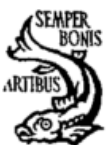


BODEN- BIOLOGIE

Von Professor Dr. agr. habil. Georg Müller

Direktor des Institutes für Bodenkunde und Mikrobiologie der Karl-Marx-Universität Leipzig

Mit 107 Abbildungen und 117 Tabellen



VEB GUSTAV FISCHER VERLAG JENA · 1965

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Aufgaben und Ziele der Bodenbiologie	17
Geschichte der Bodenbiologie	21
1. Die Bodenorganismen	27
1.1. Allgemeines über Morphologie, Systematik, Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen und Physiologie der Bodenflora	28
1.1.1. Morphologie der Bodenflora	28
1.1.2. Systematik, Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Bodenflora	34
1.1.2.1. Die Bakteriensystematik	34
1.1.2.1.1. Systematik nach BERGEY (1957)	35
1.1.2.1.2. Systematik nach KRASIL'NIKOV (1949)	41
1.1.2.2. Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Bodenbakterien ..	44
1.1.2.3. Die Pilzsystematik	48
1.1.2.3.1. Systematik nach CLEMENTS und SHEAR (1954)	49
1.1.2.4. Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Bodenpilze	56
1.1.2.5. Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Bodenalgen	60
1.1.2.6. Die Flechten	63
1.1.3. Physiologie der Bodenflora	64
1.1.3.1. Die chemische Zusammensetzung der Zelle	64
1.1.3.2. Die Stoffgruppe der Enzyme und ihre Wirkungsweise bei den Lebensvorgängen ..	68
1.1.3.3. Antibiotika und Wirkstoffe und deren physiologische Bedeutung	71
1.1.3.4. Die physikochemischen Eigenschaften der Zelle	74
1.1.3.5. Die kolloidchemischen Eigenschaften der Zellsubstanz	75
1.1.3.6. Die Art der Ernährung bzw. der Stoffwechselfvorgänge	77
1.1.3.6.1. Autotrophe Bodenbakterien	78
1.1.3.6.2. Heterotrophe Bodenmikroorganismen	81
1.1.3.7. Der Baustoffwechsel	83
1.1.3.8. Der Betriebsstoffwechsel	87
1.1.3.8.1. Anaerobe Atmung und Gärungen	90
1.1.3.8.2. Abbau der Eiweiße	97
1.1.3.8.3. Abbau der Fette	100
1.1.3.8.4. Denitrifikation und Desulfurifikation	100

1.1.3.9.	Zur Definition der aeroben und anaeroben Lebensweise der Mikroorganismen ..	101
1.1.3.10.	Mikrobiologische Vorgänge, energetisch betrachtet	102
1.2.	Allgemeines über Systematik, Morphologie, Physiologie, Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Bodenfauna	104
1.2.1.	Systematik der Tiere nach A. KAESTNER (1954–1963), fortgesetzt nach C. CLAUS, K. GROBBEN, A. KÜHN (1932)	104
1.2.2.	Morphologie und Physiologie der Einzeller (<i>Protozoa</i>)	109
1.2.3.	Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Protozoen des Bodens	114
1.2.3.1.	Stamm <i>Flagellata</i> (Geißeltiere)	114
1.2.3.2.	Stamm <i>Rhizopoda</i> (Wurzelfüßler)	116
1.2.3.3.	Stamm <i>Ciliata</i> (Wimpertiere)	118
1.2.4.	Morphologie und Physiologie der Vielzeller (<i>Metazoa</i>)	122
1.2.4.1.	Morphologie	122
1.2.4.2.	Physiologie	124
1.2.4.2.1.	Bau- und Betriebsstoffwechsel	124
1.2.4.2.2.	Physiologie der Bewegung	131
1.2.4.2.3.	Reizerscheinungen	132
1.2.4.2.4.	Physiologie der Entwicklung	136
1.2.5.	Vorkommen und Lebensweise der systematischen Gruppen der Metazoen des Bodens	137
1.2.5.1.	Klasse <i>Turbellaria</i> (Strudelwürmer)	137
1.2.5.2.	Klasse <i>Rotatoria</i> (Rädertiere)	138
1.2.5.3.	Klasse <i>Nematodes</i> (Fadenwürmer)	139
1.2.5.4.	Klasse <i>Gastropoda</i> (Schnecken)	143
1.2.5.5.	Stammgruppe <i>Articulata</i> (Gliedertiere)	145
1.2.5.5.1.	Familie <i>Enchytraeidae</i>	146
1.2.5.5.2.	Familie <i>Lumbricidae</i>	147
1.2.5.6.	Stamm <i>Tardigrada</i> (Bärtierchen)	154
1.2.5.7.	Stamm <i>Arthropoda</i> (Gliederfüßler)	155
	Klasse <i>Arachnida</i> (Spinnentiere)	155
1.2.5.7.1.	Ordnung <i>Scorpiones</i> (Skorpione)	156
1.2.5.7.2.	Ordnung <i>Araneae</i> (Spinnen)	156
1.2.5.7.3.	Ordnung <i>Opiliones</i> (Weberknechte)	158
1.2.5.7.4.	Ordnung <i>Acari</i> (Milben)	159
1.2.5.8.	Klasse <i>Crustacea</i> (Krebse)	164
1.2.5.8.1.	Ordnung <i>Isopoda</i> (Asseln)	165
1.2.5.8.2.	Ordnung <i>Amphipoda</i>	166
1.2.5.9.	Klasse <i>Myriapoda</i> (Tausendfüßler)	166
1.2.5.9.1.	Unterklasse <i>Chilopoda</i> (Hundertfüßler)	167
1.2.5.9.2.	Unterklasse <i>Diplopoda</i> (Doppelfüßler)	167
1.2.5.9.3.	Unterklasse <i>Pauropoda</i> (Wenigfüßler)	169
1.2.5.9.4.	Unterklasse <i>Symphyla</i>	169
1.2.5.10.	Klasse <i>Hexapoda</i> (Insekten)	169
1.2.5.10.1.	Unterklasse <i>Collembola</i>	170
1.2.5.10.2.	Unterklasse <i>Protura</i>	182
1.2.5.10.3.	Unterklasse <i>Diplura</i>	182
1.2.5.10.4.	Unterklasse <i>Thysanura</i>	182

1.2.5.10.5.	Unterklasse <i>Pterygota</i> [Überordnung <i>Embioidea</i> , <i>Orthopteroidea</i> (Geradflügler), <i>Blattoidea</i> , <i>Psocoidea</i> , <i>Thysanopteroidea</i> (Blasenfüße), <i>Hemipteroidea</i> (Schnabelkerfe), <i>Hymenopteroidea</i> (Hautflügler), <i>Coleopteroidea</i> (Käfer), <i>Neuropteroidea</i> (Netzflügler)]	183
1.2.5.11.	Kreis <i>Vertebrata</i> (Wirbeltiere)	197
1.2.5.11.1.	Klasse <i>Amphibia</i> (Lurche)	197
1.2.5.11.2.	Klasse <i>Reptilia</i> (Kriechtiere)	197
1.2.5.11.3.	Klasse <i>Aves</i> (Vögel)	198
1.2.5.11.4.	Klasse <i>Mammalia</i> (Säugetiere)	198
2.	Methodik	201
2.1.	Allgemeines über Methodik der Erfassung und Deutung der Bodenorganismen und ihrer Leistungen	201
2.2.	Erfordernisse der bodenbiologischen Versuchstechnik	205
2.2.1.	Arbeitsräume	205
2.2.2.	Arbeits- und Hilfsgeräte	206
2.2.3.	Das Versuchsfeld	212
2.3.	Methodik der Erfassung und Deutung der Bodenmikroflora	215
2.3.1.	Probeentnahme im Freiland und Vorbereitungsarbeiten im Laboratorium	215
2.3.1.1.	Die Probeentnahme im Freiland	216
2.3.1.2.	Die Vorbereitungsarbeiten im Laboratorium	218
2.3.2.	Direkte Methoden zur quantitativen und qualitativen Erfassung der Mikroorganismen des Bodens	221
2.3.3.	Indirekte Methoden zur quantitativen und qualitativen Erfassung der Mikroorganismen des Bodens	225
2.3.3.1.	Das KOCHSche Plattengußverfahren	226
2.3.3.2.	Das Verdünnungsverfahren	231
2.3.4.	Die fehlerkritische Deutung der mit Hilfe von direkten und indirekten mikrobiologischen Erfassungsmethoden ermittelten Meßwerte	232
2.3.4.1.	Beispiel einer varianzanalytischen Versuchsauswertung	238
2.3.5.	Spezielle Methoden der Isolierung und Züchtung einiger physiologischer Gruppen von Bodenbakterien	255
2.3.5.1.	Die Isolierung und Züchtung der nitrifizierenden Bakterien	257
2.3.5.2.	Die Isolierung und Züchtung luftstickstoffbindender Bakterien	259
2.3.5.3.	Die Isolierung und Züchtung zellulosezersetzender Bakterien	263
2.3.5.4.	Die Isolierung und Züchtung sonstiger physiologischer Gruppen von Bakterien	265
2.3.6.	Prüfung der morphologischen und physiologischen Eigenschaften, die bei der Diagnostik der Bakterien von besonderer Bedeutung sind	269
2.3.7.	Spezielle Methoden der Isolierung und Züchtung von Bodenpilzen	275
2.3.8.	Methoden der Isolierung und Züchtung von Bodenalgen	278
2.3.9.	Methoden zur Ermittlung der biologischen Aktivität des Bodens	281
2.3.9.1.	Die Bodenatmung als Maß der biologischen Aktivität	282
2.3.9.2.	Der Fermentgehalt des Bodens als Maßstab seiner biologischen Aktivität	285
2.3.9.3.	Verfahren zur Bestimmung der Ammonifikation, der Nitrifikation, der Luftstickstoffbindung und der Zellulosezersetzung	287
2.3.10.	Mikrobiologische Methoden zur Bestimmung des Nährstoffgehaltes und der Düngewirkung des Bodens	290

2.3.11.	Methoden zur Ermittlung antagonistischer Beziehungen der Bodenmikroflora ...	294
2.3.12.	Methoden zur Prüfung der Mikroflora der Rhizosphäre	297
2.3.13.	Die Anwendung von Isotopen auf bodenbiologischem Gebiet	300
2.4.	Methoden der Erfassung und Deutung der Bodenfauna	303
2.4.1.	Allgemeines über die Analyse der Zoozönose und ihrer Leistung	303
2.4.2.	Methoden der Erfassung und Deutung der Einzeller (<i>Protozoa</i>)	314
2.4.3.	Methoden der Erfassung und Deutung der Vielzeller (<i>Metazoa</i>)	320
2.4.3.1.	Methoden der Erfassung und Deutung der Organismen der Tierklassen <i>Turbellaria</i> , <i>Rotatoria</i> und <i>Nematodes</i>	320
2.4.3.2.	Methoden der Erfassung und Deutung der Organismen der Tierstämme <i>Mollusca</i> , <i>Annelida</i> und <i>Tardigrada</i>	322
2.4.3.3.	Methoden der Erfassung und Deutung der Organismen des Tierstammes <i>Arthro-</i> <i>poda</i>	324
2.4.3.3.1.	Siebe- und Spülverfahren	325
2.4.3.3.2.	Die automatische Auslesemethode nach WINKLER-MOCZARSKI	326
2.4.3.3.3.	Die automatische Auslesemethode nach A. BERLESE und A. TULLGREN	327
2.4.3.3.4.	Die Tetrachlorkohlenstoff-Methode nach K. SGONINA und die Flotationsmethode nach W. LADELL	331
2.4.3.3.5.	Die Kochsalzschwemmethode nach G. MÜLLER	332
2.4.3.3.6.	Hinweise zur künstlichen Haltung und Züchtung sowie zur Präparation der Boden- arthropoden	338
3.	Allgemeines über Anzahl und Vorkommen der Bodenorganismen in Ab- hängigkeit von den Standortbedingungen	341
3.1.	Der Einfluß der gesteins- und bodenbildenden Minerale auf die Bodenorganismen	348
3.2.	Der Einfluß der organischen Bodensubstanz (Humus) auf die Bodenorganismen ...	354
3.3.	Der Einfluß der Bodenluft auf die Bodenorganismen	357
3.4.	Der Einfluß des Bodenwassers auf die Bodenorganismen	363
3.5.	Der Einfluß der Bodentemperatur auf die Bodenorganismen	371
3.6.	Der Einfluß der Textur und Struktur auf die Bodenorganismen	374
3.7.	Der Einfluß der Sorptions-, Reaktions- und der Redoxeigenschaften des Bodens auf die Bodenorganismen	386
3.7.1.	Sorptionseigenschaften	386
3.7.2.	Bodenreaktion	396
3.7.3.	Redoxeigenschaften	400
3.8.	Strahlenenergetische Einflüsse auf die Bodenorganismen	402
3.9.	Der komplexe Einfluß der Standortfaktoren auf das Bodenleben	406
3.10.	Regionale Verbreitung der Bodenorganismen	415
4.	Leistungen der Bodenorganismen	423
4.1.	Kreislauf der Stoffe	423
4.1.1.	Kreislauf des Kohlenstoffes	425
4.1.1.1.	Zelluloseabbau	428

4.1.1.1.1.	Enzymgarnituren	430
4.1.1.1.2.	Bedeutung des Sauerstoffes	430
4.1.1.1.3.	Zellulolytische Bakterien und Pilze	431
4.1.1.1.4.	Standortfaktoren	434
4.1.1.1.5.	Zwischen- und Endprodukte	436
4.1.1.2.	Abbau der Hemizellulosen und Pektine	437
4.1.1.3.	Abbau des Lignins	439
4.1.1.4.	Stärkeabbau	442
4.1.1.5.	Abbau von Zuckern und Säuren	442
4.1.1.6.	Abbau der Fette und Wachse	443
4.1.1.7.	Abbau der Mono- und Dikarbonsäuren	444
4.1.1.8.	Abbau der Gerbstoffe	445
4.1.1.9.	Abbau der Kohlenwasserstoffe	445
4.1.1.10.	Abbau der Phenole und aromatischen organischen Säuren	446
4.1.1.11.	Abbau des Kautschuks und der Plaste	447
4.1.2.	Kreislauf des Stickstoffes	448
4.1.2.1.	Ammonifikation	449
4.1.2.1.1.	Eiweißzersetzer	451
4.1.2.1.2.	Enzymgarnituren	451
4.1.2.1.3.	Zwischen- und Endprodukte (Abbau von Aminosäuren; Dekarboxylierung und Desaminierung)	451
4.1.2.1.4.	Abbau von Proteiden	456
4.1.2.1.5.	Abbau nichteiweißartiger Stickstoffverbindungen [Lezithin; Karbamid (Harnstoff); Hippursäure; Säureamide; Alkaloide]	456
4.1.2.1.6.	Die Bedeutung des Stallmistes für die Ammonifikation (C: N-Verhältnis; Düngerrotte)	458
4.1.2.1.7.	Die Bedeutung der Jauche für die Ammonifikation	460
4.1.2.1.8.	Standortfaktoren (Bodenreaktion; Durchlüftung; Bodentemperatur)	460
4.1.2.2.	Nitrifikation	461
4.1.2.2.1.	Nitrifikanten	462
4.1.2.2.2.	Biochemische Reaktionen der Nitrifikation	463
4.1.2.2.3.	Standortfaktoren (Licht; Durchlüftung; Feuchtigkeit; Bodenreaktion; Spurenelemente; Bakterielle Assoziationen)	465
4.1.2.3.	Nitratreduktion und Denitrifikation	468
4.1.2.3.1.	Nitratreduzierende Mikroorganismen	468
4.1.2.3.2.	Denitrifizierende Mikroorganismen	469
4.1.2.3.3.	Chemisch-energetische Vorgänge der Nitratreduktion und Denitrifikation	470
4.1.2.3.4.	Standortfaktoren	471
4.1.2.4.	Bindung des atmosphärischen Stickstoffes	472
4.1.2.4.1.	Freilebende Stickstoffbinder (<i>Azotobacter</i> ; <i>Clostridium</i> ; Chemismus der Stickstoffbindung durch freilebende Stickstoffbinder; Stickstoffbindung durch Bodenpilze und Algen; Höhe des Stickstoffgewinns)	474
4.1.2.4.2.	Stickstoffbindung durch Symbionten (Morphologische Variabilität der Knöllchenbakterien; die Gattung <i>Rhizobium</i> ; Ernährungsphysiologische Ansprüche; Standortfaktoren; Bakteriophagen; Infektion; Biochemische Reaktionen bei der Stickstoffbindung)	485
4.1.2.4.3.	Stickstoffbindung durch Erlen, Ölweidengewächse und Gagelstrauch	496
4.1.2.4.4.	Blattsymbiosen	498
4.1.2.4.5.	Symbiontische Stickstoffbindung bei Nichtleguminosen	498
4.1.3.	Kreislauf der Mineralstoffe	499
4.1.3.1.	Kreislauf des Schwefels	499

4.1.3.1.1.	Mikrobieller Abbau des organisch gebundenen Schwefels	502
4.1.3.1.2.	Oxydation mineralischer Schwefelverbindungen	503
4.1.3.1.3.	Schwefelbakterien	503
4.1.3.1.4.	Standortfaktoren	509
4.1.3.1.5.	Schwefelbedarf der Kulturpflanzen	510
4.1.3.1.6.	Schwefel im Boden	510
4.1.3.2.	Kreislauf des Eisens	512
4.1.3.2.1.	Mikroorganismen des Eisenkreislaufes	513
4.1.3.3.	Kreislauf des Mangans	517
4.1.3.4.	Kreislauf des Phosphors	519
4.1.3.4.1.	Anorganische Phosphorverbindungen des Bodens	519
4.1.3.4.2.	Organische Phosphorverbindungen des Bodens	521
4.1.3.4.3.	Rolle der Mikroorganismen	522
4.1.3.5.	Kreislauf des Kaliums	526
4.1.3.6.	Kreislauf des Kalziums	528
4.1.3.7.	Kreislauf des Magnesiums	530
4.1.3.8.	Kreislauf der Spurenelemente	531
4.1.3.8.1.	Silizium	531
4.1.3.8.2.	Aluminium	532
4.1.3.8.3.	Zink	532
4.1.3.8.4.	Selen	532
4.1.3.8.5.	Tellur	532
4.1.3.8.6.	Arsen	532
4.1.3.8.7.	Molybdän	532
4.1.3.8.8.	Bor	534
4.1.3.8.9.	Kupfer	534
4.1.3.8.10.	Kobalt	535
4.2.	Mineralisierungs- und Humifizierungsvorgänge der organischen Bodensubstanz	535
4.2.1.	Definition und Gliederung der organischen Substanz des Bodens (Humus)	535
4.2.2.	Allgemeines über Mineralisierungs- und Humifizierungsvorgänge	537
4.2.2.1.	Ernte- und Wurzelrückstände	537
4.2.2.2.	Bestandesabfall	538
4.2.2.3.	Stoffwechselfürige Verbindungen	539
4.2.2.4.	C : N-Verhältnis	540
4.2.2.5.	Säure : Basen-Verhältnis	541
4.2.2.6.	Lignin : Zellulose-Verhältnis	541
4.2.2.7.	Wirkstoffgehalt der Ernterückstände	541
4.2.2.8.	Standortfaktoren	543
4.2.3.	Die Bodentiere als Wegbereiter der Mineralisation und Humifikation. Die Entstehung der Humusformen	544
4.2.3.1.	Die energetische Ausnutzung der Nahrung	545
4.2.3.2.	Die morphologische Umwandlung der Vegetationsrückstände durch Bodentiere	545
4.2.3.2.1.	Beteiligung der Bakterien und Pilze	548
4.2.3.3.	Die Holzzersetzung	549
4.2.4.	Terrestrische Humusformen	552
4.2.4.1.	Rohhumus	552
4.2.4.2.	Moder	553
4.2.4.3.	Mull	553
4.2.5.	Humusarten und Bodenatmung	554

4.2.5.1.	Nährhumus	554
4.2.5.2.	Dauerhumus	555
4.2.5.3.	CO ₂ -Bildung	555
4.2.5.3.1.	Beziehung zwischen Keimgehalt und CO ₂ -Produktion	558
4.2.5.3.2.	Ausmaß und Intensität der CO ₂ -Bildung	558
4.2.5.3.3.	Bodenreaktion und CO ₂ -Bildung	560
4.2.5.3.4.	Durchlüftung und CO ₂ -Bildung	560
4.2.5.3.5.	Temperatur, Feuchtigkeit und CO ₂ -Bildung	561
4.2.5.3.6.	Jahresgang der Bodenatmung	562
4.2.6.	Humusbestandteile	562
4.2.6.1.	Nichthuminstoffe	562
4.2.6.2.	Huminstoffe	563
4.2.6.2.1.	Fulvosäuren	563
4.2.6.2.2.	Hymatomelansäuren	563
4.2.6.2.3.	Braun- und Grauhuminsäuren	564
4.2.6.2.4.	Humine und Humuskohle	564
4.2.7.	Bildung der Huminstoffe auf vorwiegend biologischer Grundlage	564
4.2.7.1.	Huminstoffbildung auf chemischer Basis	565
4.2.7.2.	Huminstoffbildung auf biologischer Basis	565
4.2.7.2.1.	Huminstoffbildung im Zellinneren	566
4.2.7.2.2.	Huminstoffbildung aus chinoiden Mikrobenfarbstoffen	566
4.2.7.2.3.	Huminstoffbildung durch ektoenzymatische Oxydation von aromatischen Verbindungen	566
4.2.7.2.4.	Huminstoffbildung in aromatenfreien Systemen	567
4.2.7.2.5.	Standortbedingungen	567
4.2.7.2.6.	Beteiligung der Bodentiere an der Huminstoffbildung	568
4.2.8.	Der mikrobielle Huminstoffabbau	570
4.2.9.	Dynamik des Huminstoffaufbaues und des Huminstoffabbaues in Abhängigkeit von den Standortbedingungen	571
4.2.9.1.	Güte der anfallenden Ausgangssubstanz	573
4.2.9.2.	Aschegehalt	573
4.2.9.3.	Entwicklungsalter	574
4.2.9.4.	Einfluß des Sonnenlichtes	574
4.2.9.5.	Einfluß der Temperatur	575
4.2.9.6.	Einfluß der Feuchtigkeit	575
4.2.9.7.	Einfluß der Durchlüftung	576
4.2.9.8.	Einfluß des Nährstoffgehaltes und des pH-Wertes	577
4.2.9.9.	Einfluß der qualitativen Zusammensetzung der Humusausgangssubstanz	578
4.2.10.	Humusmengen	579
4.2.11.	Humusspiegel	580
4.2.12.	Nährstoffnachlieferungsvermögen	581
4.3.	Verwitterung der anorganischen Bodenbestandteile	583
4.3.1.	Die physikalische oder mechanische Verwitterung	583
4.3.2.	Die chemische Verwitterung	584
4.3.3.	Die biologische Verwitterung	585
4.3.3.1.	Bakterien, Pilze und Algen	585
4.3.3.2.	Blualgen und Grünalgen	587
4.3.3.3.	Flechten	588
4.3.3.4.	Moose	588

4.4.	Zusammenleben der Organismen im Boden	589
4.4.1.	Zusammenleben der Mikroorganismen	589
4.4.1.1.	Metabiose	590
4.4.1.2.	Wirkstoffbeeinflusste Beziehungen	590
4.4.1.2.1.	Antibiotika	592
4.4.1.3.	Symbiosen	595
4.4.1.3.1.	Die Flechte	596
4.4.2.	Zusammenleben der Mikroorganismen mit höheren Pflanzen	597
4.4.2.1.	Rhizosphäre	597
4.4.2.1.1.	Besiedlungsdichte	598
4.4.2.1.2.	Mikroorganismen der Rhizosphäre — Ernährungsphysiologische Besonderheiten	599
4.4.2.1.3.	Das Verhalten der wichtigsten Bakteriengruppen in der Rhizosphäre	602
4.4.2.1.4.	Die landwirtschaftliche Bedeutung der Rhizosphäre	603
4.4.2.2.	Symbiosen zwischen Mikroorganismen und höheren Pflanzen	605
4.4.2.2.1.	Die Symbiose der Knöllchenbakterien mit Leguminosen	605
4.4.2.2.2.	Die Symbiose der Pilze mit Pflanzenwurzeln (Mykorrhiza); (Ektotrophe Mykorrhiza; Endotrophe Mykorrhiza; Pilzgattungen und Arten der Mykorrhiza; Mykorrhiza der Moose, Farne, Ericaceen, Pirolaceen, Apocynaceen und Asclepiadaceen, Gentinaceen, der Pflanzen des Hochgebirges, Orchideen, Wald- und Obstbäume, der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen)	605
4.4.2.2.3.	Bildung der Mykorrhiza	612
4.4.2.2.4.	Kohlenstoff- und Stickstoffernährung	613
4.4.2.2.5.	Standortbedingungen	615
4.4.2.2.6.	Funktion der Lebensgemeinschaft	617
4.5.	Die Bedeutung der Bodenorganismen für die Entwicklung der Böden	622
4.5.1.	Biologische Charakterisierung der wichtigsten Bodentypen Mitteleuropas	622
4.5.1.1.	Rohböden (Syrosem)	623
4.5.1.2.	Ranker	624
4.5.1.3.	Rendzina	624
4.5.1.4.	Schwarzerden	626
4.5.1.5.	Braunerden	627
4.5.1.6.	Podsol	628
4.5.1.7.	Pseudogley	631
4.5.1.8.	Gley	632
4.5.1.9.	Auböden	633
4.5.1.10.	Marschböden	635
4.5.1.11.	Moore	635
5.	Beeinflussung des Bodenlebens durch Kulturmaßnahmen	639
5.1.	Meliorative Maßnahmen	642
5.1.1.	Die meliorative Tiefkultur	642
5.1.1.1.	Vertiefung der Ackerkrume	643
5.1.1.1.1.	Bodenbiologische Gegebenheiten in tiefbearbeiteten und tiefgedüngten leichten Sandböden — Strukturverhältnisse — Bodenbakterien und Bodenpilze — Collambolen und Milben	643
5.1.2.	Die meliorativen Nutzungs- und Urbarmachungsverfahren der Moore	652
5.1.2.1.	Die Beteiligung der Mikroorganismen bei der Huminstoffbildung im Moor	652

5.1.2.1.1.	Hochmoor und Heidegebiete	654
5.1.2.1.2.	Niedermoor	655
5.2.	Die landwirtschaftliche Abwasserwertung	657
5.2.1.	Der Einfluß des Abwassers auf das Bodenleben	659
5.2.1.1.	Nährstoffgehalt	659
5.2.1.2.	Mikroorganismengehalt des Abwassers	660
5.2.1.3.	Gehalt an Krankheitserregern	660
5.2.1.4.	Einfluß des Abwassers auf Bodenatmung, Nitrifikation und Gesamtkeimzahl	662
5.2.1.5.	Einfluß des Abwassers auf die Bodenfauna	663
5.3.	Die Rekultivierung von Kippenböden	664
5.3.1.	Die bodenmikrobiologischen Verhältnisse	666
5.3.2.	Die faunistischen Verhältnisse	668
5.4.	Die Bodenbearbeitung	669
5.4.1.	Bodengare als Grundlage der Bodenpflege	669
5.4.2.	Bestellungs- und Pflegearbeiten	673
5.4.2.1.	Methoden der Bodenbearbeitung	673
5.4.2.1.1.	Die Pflugarbeit – Pflugtiefe – Mikrobiologische Veränderungen bei der Vertiefung der Ackerkrume – Zeitpunkt der Bodenbearbeitung – Beseitigung von Boden- verdichtungen	674
5.4.2.1.2.	Schälflug	678
5.4.2.1.3.	Schleppe und Schleifenbalken	678
5.4.2.1.4.	Grubber	678
5.4.2.1.5.	Egge	679
5.4.2.1.6.	Walze	679
5.4.2.1.7.	Motorisierung der Bodenbearbeitung	679
5.5.	Düngung	681
5.5.1.	Organische Düngung	681
5.5.1.1.	Stallmist	681
5.5.1.1.1.	Mikrobiologie der Stallmistrotte	682
5.5.1.1.2.	Dynamik der chemischen Umsetzungen	683
5.5.1.1.3.	Stickstoffbilanz	685
5.5.1.1.4.	Berechnung des Stallmistanfalles	685
5.5.1.1.5.	Wirkung des Stallmistes auf Boden, Bodenleben und höhere Pflanzen	686
5.5.1.1.6.	Dauerhumus	692
5.5.1.1.7.	Zeitpunkt der Stalldungeinbringung	692
5.5.1.1.8.	Tiefe der Stalldungeinbringung	693
5.5.1.1.9.	Wirkung der verschiedenen Stallmistarten	693
5.5.1.2.	Jauche und Gülle	694
5.5.1.3.	Strohdüngung	695
5.5.1.4.	Gründüngung	697
5.5.1.5.	Kompost	698
5.5.2.	Mineraldüngung	699
5.5.2.1.	Einfluß des Mineraldüngers auf die Bodenorganismen	700
5.5.2.2.	Stickstoffdüngung	701
5.5.2.2.1.	Kalkstickstoff	702
5.5.2.2.2.	Bodenatmung und N-Düngung	702
5.5.2.2.3.	Ammoniakwasser	703

5.5.2.2.4.	Ammonsalpeter	703
5.5.2.2.5.	Schwefelsaures Ammoniak	703
5.5.2.3.	Phosphorsäuredüngung	703
5.5.2.4.	Kalidüngung	704
5.5.2.5.	Kalkung	705
5.5.2.6.	Düngung mit Spurenelementen	706
5.6.	Bodenimpfung	707
5.6.1.	Impfung mit <i>Rhizobium</i> präparaten	709
5.6.1.1.	Herstellung von Impfpräparaten	710
5.6.1.2.	Virulenz der <i>Rhizobium</i> stämmen	711
5.6.1.3.	Standortfaktoren	712
5.6.2.	<i>Azotobacter</i> -Impfung	715
5.6.2.1.	Herstellung von Impfkulturen	715
5.6.2.2.	Wirksamkeit von Impfmaßnahmen	716
5.6.3.	Verwertung schwer löslicher organischer oder anorganischer Verbindungen durch Mikroorganismen	717
5.6.3.1.	AMB-Mischpräparate	718
5.6.3.2.	Löslichmachung der Phosphorsäure	718
5.6.4.	Mykorrhiza-Impfung	719
5.7.	Pflanzenbau und Pflanzenschutz	719
5.7.1.	Grünland und Feldfutterbau	719
5.7.1.1.	Dauergrünland der Niedermoore	720
5.7.1.1.1.	Mikrobiologie der Moorböden	720
5.7.1.1.2.	Mikroflora des Dauergrünlandes auf Mineralböden	726
5.7.1.1.3.	Mikro- und Mesofauna der Moorstandorte	726
5.7.1.2.	Feldfutterbau	729
5.7.1.2.1.	Einfluß des Feldfutterbaues auf das Bodenleben	730
5.7.1.3.	Fruchtfolgen	748
5.7.1.3.1.	Einfluß der Fruchtfolge auf das Bodenleben	750
5.8.	Zum Problem der Bodenmüdigkeit und des Einflusses der Bodenentseuchungs-, Pflanzenschutz- und Unkrautbekämpfungsmittel auf das Bodenleben	756
5.8.1.	Die Bodenmüdigkeit	756
5.8.2.	Einfluß der Pflanzenschutz- und Unkrautbekämpfungsmittel auf das Bodenleben ..	759
	Literaturverzeichnis	763
	Verzeichnis der Art- und Gattungsnamen	845
	Sachverzeichnis	869