

# MIKROSKOPISCHE BODENUNTERSUCHUNG

Mit *Abbildungen*

Von **PROF. DR. HANS HOCHHOLZER**  
(**Ökologische Versuchsstation Wien XIII**)

Dem Komplexgebilde des Bodens entspricht eine Mannigfaltigkeit physikalischer, chemischer und biologischer Untersuchungsmethoden, bei denen das Mikroskop nicht nur als Hilfsgerät, sondern oft auch eigenständig herangezogen werden kann. Nachfolgend soll ein Überblick der forschenden und der angewandten (agrarpraktischen und technologischen) Bodenmikroskopie gegeben werden. Allgemeine Vertrautheit mit der Bodenkunde muß hierbei vom Leser vorausgesetzt (oder durch Einsichtnahme in ein Handbuch der Bodenkunde erworben) werden.

**Vorbereitung der Bodenprobe. Allgemeine Behandlung.** Möglichst genaue Bezeichnung der Herkunft: Ackerkrume, Wiese, Waldboden, Tiefenstufe in Zentimetern ist Voraussetzung; Böden sind Individuen. Grobe Steine, Steinchen, Fremdkörper (Metalle, Zweige, Glassplitter) sind sorgfältig zu entfernen. Zumeist werden die Bodenproben im Laboratorium an der Luft getrocknet. Dies ist schon eine Denaturierung, da die Strukturen zerfallen und die Kleinlebewesen zugrunde gehen oder Sporen bilden. Sie können zwar regeneriert werden, aber für bestimmte Untersuchungen muß frischer Boden genommen werden. Getrockneter Boden wird durch Feinsiebe (zumeist 2-mm-Lochung) gerüttelt und in Pulvergläsern verwahrt. Vor einer allzu gründlichen Zerreibung in Reibschalen ist bei mikroskopischen Arbeiten zu warnen; es werden hiebei künstlich feinste Bruchstücke von Mineralien geschaffen, die den Korrosionsgrad der natürlichen Mineralsplitter verfälschen können. Das Feinmaterial für die kleine Probe auf dem Objektträger läßt sich auch ohne makroskopische Gewaltanwendung leicht gewinnen.

**Mikroskopische Ausrüstung.** Außer dem botanischen Mikroskop ist ein Polarisationsmikroskop für die mineralogisch-petrographische Bodenanalyse von Vorteil; wertvoll ist ein Stabmikroskop (zum unmittelbaren Aufsetzen auf Bodenflächen oder undurchsichtige Proben), doch kann mit Hilfe einer stärkeren Mikroskopierlampe auf jedem gewöhnlichen Mikroskop (bei schwächerer Vergrößerung) unter Auflicht gearbeitet werden. An besonderen Geräten sind kleine Porzellanschalen, Glasbecher, Tüpfelplatten usw., wie sie in der Mikrochemie gebraucht werden, sehr verwendbar. Nebenbei sei erwähnt, daß die (über den Rahmen unserer vorliegenden Arbeit hinausgehende) mikrophysikalische und mikrochemische Bodenuntersuchung noch sehr ausbaufähig ist und die umständlichen und zeitraubenden makroskopischen Methoden gewiß sehr verdrängen wird. Zum orientierenden Betrachten von Bodenproben sowie zum Feststellen gröberer Strukturverhältnisse ist eine Stativlupe von Nutzen. Über Spezialgeräte für Ultraviolettlcht u. a. vgl. die entsprechenden Ausführungen weiter unten!

# I. Systematischer Überblick über die Methoden der Bodenmikroskopie

1. **Physikalische Untersuchung.** Die aufgeschlämmten Teilchen aus dem abgessenen Wasser des bekannten KÜHN'schen Schlämmszylinders können mikroskopisch untersucht werden; sie geben ein mineralogisch-petrographisches Bild, zugleich Korngröße und Mikronenzahl jeder untersuchten Fraktion. Für schnelle Arbeit eignet sich besser die **Waldschlamm-analyse** nach A. v. KRUEDENER: Ein Schüttelzylinder oder ein Meßglas, notfalls ein Probierröhrchen, wird in 2,5 und 8 cm Höhe mit je einem Meßstrich versehen. Bis zum unteren Strich wird Boden eingefüllt und mäßig festgeklopft; sodann wird bis zum oberen Maß ammoniakalisches Wasser (etwa 1%) eingegossen. Nach 5 bis 10 Minuten Schütteln ist die Probe untersuchungsreif (Tonböden muß man einige Stunden aufweichen lassen!); man schüttelt kurz auf, hält dann lotrecht und zählt drei Sekunden aus. Der bis dahin abgesetzte Boden ist Grob- und Mittelsand, der bis acht Sekunden abgesetzte Boden ist Feinsand, der Rest ist das Abschlämbare. Die Schwebeteilchen können nun sofort, dann nach 10 Minuten, nach 1 Stunde, nach 12, 24, 36 Stunden usw. untersucht werden. Es zeigt sich, daß die Klärung durchaus nicht so einfach vor sich geht, wie es die klassische physikalische Ansicht dachte, also „immer Feineres“ nachfolgt. Gewiß ist diese Tendenz vorhanden, es bleiben aber auch gröbere Teilchen zwischen den feinen in Schwebelage, so wegen ihrer Lufthaltigkeit (Pflanzenzellen), wegen ihrer großen Oberfläche (rauhes Pollenkörner), wegen ihres geringen spezifischen Gewichtes (Kohlepartikeln), wegen elektrophysikalischer Vorgänge (Glimmerkriställchen), wegen Gasadsorption an der Oberfläche (humifizierte Eiweißreste) u. dgl. Man kann den Sedimentierungsvorgang mikroskopisch verfolgen, wenn man eine Bodenprobe in einer prismatischen Küvette (notfalls in einem prismatischen Fläschchen, wie es für Medikamente oder Parfüms verwendet wird) aufschüttelt, ein Stabmikroskop waagrecht an einem Stativ befestigt und vor die Küvette rückt. Die sinkenden Teilchen wandern freilich infolge der optischen Umkehrung aufwärts, das stört jedoch nicht. Mit Hilfe der hinter die Küvette gestellten Beleuchtung kann der Durchsichtigkeitsgrad jeweils notiert werden. Von Zeit zu Zeit wird mit einem Tropfglas eine Probe der Flüssigkeit entnommen und auf einem Objektträger untersucht. Durch Entnahme von genau 1 cmm mittels einer Mikrosaugpipette kann eine Auszählung der Teilchen durchgeführt werden. Nachfolgend ein Beispiel:

Bodenprobe aus einem sandigen Lehmboden am Roten Berg bei Lainz (Untersuchung der Ökologischen Versuchsstation Wien XIII).

1 cmm der aufgeschlämmten Flüssigkeit enthielt:

	Teilchen	
nach 2 Minuten	40.000 200.000 700.000	über 10 Mikron von 5 — 10 Mikron unter 5 Mikron

nach 30 Minuten	10.000	von 5 — 10 Mikron
	40.000	von 1 — 5 Mikron
	450.000	unter 1 Mikron bis zur unteren Sichtbarkeitsgrenze
nach 24 Stunden	2.000	von 5 — 10 Mikron
	3.000	von 1 — 5 Mikron
	350.000	unter 1 Mikron bis zur unteren Sichtbarkeitsgrenze

In der 30-Minuten-Probe waren noch zahlreiche „Fremdlinge“ (Riesen von mehr als 10 Mikron Durchmesser) in Schwebelage: feine Kohlenpartikelchen (aus einer einstigen anmoorigen Oberflächenschicht des Bodens), die nach 12 Stunden niedersanken und im Sediment eine hauchdünne dunkle Schicht bildeten, die mit dem Stabmikroskop bei 20facher Vergrößerung (horizontale Betrachtung der Küvettenwand) deutlich festgestellt werden konnte. Das „gemeinsame“ Niedersinken deutet auf eine mikrophysikalische Auslöseursache.

**Trocknung und Quellung von Ton** (oder tonigen Schlämmerückständen) auf dem Objektträger. Ein „Ausstrich“ eines feinen Tonbreis auf einem Traggelächchen gibt nach Trocknung charakteristische „Rißbilder“, die die Dichte, Rißbreite, den Rißwinkel, die Verzweigung der Risse usw. beobachten lassen — Merkmale, die auf viele physikalische Eigenschaften Rückschluß erlauben. Bei Untersuchung größerer Bodenflächen ist diese Probe ein rasch beschaffbarer Indikator für Änderungen in der Bodenbildung (Facies). Durch Wiederbefeuchten der vertrockneten Probe lassen sich die Vorgänge der Quellung, der Quellschnelligkeit, der gänzlichen oder teilweisen Ausflockung (Irreversibilität) usw. studieren.

**Selektive Adsorptionskraft.** Eine Berlinerblaulösung mittlerer Farbintensität wird mikroskopiert; die Anzahl und Größe der Suspensionsteilchen wird notiert. Sodann wird die Lösung durch eine Bodenprobe filtriert, die man auf die Siebplatte eines GOOCH-Tiegels mäßig stark angedrückt hat. Das durchgegangene Filtrat wird neuerlich mikroskopisch auf seinen Suspensionsgrad untersucht. Die Bodenprobe selbst wird getrocknet und sodann „trocken“ mikroskopiert. Sie zeigt, welche Bestandteile (Orthoklassplitter, Humusteilchen, zeolithische Substanzen, Mikroorganismen u. a.) Träger der Adsorption sind. Zur besseren Aufhellung kann vorsichtig ein Tröpfchen Glycerin unter das Deckglas gebracht werden.

**Katalytische Kraft.** Ein Objektträger mit eingeschliffener Vertiefung wird mit einer reichlicheren Bodenprobe (etwa bis zur Hälfte der Schliffmulde) versehen. Die Probe muß feinst zerrieben sein. Sodann wird mit einer Pipette 30%ige  $H_2O_2$ -Lösung aufgeträufelt und mit einem Deckglas, dessen Ränder vaselinebestrichen sind, abgedeckt. Nach etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde wird bei schwacher Vergrößerung die Menge der entstandenen Sauerstoffblasen beobachtet. Sie sind bis zum Deckglas emporgestiegen und geben eine Maßzahl der katalytischen Kraft, besonders bei Reihenuntersuchungen.

2. Optische Verfahren. Suspensionen und kolloidale Lösungen zeigen den TYNDALL-Effekt. Man kann einen feinen (aber ziemlich intensiven!) Lichtstrahl aus einer abgeblendeten Mikroskopierlampe durch die (unter Punkt 1 angegebenen) Küvetten schicken. Er läßt sich mit freiem Auge als leuchtender Streifen in der Flüssigkeit verfolgen. Bei gut verdunkeltem Zimmer zeigt das horizontal gestellte Stabmikroskop (vgl. Punkt 1) deutlich das Aufblitzen und Flimmern zahlreicher Körperchen an der Grenze der Sichtbarkeit. Eine stärkere Auflösung ist allerdings nur mit dem Ultramikroskop möglich.

Beobachtung im monochromatischen Licht und im Dunkelfeld. Bei Vorschaltung eines Blaufilters vor die Lichtquelle, starker Ablendung und allenfalls auch Ausschalten des direkten Lichtes (ungefähr am Rande des Dunkelfelds) zeigen die meisten Böden stetige diagnostische Eigenheiten: Feldspat und Quarz bleiben hell, Tonklümpchen erscheinen völlig dunkel, Produkte der Tonzersetzung (stark quellbare Substanzen zeolithischer Art) schimmern schwach um den zentralen dunklen unzersetzten Kern, organische Reste fluoreszieren gelblich-rötlich, Augit, Hornblende, Glimmer, Titaneisenspieße u. a. erscheinen schwarz.

Beobachtung im ultravioletten Licht. Eine mäßig starke UV-Lampe (z. B. Vitalux) gestattet Beobachtung im Auflicht und im durchfallenden Licht. Vorteilhaft ist die Vorschaltung von UV-Dunkelfiltern vor die Lichtquelle. Das Auge braucht einige Zeit zur Gewöhnung an das schwache dunkelviolette Filterlicht, doch zeigen sich sodann die auftretenden Fluoreszenzen um so schöner. Bei Auflicht lassen sich sowohl Deckglaspräparate als auch undurchsichtige Proben betrachten. Für die Verwendung von durchfallendem UV-Licht ist ein polierter verchromter Metalispiegel notwendig, der statt des normalen Glasspiegels unter das Mikroskop eingesetzt werden muß, außerdem ein Objektträger aus UV-durchlässigem Glas (sog. Vita-Glas). Manche Proben erstrahlen in einer unerhörten Farbenpracht. Analytische Daten müssen für jedes UV-Dunkelfilter mittels bekannter Mineralproben festgesetzt werden<sup>1</sup>).

Anmerkung: Hierher gehört auch die Beobachtung im polarisierten Licht, die jedoch später (bei den mineralogisch-petrographischen Methoden) angeführt erscheint.

3. Mikrochemische Methoden. Bodenauszüge mit Wasser, Zitronen-, Salz-, Schwefelsäure usw. lassen sich nach den Regeln der qualitativen Analyse und unter Verwendung der bekannten mikrochemischen Reaktionen (die zumeist charakteristische Kristallfällungen sind) bearbeiten. Da sie im Fachschrifttum hinlänglich bekannt sind, übergehen wir alle Einzelheiten und verweisen auf das angefügte Schriftver-

---

<sup>1</sup>) E. GRÜNSTEIDL (vgl. Literaturangaben) empfiehlt (nach einem Vorschlag von M. HAITINGER), zwischen die UV-Lichtquelle und den Mikroskopspiegel einen wassergefüllten Kochkolben zum Zwecke der Strahlenkonzentration zu stellen. (Für einfache Lumineszenz-Betrachtungen macht dies einen verchromten Spiegel entbehrlich.)

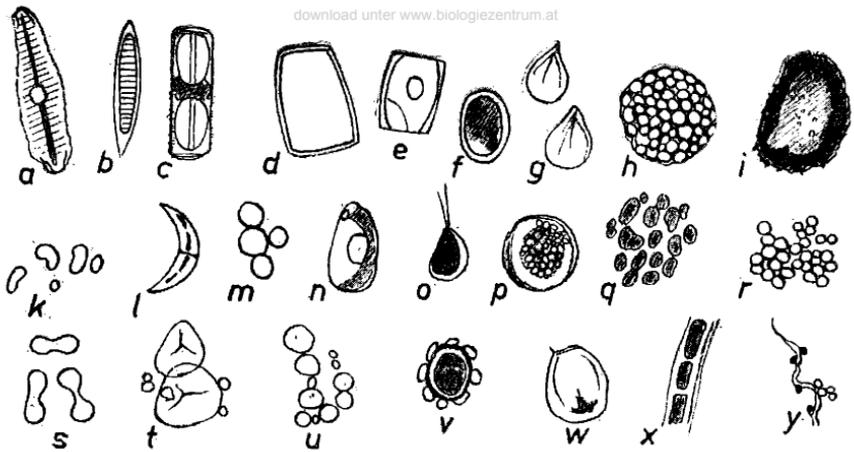
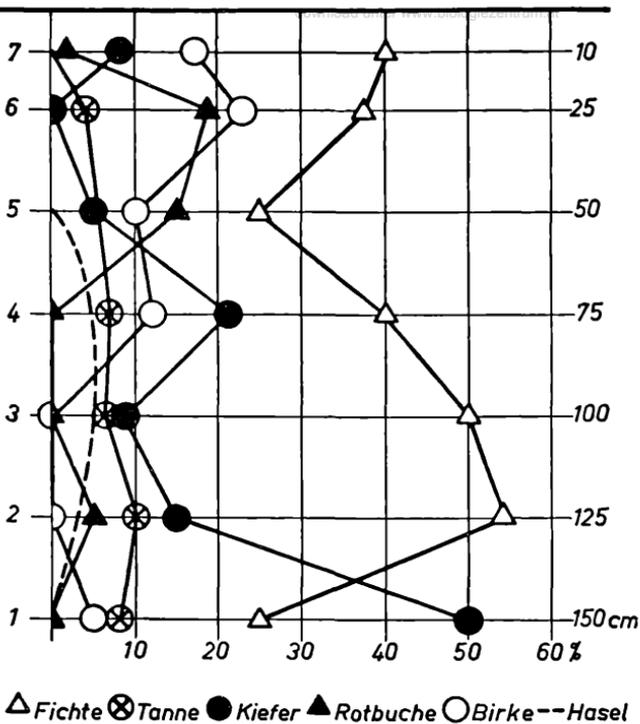


Abb. 1. Einige häufige Bestandteile des Edaphons mitteleuropäischer Böden.

a, b, c *Bacillariaceen* sp., d, e, f Algen, g Konjugaten, h, i Pollenkörner (h Laichkraut, i Bärlapp), k Gräserpollen, l *Desmidiaceen* sp., m *Isocystis infusioformis* (Spaltalge), n *Infusorium* sp., o Geißelsporen, p Samenkapsel eines Infusors, q *Azotobakter*, r *Staphylococcus* sp., s Sporen von Myxomyceten, t Bierhefe *Saccharomyces cerevisiae*, u *Torula*-Hefe, v Sporangium eines Schimmelpilzes, w *Geococcus vulg.*, x Fadenalge, y Wurzelhaar mit Pilzen. Vergrößerung 800:1, Bildvergrößerung 600:1.

zeichnis. Neben der mikrochemischen Behandlung des Bodenauszugs ist die chemische P r ä p a r a t i o n der Bodenprobe von Belang. Sehr widerstandsfähige oder sehr dunkle, moderige, torfige Proben werden mit verdünnter KOH gekocht, unter Umständen sogar mit verdünnter  $\text{HNO}_3$ . Oft genügt jedoch schon eine Aufhellung mit KOH unter dem Deckglas. Wasserabweisende oder sehr lockere, empfindliche Proben, auch Proben, deren Schimmelpilzgehalt man untersuchen will, werden nicht mit Wasser, sondern mit Glycerin aufgehell't. Zur Gewinnung von Mikrofossilien aus Moorproben kocht man mit verdünnter  $\text{HNO}_3$  kurz auf und zentrifugiert den Aufguß. Durch Jod-Jodkalium-Lösung färben sich Zellulosereste (in Moorböden) blau, organische Rückstände (Eiweißreste) werden durch dieses Reagens gelb bis gelbbraun. Filtrierte Alkoholauszüge aus Moor- oder Torfböden ergeben auf dem Objektträger öfters einen Rückstand von amorphem, goldgelb gefärbtem Harz. Gibt eine Bodenprobe mit KOH mehr oder minder starke (oft sogar intensive) Braunfärbung, so ist Rohhumus vorhanden. Die Bodenprobe kann dadurch (bei Moorböden, Torfproben) fast undurchsichtig werden. In solchen Fällen muß im Reagensglas mit verdünnter KOH geschüttelt und mehrere Male dekantiert werden. Das zurückbleibende Sediment kann getrocknet und mit Glycerin unter dem Deckglas aufgehell't werden. Über Färbemethoden für biologische Zwecke vgl. weiter unten!

Abb. 2. Pollendia-  
gramm des Edlbach-  
moors bei Windisch-  
garsten. Nach Pol-  
lenanalysen von H.  
Hochholzer. 1—7  
Pollenhorizonte.



4. Mineralogisch-petrographische Arbeitsweisen. In der rohen Bodenprobe verhüllen Erdklümpchen, Tonkolloide, Fäulnisstoffe u. die Mineralbestandteile zumeist. Im Schlämmrückstand (vgl. Abschnitt 1) sind die Mineralteilchen nicht nur angereichert, sondern auch gut ausgewaschen vorhanden. Auf einem schwarzen Papierblatt zeigen sie sich schon unter einer Lupe deutlich, besser unter einem Stabmikroskop. Oft vorkommende Minerale (Quarz, Orthoklas, Plagioklas, Muskowit, Biotit, Augit, Hornblende) sind leicht zu erkennen, seltene Beimengungen erfordern unter Umständen die Verwendung eines Polarisationsmikroskops zur einwandfreien Bestimmung. (Eine Reihe charakteristischer Minerale sind in der Abb. 1 der Arbeit „Aerosol und Kryoplankton in Wiener Schneefällen“, *Mikroskopie* 2 (1947), 7/8: 237, zusammengestellt. Sie kann auch für die Zwecke der bodenkundlichen Mikroskopie herangezogen werden.) Für die mineralische Analyse der meisten Böden eignen sich Vergrößerungen von 80 bis 150 am besten. Beobachtet wird außer der Zusammensetzung die prozentuelle Verteilung (durch Auszählen), Verwitterungszustand (Korrosionsgrad), Größenordnung der Individuen; petrographisch wichtig ist das Feststellen vorliegender „Verbandsstrukturen“; so deuten Glimmerschüppchen an Feld-

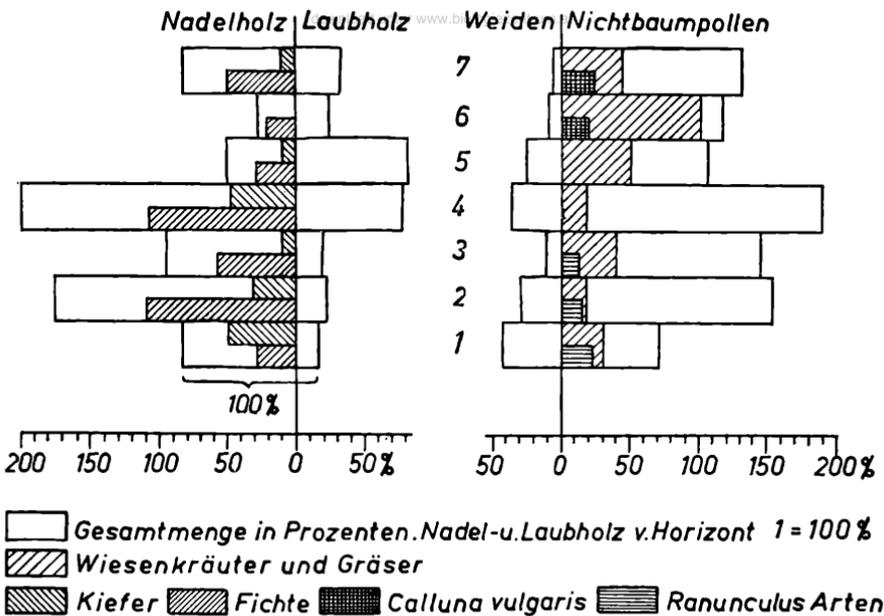


Abb. 3. Pollendiagramm des Edlbachmoors bei Windischgarsten. Darstellung nach der Rechteckmethode.

Horizonte 1 bis 7. Horizont 1 gilt als Maßstab der relativen Pollenhäufigkeit der einzelnen Horizonte. (Nadelholz- und Laubholzpollen von Horizont 1 = 100%.) Die Pollen einiger besonders charakteristischer Pflanzen sind als Rechtecke zweiter Ordnung eingezeichnet.

spatsplittern auf Granite als Herkunftsgestein usw. Über Fluoreszenzerscheinungen vgl. oben unter Abschnitt 2. Ferner möge vermerkt werden, daß sich bei Ausfärbungen der organischen Bodenbestandteile manche Minerale (besonders Feldspate) unbeabsichtigt mitfärben (lichtblau mit Methylenblau, gelb mit Jod-Jodkalium u. dgl.).

5. Mikrobiologische Bodenuntersuchung. Das Edaphon des Bodens ist ein verzweigtes System von „Geobionten“ (R. H. FRANCÉ), die zusammen eine Biozönose bilden. Mikroskopisch sind zwei Größenbereiche auszusondern: die Bodenbakterien (500- bis 1000fache Vergrößerung notwendig) und alle anderen Teilgruppen des Cönobions (Pilze, Algen, Protozoen, Rotatorien, Würmer usw. — meist mit Vergrößerung zwischen 200 und 500 am besten beobachtbar).

Bodenbakterien. Uneigentliche Bodenbakterien sind z. B. der Riese *Bacillus maximus buccalis* oder der Heubazillus *Bacillus subtilis*. Die Knöllchenbakterien sind im Wesen als Bewohner ihrer Wirtspflanzen anzusehen. Die echten Bodenbakterien sind zumeist sehr klein, so daß starke Vergrößerung notwendig ist. Vorwiegend sind sie GRAM-positiv. Eine altbekannte Methode ihrer Untersuchung ist die Schüttelanalyse. Etwa 3 g

Boden werden in einem Glaskolben mit Wasser aufgeschüttelt. Nach Klärung wird ein Tropfen des Wassers unter dem Mikroskop beobachtet. Da die Bakterien meist undeutlich zu sehen sind, wird der Tropfen über der Mikroflamme eingedampft. Das gewonnene Fixierpräparat läßt sich mit Methylenblau anfärben. Es zeigen sich nun große Mengen kleinster Körperchen, die vorher unsichtbar waren, zum größeren Teil Bakterien, zum geringeren auch Sporen, sogar ausgefärbte Mineralkörper. Deswegen empfiehlt sich die Anwendung des GRAM-Färbeverfahrens (nach der Methylenfärbung Eintauchen in Jod-Jodkalium-Lösung, sodann Ausbleichen in Alkohol). Es bleiben zwar nur die GRAM-positiven Bakterien gefärbt, aber man hat dann die Gewähr, wirklich nur Mikroorganismen ausgefärbt zu sehen.

**Auszählung der Bodenbakterien.** Zur Auszählung wird mit einer Mikrosaugpipette genau 1 cmm des Wassers aufgenommen und (wie oben) eingedampft. Das ausgefärbte Präparat wird gesichtsfeldweise ausgezählt (mit Hilfe einer Zählplatte, eines Kreuzschlittentisches mit Mikrometer oder nach der Deckfeldmethode von Dr. Franziska STENGEL, siehe Mikroskopie 1 (1946), 3/4 96 ff!). Die Ergebnisse werden auf je 1 ccm Boden umgerechnet und in Millionen abgerundet angegeben. Böden unter 10 Mill./ccm Bakteriengehalt sind als keimarm zu bezeichnen. Sollten sich im Gesichtsfeld zu viele Bakterien befinden, muß das Wasser im Schüttelkolben mit Hilfe eines zweiten Kolbens auf das Mehrfache verdünnt werden.

**Das gesamte Edaphon.** Die Schüttelanalyse sondert die Bakterien aus, während die allermeisten anderen Geobionten mit den Bodenpartikeln in das Sediment fallen. Will man ein Gesamtbild erhalten, muß man (nach der Methode von R. H. FRANCÉ) eine kleine Bodenprobe mit Wasser zu Brei verrühren und das Ausstrichpräparat betrachten. Es empfiehlt sich, mit kleinen Vergrößerungen zu beginnen (75, 150, sodann 250, 400). Für Beobachtung der Pilzflora reibt man den Boden statt mit Wasser besser mit Glycerin an. Häufige Bestandteile des Edaphons, die immer wiederkehren, sind: *Nostoc sp.*, *Chroococcus sp.*, *Navicula sp.*, *Hantzschia amphioxus*, *Desmidiaceen*, *Chlamydomonas sp.*, *Pleurococcus sp.*, *Aspergillus niger*, *Saccharomycetes sp.*, *Amoeba sp.*, *Diffugia sp.*, *Geococcus vulgaris* u. a. m. Einige typische Formen sind in der Abb. 1 zusammengestellt. Es möge bemerkt werden, daß die Algen und Infusorien zumeist nur in den obersten 3—5 cm Bodenschicht gedeihen und daß sie bei Trockenheit einzystieren. Man muß also frische, feuchte Bodenproben entnehmen.

**Süßwasserplankton.** Entstehende Böden in verlandenden Gewässern beherbergen die limnische Flora und Fauna; sie umfaßt Chlorophyceen, Schizophyceen, zahlreiche Kokken und Bazillen, zumeist auch Glockentierchen, Wasserflöhe u. a. m., deren Körper in den Schlamm sinken. Untersuchungen des Verfassers im Verlandungsbereich der Alten Donau bei Wien ergaben bis zu 300.000 Individuen in 1 ccm nassem Schlamm Boden.

**Geopaläofloristik.** In Moorböden, Torflagern usf. finden sich zahlreiche Mikrofossilien, besonders viele Pollen, die diesem Zweige der mikroskopischen Bodenuntersuchung den Namen der Pollenanalyse

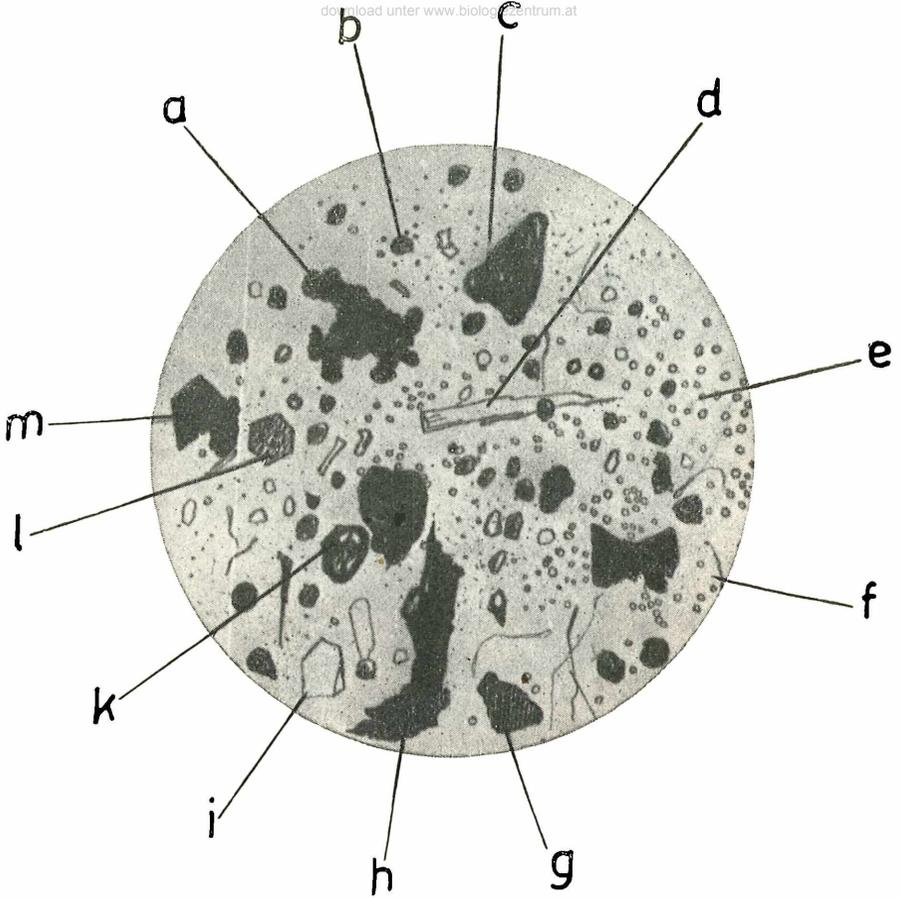


Abb. 4. Zerriebene Bodenprobe unter dem Mikroskop. Zerlegung in einzelne Bauelemente, Zerstörung der Kleinstrukturen.

*a* Bodenpartikel, *b* dunkles Glimmerteilchen, *c* stark korrodiertes größeres Mineralstück (Biotit), *d* Orthoklasleiste, *e* feine Sandkörnchen, *f* Wurzelhaare, *g* Plagioklas (mit Lamellen), *h* verkohlter Holzsplitter, *i* ein monokliner Kristall, *k* Hefe, *l* Hornblendekristall, *m* schwarzer scharfkantiger Doppelkristall (wahrscheinlich Magnet Eisen). Über das Gesichtsfeld verstreut: feinste dunkle Pünktchen aus Tonsubstanz. Der natürliche Zusammenhang der Teilchen ist durch die gewaltsame Vorbereitung der Probe verlorengegangen. Vergrößerung 300:1.

eintrugen. Ihr Prinzip ist im allgemeinen eine Sonderungs-, Anreicherungs- und Auszählungsmethode: Aufkochen mit KOH, nötigenfalls auch mit verdünnter HNO<sub>3</sub>, Absitzenlassen der Grobteilchen, Zentrifugieren des „Sediments“ (oder statt dessen Absitzenlassen in einem langen Glasrohr, dessen Unterende spitz ausgezogen und verschmolzen ist), Auszählen unter dem



Abb. Natürliches Strukturbild des Bodens. (Vgl. Abschnitt I, Punkt 6, des Textes.)

Die aufgeklebte Bodenmasse zeigt nach Härtung im Dünnschliff die ungestörten Lieferungsverhältnisse. Es sind Hohlräume 1., 2. und 3. Ordnung zu sehen. Die unzersetzten dunklen, lehmig-tonigen Bodenkrümel sind von einem lichterem Mantel zeolithischer Quellschubstanz umgeben. Kleinste Partikelchen schweben in der Wasserführung der Hohlräume, teils flockige Zersetzungsprodukte, teils splitterige Mineralteilchen. Links oben am Bildrand eine Kokkenkolonie auf einem mittelgrauen organischen Restkörper. Bildvergrößerung 500:1. Durchmesser der schlauchförmigen Hohlräume 1. Ordnung etwa 0,02 mm. Mikrophotographic.

Mikroskop bei mindestens 300—400facher Vergrößerung, da die meisten Pollenkörner sehr klein sind. Für die Diagnostizierung der Pollen sind besondere Pollenatlanten (z. B. MEINCKE, vgl. Literaturangaben!) ausgearbeitet worden, doch sind Pollenabbildungen der wichtigsten Bäume zu meist in größeren Botaniklehrbüchern enthalten. Die Böden werden „horizontweise“ auf ihren Pollengehalt untersucht, also in Tiefenproben aus 5, 10, 15, 20 cm usw. oder für jede fazielle Horizontänderung. Die aufgefundenen Pollen werden in Waldbaumpollen, Gräserpollen usw. geschieden. Für Zwecke der „Paläoklimatologie“ und „Paläoöforistik“ werden alle Waldbaumpollen = 100% gesetzt und die prozentuelle Verteilung der einzelnen Bäume in jedem Horizont festgehalten. Auf den geologischen, klimatologischen und botanischen Wert dieser Untersuchungsmethode kann in der vorliegenden Arbeit nicht eingegangen werden (sie ist anderen Beiträgen dieser Zeitschrift vorbehalten). Als Auswertungsbeispiel seien die

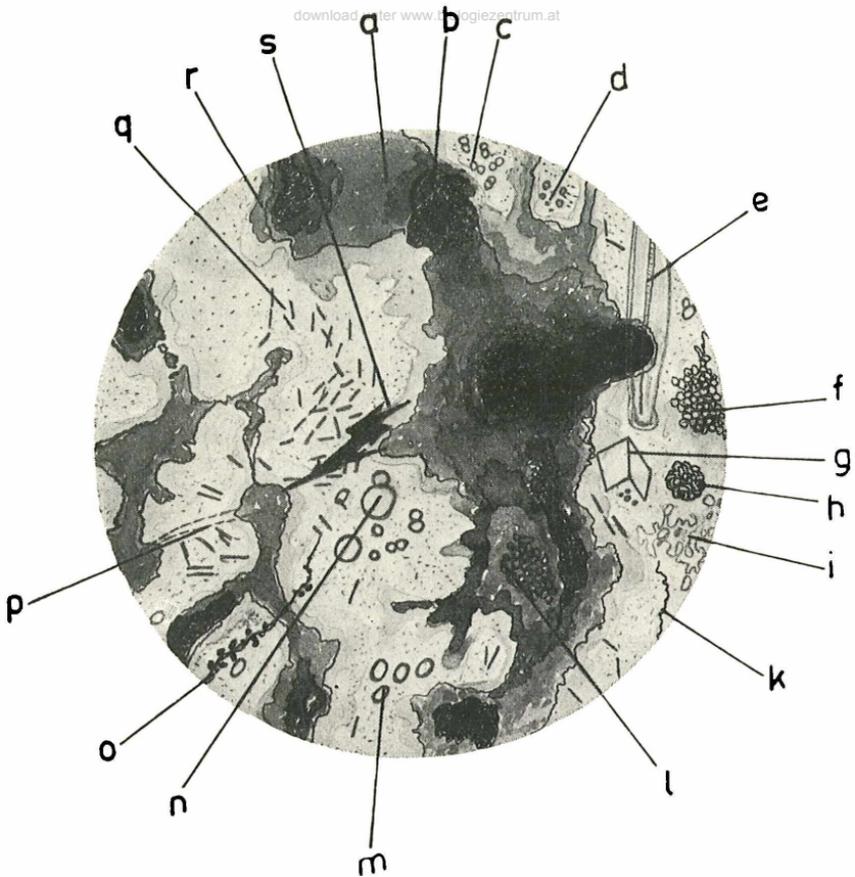


Abb. 6. Filmpräparat einer Bodenprobe. Trocknung und Trockenfixierung eines Abklatsches auf einem mit Klebstoff bestrichenen Filmstreifen. Ausfärbung mit Methylenblau.

a Bodenkrümel, b dunkle Zentralzonen der Krümel, zumeist umhüllte Mineralreste, c Hohlraum mit Diplokokken, d Sandkörnchen, e eine Kieselalge, f Staphylokokken, g ein Doppelkristall, h Pollenkorn, i Myxomyzete, k Wurzelhaar, l organischer Rest mit Kokken, m Algen, n Hefen mit Sporen, o Wurzelhaar mit Pilzen (Mykorrhiza), p Fadenbazillen, q Bodenbakterien, r schleimige Randhülle der Bodenkrümel (Quellsubstanzen), s Spießkristall. Bildvergrößerung 700:1.

Abb. 2 und 3 betrachtet, die graphische Pollendiagramme darstellen. Jedem Horizont entspricht hiebei ein Pollenspektrum.

6. Das gesamte Strukturbild des Bodens unter dem Mikroskop. Alle vorangegangenen Methoden zerlegten den Boden und denaturierten ihn mehr oder minder (vgl. Abb. 4). Will man seinen Aufbau, die gewordenen Strukturen, Lagerungsverhältnisse der Kleinteilchen, Raum-

beziehungen zwischen Mineral<sup>ter</sup> Verwitterungsprodukt, Kapillarsystem, Mikroorganismen usw. studieren, eignet sich folgender Vorgang hiezu: Man gräbt frischen Boden auf, schneidet mit einem Messer einen Würfel von etwa 4 cm Kantenlänge aus, von diesem Würfel mit einer Rasierklinge ein kleines Ziegelchen von etwa 10 10 mm bei 3 mm Dicke. Dieses Ziegelchen klebt man mit Zelluloid-Amylazetat auf einen Objektträger und trocknet nun eine Woche lang (zuerst an der Zimmerluft, dann im Exsikkator). So dann schabt man mit einem Messer das trockene, mürbe Ziegelchen dünn, bis man auf jene Schicht kommt, in die bereits der Klebstoff eingedrungen ist. Diesen hartgewordenen Klebstoff reibt man nun mit einem Schmirgelblock weiter dünn. Die eingebetteten Bodenpartikeln werden hierbei durchscheinend, besonders die Hohlraumstrukturen zeigen sich sehr gut. Ausfärbungen können mit Methylenblau vorgenommen werden, nicht aber mit Jod-Jodkalium, weil sich Amylazetat sofort dunkelblau färbt und das Bild zerstört. Rückbleichungen mit Alkohol können vorsichtig durchgeführt werden. Diese Dünnschliffpräparate enthüllen uns einen vielfältigen Einblick in die Strukturwelt des Bodens, den man nicht umsonst einen „Organismus“ oder ein „Komplexgebilde“ genannt hat (vgl. Abb. 5).

Will man die feinsten Strukturen für starke Vergrößerung und zum Beobachten der Mikroflora festhalten, geht man nach der „Filmmethode“ vor, die im Beitrag über fossile Pflanzen von E. HOFFMANN in *Mikroskopie* 1 (1946), 3/4:78 ff. beschrieben ist. Statt der sirupdicken Lösung von Zelluloid in Amylazetat kann man auch käuflichen Azetonklebstoff verwenden. Man träufelt auf eine Bodenprobe einige Tropfen einer sehr verdünnten „Nährlösung“ von 1 Promille Kaliumphosphat, 1 Promille Ammoniumnitrat, 0,5 Promille Magnesiumsulfat und einer Spur Kochsalz in Leitungswasser. Hierauf läßt man bei guter Zimmerwärme unter einem umgestülpten Glasbecher (Staubschutz!) zwei Tage lang stehen. Es ertwickelt sich eine reiche Flora. Man bestreicht ein Stück Filmstreifen oder einen Zellophanstreifen mit Azetonklebstoff oder Amylazetat-Zelluloid-Lösung und klatscht ihn leicht auf die Bodenprobe, wobei man mit dem Zeigefinger noch ein wenig darüberstreicht und leicht andrückt. Es bleiben zahlreiche Partikelchen auf der Klebeschicht hängen. Unerwünschte „Riesen“ entfernt man mit der Spitze der Präpariernadel, alles andere trocknet man unter Staubschutz. Nach dem Trocknen wird mit Methylenblau ausgefärbt. Solcherart gewonnene, sehr durchsichtige Proben eignen sich für die stärkste Vergrößerung (vgl. Abb. 6).

Für die Enthüllung der feinsten Strukturen und zartester Lebewesen empfiehlt sich folgender Vorgang: Man trägt mittels des allbekannten Zerstäubers (Fixateurs), wie ihn Zeichner zum Fixieren von Zeichnungen verwenden, eine feine Schichte Fixierflüssigkeit (farbloser Lack in Alkohol) auf einen Filmstreifen auf und klatscht in halbtrockenem Zustand die Bodenprobe ab. Man kann so hauchdünne Abklatsche herstellen.

7. Pilzkulturen. Zur Feststellung der Bodenfruchtbarkeit (d. i. Beurteilung der tatsächlich von Pflanzen aufzunehmaren Nährstoffe)

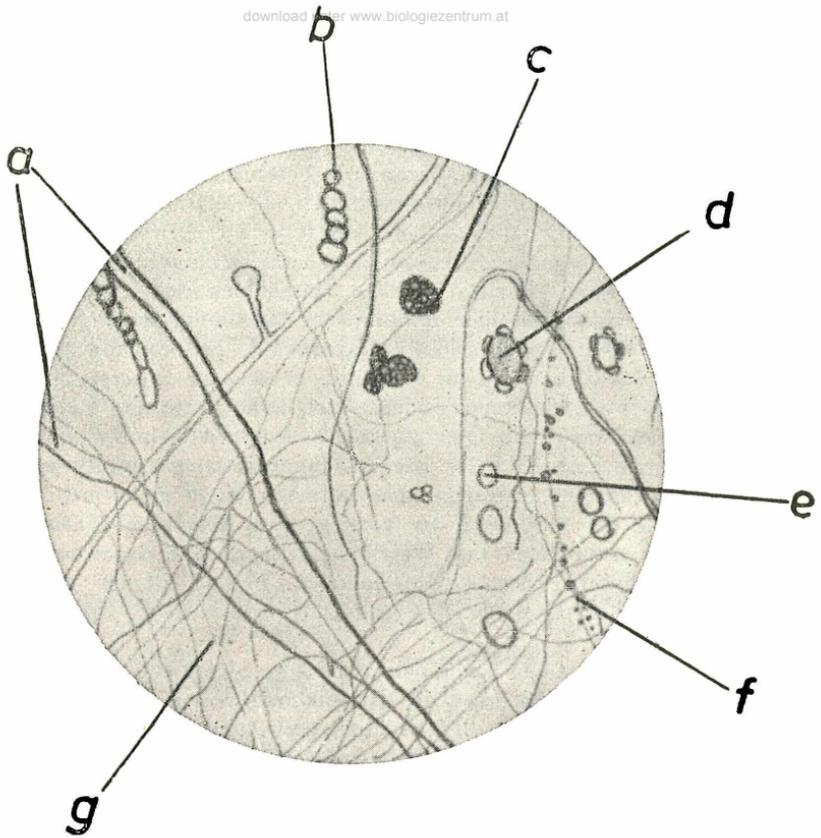


Abb. 7. Pilzrasenkultur aus einem mittelschweren Tonboden, mit Nährlösung gezüchtet (vgl. Text).

a Myzelgeflecht von *Aspergillus niger*, b Konidien, c ein Sporeenträger, d Sporeenträger im Querschnitt, e abgelöste einzelne Konidien, f Sporen, g feinste Myzelfäden. Vergrößerung 250:1.

werden bekanntlich Pilzrasen gezüchtet (NIKLAS, HONCAMP, SEKERA u. a.). Es genügt z. B. eine 5% ige Tanninlösung, der man je 1 Promille Ammonsulfat, 0,1 Promille Ammonphosphat prim., 0,1 Promille Kaliumsulfat und eine geringere Spur Kupfersulfat zusetzt, um den typischen Bodenzpilz *Aspergillus niger* wuchern zu lassen. Die Entwicklung seines Rasens ist ein Maßstab für die Bodenergiebigkeit. Zur mikroskopischen Untersuchung nimmt man mit einer Präpariernadel eine (nicht zu große) Probe aus dem Pilzgeflecht und befeuchtet sie mit Glycerin, drückt vorhandene Luftblasen mit der Nadel gut aus und beobachtet unter dem Deckglas bei schwacher Vergrößerung (vgl. Abb. 7). Die Methode ist bei allen Schimmelpilzen (von der spezifischen Nährflüssigkeit abgesehen) die gleiche.

## II. Gesichtspunkte für angewandte mikroskopische Bodenuntersuchung

Künstliche Nährflüssigkeiten und Pilzrasenkulturen für agronomische Zwecke leiten uns bereits zur angewandten Bodenmikroskopie. Sie besteht in der Verwendung aller im Abschnitt I beschriebenen Methoden zu besonderen, z. B. geologischen, geognostischen, agrarpraktischen, bautechnischen, technologischen, balneographischen u. a. Zwecken. Nachfolgend eine kurze Skizzierung dieser Anwendungsbereiche angefügt.

Geologie und Bodenkunde entnehmen der bodenmikroskopischen Analyse Aufschluß über mineralische Zusammensetzung, Grad und Umfang der Verwitterung, selektive Korrosion, Strukturbild u. dgl. Unentbehrlich ist das Mikroskop für die Untersuchung denudierter, abradierter, fossilisierter oder verschütteter Böden. Auch Prähistorie und Paläoklimatologie, Eiszeitforschung und Glazialgeologie bedienen sich des Mikroskops. Das sichtbar gemachte Bild der Kleinzusammensetzung enthüllt unzweifelhaft „Bodenstrukturen“, die dem unbewaffneten Auge nicht mehr sichtbar sind. So konnte der Verfasser der vorliegenden Arbeit bei Triest Spuren ehemaliger Schwemmböden und Terra-rossa-Lager gut nachweisen (siehe Literaturverzeichnis), ebenso Weidenpollen und *Triticum vulgare* in „fossilen“ Talbodenresten der Nebrodiica (Nordsizilien; vgl. Literaturverzeichnis).

Die agrarpraktische Bodenmikroskopie stellt die Korngrößen und den Korrosionsgrad der Bodenkonstituenten fest und kann mit Hilfe der oben beschriebenen Dünnschliff- und Abklatschmethode wichtigen Einblick in die Bodenstruktur erhalten. Die biologischen Methoden, wie z. B. *Aspergillus*-Kultur, wurden bereits unter Punkt I/7 dargelegt. Ähnlich lassen sich Reinkulturen von *Azotobacter chroococcum* (auf Mannitlösungen) züchten. Feststellung des Bakteriengehaltes erfolgt nach den Angaben von Punkt I/5. Organische Reste lassen sich mit Jod-Jodkalium-Lösung nachweisen (Stärke und Zellulose blau, Eiweißsubstanzen gelb bis gelbbraun). Die Reaktion gelingt nach Befeuchtung mit 1%iger  $\text{NH}_3$ -Lösung besser; oft geht sie langsam vor sich (2—3 Stunden).

Wirtschaft und Technik benötigen vielfach Bodenbeurteilungen, die sich mikroskopisch rasch durchführen lassen, z. B. Reinheitsgrad von Sanden für Glasfabrikation, von Röteln und Ocker für Farbenfabriken, ebenso von Kieselgur u. a. Gartenerde, Moor, Moorerde und Torf, getrockneter Schlamm u. dgl. zeigen ihre Zusammensetzung im wesentlichen schnell und einwandfrei unter dem Mikroskop. Pflanzliche Bestandteile in Torf, Moorerde usw. lassen sich oft besonders deutlich in Verbrennungsbildern (Spodogrammen) durch vorsichtige Verkohlungen erkennen. Auch Verkohlungsreste aus Glaskölbchen (trockene Destillation bei höheren Temperaturen bis zu teilweiser Zerstörung der organischen Substanzen) eignen sich zu diagnostischen Zwecken sehr gut. Zahlreiche bodenhaltige Produkte des Handels können mikroskopiert werden; so ergab eine Untersuchung des bekannten

Düngerpräparats „Humit“, die in der Ökologischen Versuchsstation, Wien XIII, durchgeführt wurde, folgendes:

Amorpher, fein zerriebener Kalk, (reichlich),  
Humus in Gel-Zustand (wahrscheinlich mit Kalklösung eingedampft),  
zahlreiche organische Bruchstückchen aus Torf,  
sehr viele organische Keime, Sporen usw. (Schüttelanalyse: 500 Mill./1 ccm).  
Aufzucht der Mikroflora (durch Befeuchten mit Leitungswasser): *Micrococcus*,  
*Bac. subtilis*, *Diplokokken*, *Fadenbazillen*, wenig *Konjugaten* und *Spirochäten*,  
*Kugelhefen*, vereinzelt *Infusorien*.

Amorphe Tonpartikelchen; Schlammprobe: TYNDALL-Effekt. Wahrscheinliche Herkunft demnach: Gemisch aus Ton oder Teichschlamm, Kalkmergel, Zusatz von Torf und Produkten aus Mistbeeten oder Gartenerde. Das Erzeugnis ist tatsächlich (der Firmenreklame entsprechend) als keimreicher Gartendünger zu bezeichnen.

Die kursorisch aufgezählten Beispiele der praktischen Bodenmikroskopie mögen zur Kennzeichnung dieses weiten und ausbaufähigen Forschungsgebietes genügen.

### Literatur

- Fabry R.*, Bodenkundliche Versuche. Unterr.-Bl. Mathem. u. Naturwiss. Jg. 1942, 6. Leipzig.
- Francé R. H.*, Das Edaphon. München, 1913.
- Fuchs-Brauns*, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. 8. Aufl., Gießen, 1930.
- Gams H.*, Die Ergebnisse der pollenanalytischen Forschung in bezug auf die Geschichte der Vegetation und des Klimas von Europa. Z. Gletscherkunde 1927.
- Grünsteidl E.*, Praktikum der Warenkunde. Wien, 1931.
- Hochholzer H.*, Aerosol und Kryoplankton in Wiener Schneefällen. Mikroskopie 2 (1947), 7/8: 235—244.
- Hochholzer H.*, Vor- und frühgeschichtliche Kulturgeographie Siziliens. „Anthropos“, 1937, Wien-Mödling.
- Junge Formveränderungen der Altwässer der Donau bei Wien. Z. Geomorph. 1929, Leipzig.
- Küstenformen des Golfs von Triest. Z. Geomorph. 1930, Leipzig.
- Kolkwitz R., Tödt F.*, Einfache Untersuchungen von Boden und Wasser. Jena, 1941.
- Meincke H.*, Atlas und Bestimmungsschlüssel zur Pollenanalytik. Bot. Arch. XIX (Königsberg 1927), 5/6.
- Till A.*, Bodenkundlicher Führer durch Österreich. Wien, 1926.
- Wahnschaffe F., Schucht F.*, Wiss. Bodenunters. Berlin, 1924 ff.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik](#)

Jahr/Year: 1948

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Hochholzer Hans

Artikel/Article: [Mikroskopische Bodenuntersuchung. 203-217](#)