

**Pareys
Studientexte**

81

**Blackwell
Wissenschaft**

Ernst Schlichting · Hans-Peter Blume · Karl Stahr

Bodenkundliches Praktikum

**Eine Einführung in pedologisches Arbeiten
für Ökologen, insbesondere Land- und
Forstwirte, und für Geowissenschaftler**

2., neubearbeitete Auflage

Mit 46 Abbildungen und 60 Tabellen

Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin · Wien 1995

Oxford · Edinburgh · Boston · London · Melbourne · Paris · Yokohama

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele und Wege bodenkundlicher Untersuchungen	19
2	Auswahl der Untersuchungsobjekte	21
2.1	Auswertung vorhandenen Kartenmaterials	21
2.2	Luftbildinterpretation/Fernerkundung	22
2.3	Geländebegehung	23
2.4	Placierung der Leitprofile	24
2.5	Anlage eines Bodenprofils	24
3	Aufnahme und Deutung des Bodens im Gelände	26
3.1	Kennzeichnung der Lokalität	27
3.2	Kennzeichnung von Klima und Witterung	28
3.3	Kennzeichnung der Biocoenose und der Bestandesgeschichte	29
3.3.1	Biocoenose	29
3.3.2	Bestandesgeschichte	29
3.4	Ausgangsgestein	29
3.5	Beschreibung und Untersuchung des Bodenprofils	32
3.5.1	Abgrenzung von Lagen	32
3.5.2	Kennzeichnung der Bodenfarbe	32
3.5.3	Kennzeichnung des Bodengefüges	33
3.5.3.1	Gefügeform und Gefügebesonderheiten	33
3.5.3.2	Stabilität der Aggregate	35
3.5.3.3	Lagerungsdichte	36
3.5.3.4	Porosität	37
3.5.3.5	Feuchte	37
3.5.3.6	Wassergehalt	38
3.5.3.7	Wasserleitfähigkeit	38
3.5.3.8	Luftleitfähigkeit	39
3.5.4	Kennzeichnung von Dispersität, Ionenbelag und Redoxzustand	40
3.5.4.1	Bodenart	40
3.5.4.2	pH-Wert	42
3.5.4.3	Kationenaustauschkapazität	42
3.5.4.4	Basensättigungsgrad	43
3.5.4.5	S-Wert	43
3.5.4.6	Redoxzustand	43

3.5.5	Kennzeichnung des Mineralkörpers	44
3.5.5.1	Mineralbestand	45
3.5.5.2	Carbonate	45
3.5.5.3	Tonminerale	46
3.5.5.4	Pedogene Fe- und Mn-Minerale	46
3.5.5.5	Leichtlösliche Salze	46
3.5.5.6	Mineralgröße	47
3.5.5.7	Mineralkörper	47
3.5.6	Kennzeichnung des Humuskörpers	48
3.5.6.1	Streu	48
3.5.6.2	Durchwurzelung	48
3.5.6.3	Humusgehalt und Humusmenge	48
3.5.6.4	Morphe des Humus	49
3.5.6.5	Humifizierungsgrad	49
3.5.6.6	Humifizierungsart	51
3.5.6.7	Humuskörper	51
3.6	Auswertung der Bodendaten	51
3.6.1	Bodengenetische Deutung der Bodenaufnahme	51
3.6.1.1	Horizontbezeichnung	52
3.6.1.2	Bestimmung des Bodentyps	54
3.6.1.3	Bestimmung der Humusform	56
3.6.2	Ökologische Beurteilung der Bodenaufnahme	57
3.6.2.1	Gründigkeit und Durchwurzelbarkeit	57
3.6.2.2	Wasserhaushalt	58
3.6.2.3	Lufthaushalt	61
3.6.2.4	Wärmehaushalt	61
3.6.2.5	Nährstoffhaushalt	62
3.6.2.6	Bodenbewertung	63
3.6.2.7	Ableitung von Meliorations- und Nutzungsmaßnahmen	63
3.7	Dokumentation des Bodens	67
3.7.1	Bodenskizze	67
3.7.2	Farbfoto	67
3.7.3	Lackabzug	68
3.7.4	Profilmonolith	69
4	Bodenkartierung	70
4.1	Böden in der Landschaft	70
4.2	Fragestellung und Kartenmaßstab	71
4.2.1	Fragestellung von Bodenkartierungen	71
4.2.2	Kartenmaßstab und Kartiergenauigkeit	73
4.3	Kartiervorbereitung	74
4.3.1	Stand der Kenntnis	74
4.3.2	Geländeerkundung	74

4.4	Kartierhilfsmittel	75
4.4.1	Grundlagen, Karte und Zeichenmaterial	75
4.4.2	Geodätische Kartierhilfsmittel	75
4.4.3	Grab- und Bohrgeräte	76
4.4.4	Hilfsmittel zur Merkmalerfassung	76
4.4.5	Luftbild und Satellitenbild	77
4.5	Leitprofile	77
4.6	Kartierschlüssel	79
4.7	Kartierverfahren	79
4.7.1	Rasterkartierung	79
4.7.2	Grenzlinienkartierung	81
4.7.3	Catenenkartierung	81
4.7.4	Luftbildunterstützte Punktkartierung	81
4.8	Feldarbeit	82
4.8.1	Feldkarte	82
4.8.2	Bohrprotokoll	82
4.8.3	Feldreinkarte	83
4.9	Bodenkarte	84
4.9.1	Legende	85
4.9.2	Reinkarte	85
4.9.3	Erläuterung	86
4.10	Interpretation	87
4.10.1	Diskussion der Frage	87
4.10.2	Abgeleitete Karten.....	88
5	Laboruntersuchungen	89
5.1	Probenahme im Gelände	89
5.1.1	Entnahme von Volumenproben	90
5.1.1.1	Stechzylinderproben	90
5.1.1.2	Blockproben	91
5.1.1.3	Kapselproben	91
5.1.1.4	Hüllenproben	91
5.1.1.5	Entnahme mit Volumenbestimmung	91
5.1.2	Entnahme von Gewichtsproben	91
5.1.2.1	Gewichtsproben von Mineralhorizonten	91
5.1.2.2	Gewichtsproben von Humushorizonten	92
5.1.2.3	Bohrstockproben	92
5.1.3	Probentransport	92
5.2	Vorbereitung der Laboruntersuchung und allgemeine Gesichtspunkte ihrer Durchführung	93
5.2.1	Vorbereitung der Proben für die Analysen	93
5.2.2	Vorbereitung nötiger Reagenzien	94
5.2.3	Allgemeine Gesichtspunkte für die Analysen	95

5.3	Gefüge des Bodens	96
5.3.1	Kennzeichnung von Substanzvolumen, Porenraum und Porenfüllung .	96
5.3.1.1	Meßtechnische Grundlagen	97
5.3.1.2	Bestimmung von Porenvolumen und Porenfüllung steinärmer Horizonte	97
5.3.1.3	Bestimmung des Porenvolumens und der Porenfüllung steinreicher Horizonte	98
5.3.1.4	Bestimmung der Porosität von Bodenaggregaten	98
5.3.2	Kennzeichnung von Aggregatform und -aufbau	99
5.3.2.1	Meßtechnische Grundlagen	99
5.3.2.2	Bestimmung der Gefügestruktur	100
5.3.2.3	Bestimmung der Aggregatgrößenverteilung	100
5.3.2.4	Bestimmung der Konkretionen	101
5.3.2.5	Mikrogefügeuntersuchungen an Dünnschliffen	101
5.3.3	Kennzeichnung der Porengrößenverteilung und Wasserbindung	103
5.3.3.1	Meßtechnische Grundlagen	104
5.3.3.2	Bestimmung der Poren unter 50 und unter 0,2 μm \varnothing	104
5.3.3.3	Bestimmung der Porengrößenverteilung	106
5.3.4	Kennzeichnung der Wasser- und Luftleitfähigkeit	108
5.3.4.1	Meßtechnische Grundlagen	108
5.3.4.2	Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit	108
5.3.5	Kennzeichnung der Gefügeamplitude	109
5.3.5.1	Meßtechnische Grundlagen	109
5.3.5.2	Bestimmung der stabilen Aggregatgrößenverteilung	110
5.4	Dispersität und Stoffaustausch des Bodens	111
5.4.1	Kennzeichnung der Dispersität	112
5.4.1.1	Meßtechnische Grundlagen	112
5.4.1.2	Bestimmung des Kies- und Steingehaltes	114
5.4.1.3	Bestimmung der Dispersität mit einem kombinierten Sieb- und Sedimentationsverfahren	114
5.4.1.4	Darstellung der Ergebnisse	115
5.4.2	Kennzeichnung der Austauscher	116
5.4.2.1	Meßtechnische Grundlagen	117
5.4.2.2	Schnellbestimmung von KAK_{eff} und KAK_{pot}	118
5.4.2.3	Errechnung der KAK_{pot} als Summe von S- und H-Wert	119
5.4.2.4	Bestimmung von KAK_{pot}	119
5.4.2.5	Bestimmung von KAK_{eff}	119
5.4.2.6	Bestimmung der PO_4 -Sorptionkapazität	119
5.4.2.7	Ermittlung von Adsorptionskonstanten	120
5.4.2.8	Bestimmung des K-Fixierungsvermögens	121
5.4.3	Kennzeichnung der Austauschreaktionen	121
5.4.3.1	Meßtechnische Grundlagen	122
5.4.3.2	Schnellbestimmung des H-Wertes	122
5.4.3.3	Bestimmung des S-Wertes	123
5.4.3.4	Bestimmung des austauschbaren K, Ca und Mg	124
5.4.3.5	Bestimmung der beim Boden-pH austauschbaren Kationen	125

5.4.3.6	Bestimmung der bei pH 7 bzw. 8 austauschbaren Kationen	126
5.4.3.7	Bestimmung des austauschbaren NH_4	126
5.4.3.8	Bestimmung der austauschbaren Schwermetallionen	127
5.4.3.9	Bestimmung des austauschbaren Fe und Mn	127
5.4.3.10	Bestimmung mobilisierbaren Cd, Cu, Mn, Pb und Zn	127
5.4.4	Kennzeichnung der Austauschionen	128
5.4.4.1	Meßtechnische Grundlagen	128
5.4.4.2	Bestimmung des lactat-austauschbaren Phosphat	128
5.4.4.3	Bestimmung des citrat-austauschbaren Phosphat	129
5.4.4.4	Bestimmung des mobilen NO_3 (N_{min})	129
5.4.4.5	Bestimmung des austauschbaren SO_4	129
5.4.4.6	Bestimmung des mobilen B	130
5.4.4.7	Bestimmung des mobilen Mo	130
5.4.5	Kennzeichnung der Bodenlösung	130
5.4.5.1	Kennzeichnung der Bodenreaktion	131
	1 Meßtechnische Grundlagen	131
	2 Bestimmung des pH (CaCl_2)	132
5.4.5.2	Kennzeichnung des Elektrolytgehaltes	132
	1 Meßtechnische Grundlagen	132
	2 Gewinnung der Bodenlösung durch Zentrifugieren	133
	3 Gewinnung der Gleichgewichtsbodenlösung (GBL)	133
	4 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit	133
	5 Untersuchung des Stoffbestandes	133
5.5	Mineralkörper des Bodens	134
5.5.1	Allgemeine chemische Charakterisierung	135
5.5.1.1	Meßtechnische Grundlagen	135
5.5.1.2	Bauschanalyse	136
5.5.1.3	Bauschanalyse durch Röntgenfluoreszenzanalyse einer Boratschmelze	137
5.5.1.4	Aufschluß mit Königswasser	138
5.5.1.5	Bestimmung der verwitterbaren P-, K-, Ca- und Mg-Mineraie	138
5.5.1.6	Bestimmung des nachlieferbaren Mg	139
5.5.1.7	Bestimmung des nachlieferbaren K	139
5.5.2	Kennzeichnung der Mineralgröße	139
5.5.2.1	Meßtechnische Grundlagen	140
5.5.2.2	Bestimmung der Körnung der Silicat- und pyrogenen Oxidminerale	140
5.5.2.3	Fraktionierende Kerngrößenbestimmung der Silicat- und pyrogenen Oxidminerale	141
5.5.3	Kennzeichnung der H_2O -löslichen Salze und des Gipses	143
5.5.3.1	Meßtechnische Grundlagen	143
5.5.3.2	Bestimmung des Gehaltes an wasserlöslichen Salzen	143
5.5.3.3	Bestimmung der Zusammensetzung wasserlöslicher Salze	144
5.5.3.4	Bestimmung des Gipsgehalts	144
5.5.4	Kennzeichnung der Carbonate	144
5.5.4.1	Meßtechnische Grundlagen	145

5.5.4.2	Schnellbestimmung des Carbonatgehaltes	145
5.5.4.3	Bestimmung des Carbonatgehaltes	146
5.5.4.4	Coulometrische Carbonatbestimmung	146
5.5.4.5	Bestimmung des Dolomitgehalts	147
5.5.5	Kennzeichnung der pedogenen Oxide	147
5.5.5.1	Meßtechnische Grundlagen	147
5.5.5.2	Bestimmung aktiver Oxide	148
5.5.5.3	Bestimmung der pedogenen Oxide	148
5.5.5.4	Bestimmung des laugelösliehen Al und Si	149
5.5.6	Kennzeichnung der pyrogenen Silicate und Oxide	149
5.5.6.1	Meßtechnische Grundlagen	149
5.5.6.2	Bestimmung der Schwerminerale, des Quarzes und der Feldspäte in Sandfraktionen	151
5.5.6.3	Bestimmung der Schwerminerale in Sandfraktionen	151
5.5.7	Kennzeichnung der Tonminerale	153
5.5.7.1	Meßtechnische Grundlagen	153
5.5.7.2	Bestimmung des Tonmineralbestandes nach einfachen Merkmalen	154
5.5.7.3	Röntgenographische Bestimmung des Tonmineralbestandes	155
5.6	Humuskörper des Bodens	157
5.6.1	Kennzeichnung des Gehaltes an organischer Substanz	157
5.6.1.1	Meßtechnische Grundlagen	158
5.6.1.2	Bestimmung des Glühverlustes	159
5.6.1.3	Bestimmung des C-Gehaltes durch nasse Veraschung	159
5.6.1.4	Pyrolytisch-coulometrische Bestimmung des C-Gehaltes	160
5.6.2	Kennzeichnung lebender Biomasse	160
5.6.2.1	Meßtechnische Grundlagen	161
5.6.2.2	Bestimmung des mikrobiellen Kohlenstoffs	162
5.6.2.3	Bestimmung des ATP-Gehalts	162
5.6.3	Allgemeine Charakterisierung des Humuszustandes	163
5.6.3.1	Meßtechnische Grundlagen	164
5.6.3.2	Bestimmung der Partikelgröße von Streuresten	165
5.6.3.3	Bestimmung des N-Gehaltes	165
5.6.3.4	Bestimmung der KAK der organischen Substanz	166
5.6.3.5	Bestimmung des Streustoffgehaltes	167
5.6.3.6	Bestimmung des Humifizierungsgrades	167
5.6.3.7	Bestimmung der Zersetzbarkeit der organischen Substanz	168
5.6.3.8	Schätzung der N-Mineralisierung	169
5.6.3.9	Bestimmung der N-Mineralisierung	169
5.6.4	Kennzeichnung der Streustoffe	169
5.6.4.1	Meßtechnische Grundlagen	170
5.6.4.2	Bestimmung von Methoxyl	170
5.6.4.3	Bestimmung von α -Amino-N	171
5.6.4.4	Bestimmung der Streu-Stoffgruppen	172
5.6.5	Kennzeichnung der Huminstoffe	174

5.6.5.1	Meßtechnische Grundlagen	175
5.6.5.2	Bestimmung der beweglichen Huminstoffe	175
5.6.5.3	Bestimmung der Humifizierungsart	176
5.6.5.4	Bestimmung von Humus-Stoffgruppen	176
5.6.6	Kennzeichnung des Mineralstoffgehaltes von Streu und Humus	178
5.6.6.1	Meßtechnische Grundlagen	178
5.6.6.2	Bestimmung der Ca-, K-, Mg-, Na-, Fe-, Mn- und P-Gehalte der Streu	179
5.6.6.3	Bestimmung des organisch gebundenen P	179
5.6.6.4	Bestimmung des organisch gebundenen Al und Fe	180
6	Messung der Bodendynamik im Gelände (in Situ)	181
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	181
6.2	Erfassung des Bodenwasserhaushalts und seiner Dynamik	185
6.2.1	Wassereinnahme	185
6.2.1.1	Meßtechnische Grundlagen	185
6.2.1.2	Messung des Freilandniederschlags (Regen) mit einem Regenmesser	186
6.2.1.3	Messung des Freilandniederschlags (Schnee) mit beheizbaren Totalisatoren ..	187
6.2.1.4	Messung des Bestandesniederschlags durch Auffangen einer repräsentativen Wassermenge über einem teilweise abgeschirmten Boden	187
6.2.1.5	Messung des Stammablaufs (Sproßablauf) mit Manschetten	188
6.2.1.6	Messung des Bodenwassereintrags mit Regenmessern auf dem Boden	189
6.2.1.7	Darstellung der Ergebnisse	189
6.2.2	Messungen an der Bodenoberfläche	190
6.2.2.1	Bestimmung der Versickerungsintensität mittels Doppelringinfiltrometer	190
6.2.2.2	Oberflächenabfluß aus geeigneten Meßparzellen durch Auffangen und Messung der Wasser- und Sedimentmenge	190
6.2.2.3	Messung des Wassereintrags in den Mineralboden durch Auffangen des unterhalb der Humusaufgabe versickernden Wassers	191
6.2.3	Messungen zur Wassersättigung und -bewegung in Böden	192
6.2.3.1	Meßtechnische Grundlagen	192
6.2.3.2	Gravimetrische Wassergehaltsbestimmung	192
6.2.3.3	Wassergehalt mit der Neutronensonde	193
6.2.3.4	Bestimmung des Wassergehalts mit TDR	194
6.2.3.5	Messung der Wasserspannung mit Tensiometern	194
6.2.3.6	Messung der Wasserspannung mit Gipselektroden	197
6.2.3.7	Messung des Grundwasser- bzw. Stauwasserstandes mit Piezometerrohren ..	198
6.2.3.8	Messung der Richtung und Menge bei gesättigter Wasserbewegung	199
6.3	Lufthaushalt und Redoxdynamik	200
6.3.1	Meßtechnische Grundlagen	200
6.3.2	Luftvolumen im Jahresgang mit Hilfe indirekter Bestimmung	201
6.3.3	Bodenatmung	202
6.3.4	Sauerstoffdiffusionsrate	203
6.3.5	Bestimmung des Redoxpotentials	204

6.4	Energiehaushalt	205
6.4.1	Meßtechnische Grundlagen	205
6.4.2	Bodentemperatur mit Thermometern	205
6.4.3	Bodentemperatur mit Thermofühlern	206
6.4.4	Bestimmung der exponentiellen Mitteltemperatur mit der Invertzucker- methode	207
6.5	Stoffhaushalt	208
6.5.1	Methodische Grundlagen	208
6.5.2	Stoffeinträge in Böden und Ökosysteme	208
6.5.2.1	Einträge mit dem Niederschlag (= nasse Deposition)	208
6.5.2.2	Einträge mit Stäuben	209
6.5.2.3	Bodeneintrag mit Streu, Kronentraufe und Stammabfluß	210
6.5.3	Nährstoffhaushalt	211
6.5.3.1	Mineralstickstoffvorrat (N _{min})	211
6.5.3.2	Stickstoffmineralisationsrate durch N _{min} -Bestimmung vor und nach Feldbebrütung	212
6.5.3.3	Kohlenstoffmineralisationsrate	213
6.5.3.4	Gewinnung der Bodenlösung mit Saugkerzen oder Lysimeterplatten	213
7	Auswertung der Untersuchungsbefunde	216
7.1	Darstellung des Bodens	216
7.2	Genetische Deutung des Bodens	221
7.2.1	Umrechnung der Profildaten	221
7.2.2	Sicherung der Differenzen	222
7.2.3	Rekonstruktion des ursprünglichen Zustandes	223
7.2.3.1	Gestein	223
7.2.3.2	Streu	226
7.2.4	Richtung der Bodenbildung	226
7.2.4.1	Umwandlung des Mineralkörpers	226
7.2.4.2	Umwandlung des Humuskörpers	228
7.2.4.3	Umwandlung des Gefüges	229
7.2.4.4	Bodenbildende Prozesse	231
7.2.5	Ausmaß der Bodenbildung	238
7.2.5.1	Profilbilanz	238
7.2.5.2	Horizontbilanz	239
7.2.5.3	Sektionsbilanz	240
7.2.6	Verlauf der Bodenbildung	240
7.3	Ökologische Beurteilung des Bodens	241
7.3.1	Gründigkeit und Durchwurzelbarkeit	242
7.3.2	Wasserhaushalt	242
7.3.3	Lufthaushalt	244
7.3.4	Wärmehaushalt	245
7.3.5	Nährstoffhaushalt und Schadstoffverhältnisse	247
7.3.5.1	Kohlendioxid (CO ₂)	252

7.3.5.2	Stickstoff (N)	253
7.3.5.3	Phosphor (P)	253
7.3.5.4	Kalium (K)	254
7.3.5.5	Calcium (Ca)	254
7.3.5.6	Magnesium (Mg)	254
7.3.5.7	Schwefel (S)	255
7.3.5.8	Bor (B)	255
7.3.5.9	Molybdän (Mo)	255
7.3.5.10	Mangan (Mn)	255
7.3.5.11	Cu, Co, Fe und Zn	255
7.3.5.12	Na und Cl	255
7.3.5.13	Al	255
7.3.5.14	Weitere Schadstoffe	255
7.3.5.15	Allgemeine Kennwerte	256
7.3.6	Deutung des Standortes	257
7.3.7	Ableitung von Meliorations- und Nutzungsmaßnahmen	259
7.3.7.1	Verbesserung von Durchwurzelbarkeit, Wasser- und Lufthaushalt	259
7.3.7.2	Verbesserung des Nährstoffhaushaltes	261
7.4.	Sicherung der Ergebnisse	262
7.4.1	Umsatzmessungen	262
7.4.2	Boden- bzw. Standortvergleich	263
7.4.2.1	Untersuchung einer Hangserie innerhalb einer Landschaft	263
7.4.2.2	Untersuchung einer Entwicklungsserie innerhalb einer Bodenregion	264
7.4.2.3	Untersuchung verschiedener Entwicklungsserien	266
7.4.2.4	Untersuchung von Standortserien	266
7.4.2.5	Bodenkundliche Experimente	266
	1 Feldversuch	266
	2 Gefäßversuch	267
8	Anhang§.....	269
8.1	Maßeinheiten und Symbole	269
8.2	Literatur	271
8.2.1	Normen	271
8.2.2	Literatur	271
8.3	Sachregister	278