

Noch sind wir nicht am Ende, indem eine Anzahl Forscher sich auch der Floristik der Kryptogamen zugewendet haben. Auch hierin ist die Saat SCHRÖTER's zu erkennen, hat er sich doch selber in mehreren Studien mit dem Seenplankton befasst. Von ihm angeregt, haben eine Anzahl jüngerer Forscher limnologische Arbeiten ausgeführt. Hierüber lese man in pag. 283 nach.

Das Aufspüren vieler und verwunden laufender Fäden und Zusammenhänge ergibt ein eindrucksvolles Bild. Der einzelne Forscher liesse sich ohne die Beziehungen kaum denken. Er ist ein Zweig nur an einem mächtig gewordenen Baum, der seine Wurzeln besitzt in einem Erdreich, durch Jahrhunderte geschaffen von zahlreichen fortschrittlichen und den Naturwissenschaftlern ergebenden Zürcher Forschern.

---

## Die Entwicklung der Bodenkunde in Zürich

Von

H. PALLMANN

### I. Die Bodenkunde als selbständige Wissenschaft. Der Begriff «Boden»

Die Bodenkunde löste sich erst vor ungefähr 60—80 Jahren aus der Vormundschaft der Petrographie und Geologie, bzw. der Ackerbaulehre; sie entwickelte sich zur selbständigen Wissenschaft mit eigener Problemstellung und spezifischen Arbeitsmethoden; Chemie, Physik, Biologie, Geologie und Petrographie wurden zu ihren unentbehrlichen Hilfswissenschaften.

Die sog. Zweckbestimmung des Bodens und seine Abhängigkeit vom verwitternden Gestein bestimmten seinerzeit die begriffliche Fassung; so zeigte sich früher die Bindung der Bodenkunde an die Ackerbaulehre in der Definition «Boden ist die oberste, zum Pflanzentragen geeignete Erdschicht der festen Erdrinde»; die starke Verknüpfung mit der Geologie und Petrographie ergab sich aus der Feststellung «Boden ist die oberste Verwitterungsschicht der festen Erdkruste». Sowohl die Eignung des Bodens zum Pflanzentragen als auch seine teilweise Abstammung vom Gestein kennzeichnen ihn nur einseitig und unvollkommen. Bodenbildung ist mehr als Gesteinsverwitterung, und die wesentlichsten Eigenschaften werden durch die «Eignung zum Pflanzentragen» nur zum geringen Teil umrissen.

Das agrikulturchemische Institut der ETH in Zürich, einziges Hochschulinstitut der Schweiz, wo Bodenkunde als selbständige Wissenschaft in Lehre und Forschung gepflegt wird, definiert den Boden heute umfassender:

«Als Boden bezeichnet man die durch physikalische und chemische Gesteinsverwitterung, durch biogene Umsetzungen organischer Humusbildner und durch mannigfache Verlagerungsprozesse entstandene polydisperse Lockerschicht der festen

Erdkruste. Das Bodenprofil (vertikaler Anschnitt) weist meist mehrere, durch Anordnungsfolge, Mächtigkeit, Chemismus, Farbe, Körnung, gekennzeichnete Horizonte auf. Diese können den Mikroorganismen und der Bodenfauna als Lebensraum, den höheren Pflanzen als Wurzelort dienen. Der Boden ist unter dem Einfluss des Klimas und der hydrologischen Standortverhältnisse (Grundwasser, Staunässe, etc.), der mechanischen Verlagerungsvorgänge (Abtrag, Aufschüttung, Durchwaschung, Durchwühlung) und der biotischen Umwelt (Pflanzen, Tiere, Menschen) dauernd in Umformung begriffen» (PALLMANN).

In der Bodenkunde zeichnen sich bereits verschiedene Spezialrichtungen ab: Bodenchemie, Bodenphysik und Bodenbiologie sind die wichtigsten. Zum Studium der mannigfachen Wechselbeziehungen zwischen Bodenbildung und Vegetationsentwicklung arbeiten Bodenkundler mit Pflanzensoziologen und Förstern zusammen. Diese Zusammenarbeit ist auch mit dem Ackerbauforscher (Bodenbearbeitung, Düngung) vonnöten; sie drängt sich auf mit dem Erdbaumechaniker, dem Kulturingenieur und dem Klimatologen. Petrographen, Zoologen und Mikrobiologen sind berufene Förderer der Bodenkunde.

## II. Der Anteil zürcherischer Forschung an der Entwicklung der Bodenkunde

Die Bodenkunde verdankt wertvolle Beiträge den Instituten für Petrographie und Mineralogie, für Geologie, für spezielle und allgemeine Botanik, für allgemeinen Ackerbau, für landwirtschaftliche Bakteriologie, für Kulturtechnik und Erdbaumechanik an der ETH., ferner dem geobotanischen Institut RÜBEL und den Eidg. Landwirtschaftlichen Versuchsanstalten.

Im Folgenden soll im Rahmen einer allgemeinen Darlegung der Bodenbildung und der Bodeneigenschaften der zürcherische Beitrag zur Entwicklung der Bodenkunde in den letzten 50 Jahren angedeutet werden. Die mit Namen angeführten Forscher wirkten in Zürich, oder sie sind zum Teil hier noch tätig.

### 1. Die Bodenbildung.

An der Bodenbildung sind im wesentlichen drei Vorgangsgruppen beteiligt:

- a) die physikalische und chemische Gesteinsverwitterung;
- b) die Humusbildung (Zerfall, Humifizierung, mikrobielle Neusynthese);
- c) die Verlagerung der Verwitterungs- und Humifizierungsprodukte im Bodenprofil.

Die Bodenbildung hängt von zahlreichen Variablen ab: vom Allgemeinklima der Gegend, dem Lokalklima des Ortes, vom Relief der Landesoberfläche, von der Vegetation, vom Gesteinschemismus, von der Gesteinskörnung und -lagerung. Es spielen die Wasserverhältnisse, die der Bodenbildung

zur Verfügung stehende Zeit und die mannigfachen Einwirkungen des Menschen und der Tiere eine Rolle.

a) Die Gesteinsverwitterung. Durch physikalische und chemische Verwitterung werden massiger Fels, bzw. ursprüngliche Gesteinsmineralien in gelockerte, feinzerteilte (hochdisperse) und chemisch oft stark vom Ausgangsmaterial abweichende anorganische Bodensubstanz umgewandelt. Die physikalische Verwitterung dispergiert das Gestein durch Spaltenfrost, Temperaturschwankungen, durch Scheuer- und Mahlwirkung der im Eis, Wasser oder Wind bewegten Gesteinstrümmen, durch Wurzeldruck usw. Ihre Bedeutung liegt in der Schaffung von Reaktionsoberflächen, an denen die chemische Verwitterung intensiviert ansetzen kann. Die Dispersität (= Zerteilungsgrad) der anfallenden Verwitterungsprodukte wirkt sich naturgemäss stark auf Wasser-, Luft- und Wärmeregime, Adsorptionskapazität, Gefügestabilität, Druckfestigkeit usw. aus. Von WIEGNER † und GESSNER, ferner von ESENWEIN stammen wichtige methodische Verbesserungen der Körnungsanalyse der Lockergesteine und Böden. Die verschiedenen Bodenarten werden nach den Kornklassenanteilen der anorganischen Komponenten klassifiziert (Sand-, Lehm- und Tonböden und ihre Zwischenglieder). Klassifikationsvorschläge verdankt man NOWACKI † und DISERENS, WIEGNER † und in neuerer Zeit NIGGLI. (Vgl. Fachgebiet Mineralogie und Petrographie in diesem Band.)

Die chemische Verwitterung wandelt das Gestein in bodeneigene, unter Oberflächenbedingungen stabilere, chemisch und feinbaulich vom Ausgangsmaterial verschiedene Verwitterungsprodukte um. (Tone, kolloide Kieselsäure-, Sesquioxyde, kristalline Neubildungen etc.) Die chemische Verwitterung ist an die Gegenwart von Wasser gebunden, sie wird durch steigende Temperaturen intensiviert. Die wichtigsten chemischen Verwitterungsreaktionen sind: Hydratation, Oxydation, Hydrolyse, Lösung und mannigfache Umsetzungen mit im Bodenwasser gelösten Säuren und Basen.

Eingehende Untersuchungen über die chemische Gesteinsverwitterung liegen von GRUBENMANN † und NIGGLI vor. Die für die Bodenbildung wichtige Oberflächenverwitterung stellt nur eine intensivierte Fortsetzung der Tiefenverwitterung der Gesteine dar. Daher haben diese Untersuchungen unmittelbare Bedeutung für die Bodenkunde.

Die chemische Bauschanalyse der Profile wichtiger schweizerischer Bodentypen beweist den grossen Anteil der chemischen Gesteinsverwitterung an der Bodenbildung (NIGGLI, GSCHWIND, JENNY, PALLMANN, GESSNER, GEERING, FREI). Diese Methode besitzt aber bei Bodenuntersuchungen ihre Grenzen. Besonders bei jüngern Böden sind die bauschchemischen Unterschiede zwischen dem Grundgestein und den darauf entstandenen Böden oft recht klein. Spezielle Verfahren suchen nur die eigentlichen Verwitterungshüllen und deren Kationenbesetzungen — die für das kolloidchemische Verhalten massgebend sind — rings um die wenig

verwitterten Gesteins- und Mineralkerne, wie auch die dispergierungsbe-reitern gelartigen Neubildungen festzustellen. (Auszüge mit Säuren, Dis-pergierung mit Soda und Oxalaten, Elektrodialyse) (PALLMANN, HAMDİ).

Durch die Verwitterung des Gesteins und durch die unten zu erörternde Humusbildung entsteht das polydisperse System des Bodens, das neben grobdispersen noch kolloid- und angströmdisperse Anteile auf-weist. Durch WIEGNER † und seine Schule wurden die Problemstellung der Dispersitätschemie und deren Arbeitsverfahren bewusst auf den Bo-den angewandt und damit eine Spezialrichtung der Bodenkunde begrün-det, die besonders fruchtbar war. WIEGNER † zeigte, dass dieselben Ge-setze mehr oder minder quantitativ variierend für alle drei Zerteilungs-klassen gelten. Von Bedeutung sind vor allem: die Oberflächenentwick-lung, der äussere Dispersitätsgrad, die elektrochemische Grenzflächen-gestaltung, der Chemismus und der Feinbau des dispersen Anteils. Sie be-dingen weitgehend Ausmass und qualitative Besonderheit der Grenzflä-chenreaktionen, wie Ionenumtausch, Adsorption polarer und apolarer Molekel, inklusive des Wassers. Die Verlagerungsbereitschaft im Boden-filter ist davon abhängig. Die wichtigsten Oberflächenreaktionen wurden zunächst an geeigneten Modells-substanzen studiert, bevor das komplexe System des Bodens in die Studien einbezogen werden konnte. Die Ionen-umtauschprozesse, die für die mannigfaltigen Wechselreaktionen zwi-schen den Bodenteilchen unter sich und zwischen den Bodenteil-chen und den Pflanzenwurzeln bedeutsam sind, wurden eingehend an Permutiten, später an verschiedenen Tonen (Kaoliniten und Mont-morilloniten) abgeklärt. Der Einfluss der Ioneneigenschaften (Radius, Ladung, Deformierbarkeit, Hydratation), des Feinbaus der Umtausch-körper und der dielektrischen Eigenschaften des Dispersionsmittels auf den Ionenumtausch wurden in zahlreichen Arbeiten abgeklärt (WIEG-NER †, JENNY, GALLAY, WEISZ, K. W. MÜLLER, PALLMANN, CERNESCU, HASLER, GRAF, ZADMARD). Auf Grund des speziellen Umtauschverhal-ten konnten die Umtauschkörper klassifiziert werden. Die Gesetze der Koagulation, der Dispergierung, des Fliessverhaltens und der Hydra-tation konnten ebenfalls befriedigend formuliert werden (WIEGNER †, TUORILA, GALLAY, H. MÜLLER, SCHERF, PALLMANN). Die Ultramikroskopie (WIEGNER †, RUSSELL) und die Methoden zur Messung der elektrokineti-schen Teilchenpotentiale wurden ausgebaut (TUORILA, DI GLERIA, AL-BAREDA). Die Untersuchungen über die Bodenazidität und allgemein über die Wasserstoffionenaktivität disperser Systeme ergab neuartige und wert-volle Gesichtspunkte (WIEGNER †, PALLMANN, MUSIEROWICZ, ALBAREDA, WERNER).

- b) Die Humusbildung. Die Humusforschung nahm in den letzten 15 Jahren am agrikulturchemischen Institut der ETH einen breiten Raum ein. Die Humusentstehung, die Kolloideigenschaften des Humus, seine Morphologie und Klassifikation wurden besonders intensiv stu-diert (PALLMANN, SCHMUZIGER, HASLER, JUNKER, PERRENOUD, HAMDİ,

FREI). Als Gesamthumus werden sämtliche organischen Stoffe des Bodens zusammengefasst, die aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren (= Humusbildner) entstehen. Im Gesamthumus finden sich grundsätzlich sämtliche Stadien der Zersetzung und Humifizierung vereinigt.

Die drei wichtigen, durch stete Übergänge verbundenen Humifizierungsstadien des Gesamthumus sind: die Humusbildner, die Humoide und die Humusstoffe i.e.S. (PALLMANN, FREI). Sie unterscheiden sich im Chemismus und im räumlichen Aufbau. Ihr Anteil variiert in verschiedenen Bodentypen und deren Horizonten. Die Humusstoffe, wie auch die sog. Humussäuren sind keine einheitlichen chemischen Verbindungen, wie früher angenommen; es sind Gemenge, in denen die Ligninderivate, die mikrobiellen Eiweisse und Hemizellulosen dominieren. Feinbaulich erweisen sich die Humusstoffe als amorph und lockerstruiert; sie besitzen eine riesige spezifische Oberfläche. Der Reichtum dieser Grenzflächen an ionogenen und hydrophilen Gruppen erklärt das hohe Adsorptionsvermögen für Ionen, Molekel, einschliesslich Wasser. Das kolloidchemische Verhalten des Humus (Ionen-umtausch, Wasserbindung, Koagulation, Dispergierung, Schutzwirkung und Klebekraft) entspricht weitgehend dem chemischen Aufbau und der permutoiden Struktur. (PALLMANN, HASLER, ZADMARD, SCHMUZIGER). Der Gemengenatur des Humus entsprechend sind die Reaktionseigentümlichkeiten nicht immer einfach zu deuten. Es war auch hier angezeigt, mit geeigneten Modellsubstanzen das dispersoidchemische Verhalten der Humusstoffe einzugabeln. So entstanden zahlreiche Untersuchungen über das amorphe Lignin und dessen Oxydationsprodukte (JUNKER, PERRENOUD), das Pektin und das Carubin als Vertreter der Hemizellulosen (DEUEL, WEBER, PILNIK), das amorphe Eiweiss des Caseins wie auch über die kristalline Graphitsäure (HAMDI) als Modellsubstanz für kryptokristalline Humussäuren. Die innerkristallinen Reaktionen der Graphitsäure mit Aminosäuren und Eiweissen wurden chemisch, dispersoidologisch und röntgenographisch untersucht. Diese Einlagerungsreaktionen wurden bereits vor einigen Jahren von amerikanischen Autoren als bodenkundlich wichtig betrachtet; sie finden sich sowohl bei kristallinen Tonen als auch bei Humusstoffen.

Die Humusmorphologie und Klassifikation wurde auf Grund der mikroskopischen Dünnschliffanalysen durch FREI gefördert. Der Humus und seine Gemenge- und Komplexprodukte mit anorganischen Bodenkolloiden sind für die verschiedenen Bodentypen recht spezifisch; die klassifikatorische Ordnung bedeutete einen Fortschritt. Die verschiedenen Humusformen der schweizerischen Bodentypen sind auch in ihrer komplexchemischen Zusammensetzung verschieden; die Verlagerungsbereitschaft hängt zum Teil davon ab (PALLMANN, SCHMUZIGER, HASLER). Auf die praktische pflanzenbauliche Bedeutung des Humus (Verbesserung der physikalischen Bodeneigen-

schaften, des biologischen Milieus) weist mit Nachdruck STÖCKLI hin. Humus lockert schwere und bindet sandige Böden. Dank der feindispersen und klebkräftigen Humuskitte werden die anorganischen Feinerde-  
teilchen bei Gegenwart genügender Koagulatoren (Mg, Ca, Fe etc.) zu stabilen Krümeln aggregiert.

c) Die Verlagerung der Verwitterungs- und Humifizierungsprodukte im Bodenprofil.

Durch Verwitterung und Humusbildung entsteht eine Lockerschicht fester Komponenten, verschieden in Chemismus, Gefügeart und -stabilität und Zerteilungsgrad. Luft und Gase sind darin beigemischt; je nach dem Gefügetypus und den Befeuchtungsverhältnissen variieren die jeweiligen Anteile. Durch ENGLER und BURGER, später von ETTER wurden Wald- und Freilandböden in natürlicher Lagerung auf ihre Porosität, Wasser- und Luftkapazität untersucht.

Die Lockerschichten unterliegen zahlreichen Verlagerungsmöglichkeiten, die deren ursprüngliche Eigenschaften grundlegend zu ändern vermögen:

1. der mechanischen Bodenschichten-Verlagerung (Abtrag, Aufschüttung, Ausspülung, Verwehung);
2. der mechanischen Bodenschichten-Mischung (durch Arbeitsgeräte und wühlende Bodentiere);
3. der Perkulationsverlagerung feindisperser Bodenanteile mit dem zirkulierenden Bodenwasser (Auslaugung und Anreicherung gelöster und dispergierter Anteile in den verschiedenen Horizonten, allseitige Diffusionsverschiebungen etc.).

Die Bodenschichten-Verlagerung umfasst alle erosiven Vorgänge, deren Bedeutung in der Schweiz sehr gross ist. Amputationen der Oberböden oder Aufschüttungen verändern die Profilmächtigkeiten und den sog. Entwicklungsgrad der Böden. Die Gefügestabilität und das Wasserhaltungsvermögen der Böden spielen für die Erosionsbereitschaft eine wichtige Rolle (ENGLER, BURGER, FREI, RICHARD).

Die Bodenschichten-Mischung durch die Arbeitsgeräte der Landwirte und durch die wühlenden Bodentiere wirkt sich nicht nur auf die Bodenreifung aus, sondern auch weitgehend auf das Gefüge der Böden und das biologische Milieu für die Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln. Es werden zur Zeit die Methoden der Gefügeuntersuchung ausgebaut; die Gefügeklassifizierung steht noch aus (RICHARD, FREI). Besonders aussichtsreich erweist sich die mikroskopische Dünnschliffuntersuchung des Bodens (FREI).

Die Perkulationsverlagerung spielt eine Hauptrolle bei der Entstehung der sog. klimatischen und auch der petrogenen Bodentypen. Die Lockerschicht des Bodens dient dabei als Filter, durch das die im Bodenwasser gelösten und dispergierten Bodenkomponenten perkolieren. Es bieten sich dem Kolloidchemiker beim Studium dieser Per-

kolationsvorgänge reizvolle Probleme: er studiert den Chemismus der Wanderstoffe und die physikalisch-chemischen Voraussetzungen ihrer hohen Dispersität und spätern Koagulation. So wurden in den letzten Jahren besonders die Podsolierungsvorgänge in den subalpinen Nadelwäldböden abgeklärt. Dort werden im sauren Bodenfilter unter Mitwirkung eiweissreicher und peptisierter Humusstoffe vor allem die Sesquioxide wanderfähig. Ihre Wegwanderung aus dem Oberboden schafft die bleichen Auslaugehorizonte, sie reichern sich durch isoelektrische Koagulation in tiefergelegenen Illuvialhorizonten an und verleihen diesen die ziegelrote bis humusbraun-rote Farbe und das verdichtete bis zementierte Gefüge. In unreifen Braunerden können die Tone im Profil wandern, wenn sie durch kieselsäurereiche Sesquioxidkomplexe vor vorzeitiger Ausflockung geschützt werden (PALLMANN, HAMDI, FREI). Mit der systematischen Untersuchung der Perkolationsvorgänge in den wichtigsten Bodentypen der Erde befasst sich unser Institut.

## 2. Die Boden- und Vegetationsentwicklung.

Eine Spezialität der Bodenkundler in Zürich ist das Studium der mannigfachen Zusammenhänge zwischen Vegetationsentwicklung und Bodenbildung in Zusammenarbeit mit den Pflanzensoziologen. BRAUN-BLANQUET und KOCH machten sich hierin als Soziologen besonders verdient. Manche Zusammenarbeit danken wir LÜDI. Der Boden ist kein statisches, unveränderliches System; er entwickelt sich: er ist jung, er reift und altert. Parallel dieser Bodenentwicklung entwickeln sich die natürlichen Pflanzengesellschaften. BRAUN-BLANQUET und JENNY studierten diese Probleme in der alpinen Stufe (Caricetum firmae-Elynetum-Curvuletum). Die Bodenverhältnisse im Klimaxgebiet des Rhodoreto-Vaccinion wurden durch PALLMANN und HAFFTER bearbeitet. Das Eisenpodsol ist dort dem Arven-Lärchenwald eigen. Langjährige Untersuchungen über die Wald- und Bodenentwicklung im Unterengadiner Dolomitgebiet liegen von BRAUN-BLANQUET und PALLMANN vor. KOCH, LÜDI, ETTER, RICHARD, KURTH und TREPP erweiterten unsere Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Boden und Laubwaldgesellschaften der montanen Stufe, während KOCH, ZOBRIST und MAYER die Nassbodengesellschaften des Schoenetum und des Geranieto-Filipenduletum mit ihren Böden wissenschaftlich bearbeiteten. Die Erforschung der Moore knüpft sich ferner an die Namen von FRÜH und SCHRÖTER, KOCH, P. KELLER und LÜDI. Die Kenntnis der Boden- und Vegetationsentwicklung besitzt für den Waldbau grundlegende Bedeutung.

## 3. Die Kartierung der Böden der Schweiz und die Klassifikation der Böden.

Das reife Bodenprofil weist meistens mehrere Horizonte auf. Die Bodenklassifikation gründet sich auf statisch-analytische Merkmale des Profils (Anordnungsfolge der Horizonte, deren Physik, Morphologie, Chemie

und Biologie) und auf sog. genetische Merkmale (Entwicklungsrichtung, Entwicklungsgrad, Perkolationssystem). Der Ausbau der Bodenklassifikation ist noch in vollem Fluss (PALLMANN). Folgende mittlere und untere Einheiten werden von der Zürcher Schule unterschieden:

**Bodentypen**: sie gründen sich auf das vorherrschende Perkolationssystem (Bodenfilter, Art der Wanderstoffe und Perkulationsrichtung);

**Bodenuntertypen**: sie richten sich nach dem Entwicklungsgrad des Profils (Rohböden, unentwickelte, reife und degradierte Profile).

**Bodenvarietäten** = Ortsböden: sie werden durch die morphologische, physikalische, chemische und biologische Eigenart bestimmter Horizonte oder des Gesamtprofils unterschieden (Mächtigkeit, Humusgehalt, Humusform, Nährstoffgehalt etc.).

**Bodenarten**: sie werden durch die Dispersität der anorganischen Bodenanteile gekennzeichnet (Sand-, Lehm- und Tonböden, bzw. deren Zwischenstufen).

Die Perkolationssysteme zeigen eine sehr starke Abhängigkeit vom Klima (Niederschlags- und Temperaturregime). A. MEYER kennzeichnet die bodenkundliche wichtige Humidität des Klimas durch den sog. N:S-Quotienten ( $N = \text{Jahresniederschläge}$ ,  $S = \text{absolutes Sättigungsdefizit der Luft für mittlere Jahrestemperatur und mittlere rel. Feuchtigkeit berechnet}$ ). Es ergeben sich bei grossräumiger Betrachtung klare Zusammenhänge zwischen Boden- und Klimazonen. Neben dem Klima spielt besonders bei den relativ jungen Bodenbildungen der Schweiz auch der Chemismus des Gesteins eine Rolle. Die Bodenserienkarte der Schweiz lässt diese Zusammenhänge deutlich erkennen. Die erste schweizerische Bodentypenkarte stammt von JENNY; sie wurde anfangs der dreissiger Jahre durch PALLMANN und GESSNER vervollständigt. In ihr figurieren die Hauptbodenserien: im Mittelland dominiert die Braunerdeserie auf sedimentären Mischgesteinen; in der subalpinen Stufe erscheint die Podsolserie auf Silikatgesteinen und die Serie der degradierten Humuskarbonatböden auf karbonatreichem Muttergestein. Die alpine Stufe der Alpen wird durch die Serie der Humussilikatböden und unentwickelten Humuskarbonatböden beherrscht, während die nivale Stufe vorwiegend unter der Herrschaft der Rohböden steht. Im untern Tessin findet sich die Serie der «insubrischen» Braunerden und Rendzinen, während im Walliser Trockengebiet, besonders unter der natürlichen Steppenvegetation unbewässerter Gebiete, sich die tchernosemähnlichen (schwarzerdeähnlichen) Walliser Böden finden.

#### 4. Bodenbiologie.

Die biologische Tätigkeit des Bodens umfasst alle Vorgänge, die durch die Wurzeln höherer Pflanzen, die Mikroflora, Mikrofauna und die grössern Bodentiere verursacht werden. Zahl und Artenzusammensetzung der Bodenlebewesen und deren Aktivität hängen kompliziert von den Bodenverhältnissen und dem Klima ab (Chemismus, Säuregrad, Durchlüftung, Tem-



peratur, Feuchtigkeit etc.). Die verschiedenen Bodentypen und selbst die Bodenvarietäten unterscheiden sich in ihrer Biologie zum Teil sehr stark voneinander. Die Pflanzenwurzeln greifen durch ihre Ausscheidungsprodukte (Säuren, Gerbstoffe etc.) die Bodensubstanz an. Eichen- und Fichtenwurzeln führen in versauerten Böden durch die ausgeschiedenen Gerbstoffe die Eisenhydroxyde in lösliche Eisengerbstoffkomplexe über; durch deren Diffusion erhält der Boden marmoriertes Aussehen, ein Anzeichen für starke schädliche Bodendegradation (PALLMANN, RICHARD).

Bakterien und Pilze spielen eine Hauptrolle bei der Humifizierung: durch ihre spezifischen Fermente bauen sie die Humusbildner ab. Die Abbauprodukte werden von den Kleinlebewesen selbst verwertet, teils dienen sie direkt als wurzelresorbierbare Nährstoffe den höheren Pflanzen ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_3$ , bestimmte Aminosäuren). Stickstofffixierende Mikroorganismen binden den Stickstoff der Luft und stellen diesen den höhern Pflanzen zur Verfügung. Die bakteriologischen Bodenverhältnisse sind vor allem von DÜGGELI, BLÖCHLINGER und STÖCKLI untersucht worden. Bodenmykologische Untersuchungen liegen in der Schweiz relativ wenige vor; Schwierigkeiten methodischer Art erklären dies. Von PALLMANN und RICHARD stammt eine neue Methode zur näherungsweise quantitativen Messung der biologischen Bodenaktivität: in das Bodenprofil eingezogene Eiweiss- und Zelluloseschnüre genormter Reissfestigkeit werden dem biogenen Angriff ausgesetzt; aus dem Reissfestigkeitsverlust, resp. aus dem Abbau der Zellulose und Eiweisse wird auf die Intensität der mikrobiellen Vorgänge geschlossen.

Die Bodentiere zerkleinern die Humusbildner; im Verdauungstrakt werden die organischen Substanzen mit Mikroorganismen und evtl. mit mineralischer Feinerde gemengt und chemisch umgewandelt. Die mikroskopische Dünnschliffuntersuchung des Bodens gestattet, den Anteil der verschiedenen Bodentiere wie auch deren Arbeitsintensität zu verfolgen (FREI). Wichtig ist die zoogene Bodenschichtenmischung durch Kleintiere und Mäuse. Sie arbeiten der Bodenauslaugung und somit der Bodendegradation (Versauerung, Verarmung an Nährstoffen, Bildung luftabschliessender saurer Auflagehumushorizonte) entgegen. Gleichzeitig lockert die Bodenfauna das Bodengefüge und begünstigt damit die Tätigkeit der aeroben, landwirtschaftlich und forstlich wertvollen Mikroorganismen (STÖCKLI, FREI).