mikromorphometrische Bodenanalyse, Hrsg. W. L. Kubiëna, Stuttgart, 135-162.
4. Geyger E., Beckmann W., 1965. Untersuchungen zur Struktur eines Braunlehms unter montanem immergrünen Regenwald in Peru. Zeiss-Mitt. 4, 185-207.
5. Geÿger E., Beckmann W., 1967. Apparate und Methoden der mikromorphometrischen Strukturanalyse des Bodens. In: Die mikromorphometrische Bodenanalyse, Hrsg. W. L. Kubiëna, Stuttgart, 36-57.
6. Kubiëna W. L., Beckmann W., Geÿger E., 1963. Mikromorphometrische Untersuchungen an Hohlräumen im Boden. Anal. de Edafolog. y Agrobiol. 22, 551-567.
7. Richard F., 1963. Wasserhaushalt und Entwässerung von Weideböden. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. 39, 247-269.
8. Weller F., 1968. Zur Beeinflussung der vertikalen Saugwurzelverteilung von Apfelbäumen durch Bodenpfllegemaßnahmen. Erwerbsobstbau 10, 4-6.

9. Weller F., 1970. Zur Abhängigkeit des Stickstoffangebotes im Boden vom Witterung und Bodenpflege. Tagungsber. Deutsch. Akad. Landwirtschaftswiss. zu Berlin 99, 119-131.
10. Weller F., 1969. Beeinflussung der Bodentemperatur in Obstanlagen durch Bodenpflegemaßnahmen. Erwerbsobstbau 11, 164-173.

Studies on the alterations of ecological soil properties by various forms of soil management in a fruit plantation

S u m m a r y

An experiment designed to test the influence of different soil treatment on the yield of fruit trees was implemented at the beginning of 1960 in an apple plantation in the eastern part of the Lake Constance area (south west Germany), the soil type being a Pseudogley-Parabraunerde with little decalcification depth developed from a silty ground moraine (Würm) rich in clay. It was found that there were very marked differences in yield between plots which were kept clear mechanically of ground vegetation, plots with a ground covering of straw and plots with grass growing under the trees. Comparative examinations of some physiologically effective factors, such as soil temperature, soil humidity and nitrogen content as well as other factors closely related to these environmental ones, namely the distribution of absorbing rootlets and the formation of the soil structure may be helpful in explaining the causes of the differences in yield observed. The results as far as follows:

In summer, the soil temperature under straw was lowest, under clear ground highest; in winter, however, the opposite was found: under straw the temperature was highest, under clear ground lowest. The grassed plots were in the middle. Altogether, variations in daily and yearly temperatures were clearly found to be less under grass, and even more markedly so under straw than in the plots of clear ground.

The total water content of the soil and the amount of water available for plants were greatest for most of the year under the covering of straw. The differences were especially noticeable in the top soil.

The production of nitrates was clearly stronger under the grassed areas. In spite of this, as a result of competition from the grass, the fruit trees here were frequently less well provided with nitrogen than in the other plots.

The top soil of the grassed plots was less strongly permeated by absorbent rootlets of the apple trees than the straw covered and the clear areas, both absolutely as well as in comparison with the deeper levels. An especially strong concentration of absorbent rootlets in the top soil was found under straw mulch, while here the subsoil was found to have fewer rootlets than in the other plots.

The qualitative and quantitative micromorphological analysis of the soil profiles after an experimental period of six years showed different alterations in the soil structure, particularly in the upper layers. Under the straw covering the activity of earth-worms was particularly clearly to be perceived from the structure formation of the soil. The high water content under straw mulch resulted in the soil becoming soft and sludgy. When it occasionally dried out, fissures up to 5 cm broad and at distances of up to 30 cm apart appeared, breaking the top soil up into large polyeders. Inside the polyeders the soil appeared in its dry condition especially dense.

By combining the results of physical and micromorphometric measurements the total amount of pore space and the pore size distribution were determined. The

total amount of pore space, at least in the top 50 cm of the profile, was higher in the soils, which were covered than in that which was not. In the latter, the content of medium size pores — precisely those which contain the water available for plants — was reduced.

The micromorphometrically determined inner surface of the soil structure in air-dried condition concerning the large pores over 30μ diameter was almost at all depths greatest under grass, least under clear soil surface.

A comparison of the results of the micromorphological and micromorphometrical investigations with the examined physiologically effective factors, the distribution of absorbent rootlets and the fruit-yield of the tree shows that soil micromorphology, particularly in conjunction with other investigations, can give valuable indications in the clarification of the causal connections between habitat and productivity.