

Hans-Peter Blume Karl Stahr Peter Leinweber

Bodenkundliches Praktikum

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

3., neubearbeitete Auflage

Inhalt

1	Ziele und Wege bodenkundlicher Untersuchungen	1
2	Auswahl der Untersuchungsobjekte	3
2.1	Auswertung vorhandener Karten	3
2.2	Luftbildinterpretation/Fernerkundung	4
2.3	Geländebegehung	4
2.4	Platzierung der Leitprofile	5
2.5	Anlage eines Bodenprofils	5
3	Aufnahme und Deutung des Bodens im Gelände	7
3.1	Kennzeichnung der Lokalität	7
3.2	Kennzeichnung von Klima und Witterung	10
3.3	Kennzeichnung der Biozönose und der Bestandsgeschichte	10
3.3.1	Biozönose	10
3.3.2	Bestandsgeschichte	11
3.4	Ausgangsgestein	11
3.5	Beschreibung und Untersuchung des Bodenprofils	14
3.5.1	Abgrenzung von Lagen	14
3.5.2	Kennzeichnung der Bodenfarbe	14
3.5.3	Kennzeichnung des Bodengefüges	14
3.5.3.1	Gefügeformen und Gefügebesonderheiten	14
3.5.3.2	Stabilität der Aggregate	17
3.5.3.3	Lagerungsdichte	17
3.5.3.4	Porosität	19
3.5.3.5	Feuchte	19
3.5.3.6	Wassergehalt	20
3.5.3.7	Wasserleitfähigkeit im wassergesättigten Zustand	20
3.5.4	Kennzeichnung von Dispersität, Ionenbelag und Redoxzustand	20
3.5.4.1	Bodenart	20
3.5.4.2	pH-Wert	23
3.5.4.3	Redoxzustand	24
3.5.5	Kennzeichnung des Mineralkörpers	25
3.5.5.1	Mineralbestand	25
3.5.5.2	Carbonate	25
3.5.5.3	Tonminerale	25
3.5.5.4	Pedogene Fe- und Mn-Minerale	25
3.5.5.5	Leicht lösliche Salze	25
3.5.5.6	Mineralgröße	27
3.5.5.7	Mineralkörper	27
3.5.6	Kennzeichnung des Humuskörpers	27
3.5.6.1	Streu	27
3.5.6.2	Durchwurzelung	27
3.5.6.3	Humusgehalt und Humusmenge	27
3.5.6.4	Morphe des Humus	29
3.5.6.5	Humifizierungsgrad	30
3.5.6.6	Humifizierungsart	30
3.5.6.7	Humuskörper	30
3.6	Auswertung der Bodendaten	32
3.6.1	Bodengenetische Deutung der Bodenaufnahme	32
3.6.1.1	Horiontbezeichnung	32
3.6.1.2	Bestimmung des Bodentyps	36
3.6.1.3	Bestimmung des Substrattyps und der Bodenform	38
3.6.1.4	Bestimmung der Humusform	39
3.6.2	Ökologische Beurteilung der Bodenaufnahme	40
3.6.2.1	Gründigkeit und Durchwurzelbarkeit	40
3.6.2.2	Wasserhaushalt	41
3.6.2.3	Lufthaushalt	47
3.6.2.4	Wärmehaushalt	49
3.6.2.5	Nährstoffhaushalt	49
3.6.2.6	Bodenbewertung	53
3.6.2.7	Ableitung von Meliorations- und Nutzungsmaßnahmen	55
3.6.2.8	Maßnahmen zum Bodenschutz	56
3.7	Dokumentation des Bodens	58
3.7.1	Bodenskizze	60
3.7.2	Farbfoto	60
3.7.3	Lackabzug	60
3.7.4	Profilmololith	60
4	Bodenkartierung	61
4.1	Böden in der Landschaft	61
4.2	Fragestellung und Kartenmaßstab	62
4.2.1	Fragestellung von Bodenkartierungen	62
4.2.2	Kartenmaßstab und Kartiergenauigkeit	63
4.3	Kartiervorbereitung	64

4.3.1	Stand der Kenntnis	64	5.3.1.2	Bestimmung von Porenvolumen und Porenfüllung steinarmer Horizonte	87
4.3.2	Geländeerkundung	64	5.3.1.3	Bestimmung des Porenvolumens und der Porenfüllung steinreicher Horizonte	88
4.4	Kartierhilfsmittel	65	5.3.2	Kennzeichnung von Aggregatform und -aufbau	88
4.4.1	Grundlagen, Karte und Zeichenmaterial	65	5.3.2.1	Messtechnische Grundlagen	89
4.4.2	Geodätische Kartierhilfsmittel	65	5.3.2.2	Bestimmung der Gefügeform	90
4.4.3	Grab- und Bohrgeräte	65	5.3.2.3	Bestimmung der Aggregatgrößenverteilung	90
4.4.4	Hilfsmittel zur Merkmalerfassung	66	5.3.2.4	Bestimmung der Konkretionen	90
4.4.5	Luftbild und Satellitenbild	66	5.3.2.5	Mikrogefügeuntersuchungen an Dünnschliffen	91
4.5	Leitprofile	67	5.3.3	Kennzeichnung der Porengrößenverteilung und Wasserbindung	93
4.6	Kartierschlüssel	67	5.3.3.1	Messtechnische Grundlagen	93
4.7	Kartierverfahren	69	5.3.3.2	Bestimmung der Poren < 50 und < 0,2 μm \varnothing	93
4.7.1	Rasterkartierung	69	5.3.3.3	Bestimmung der Porengrößenverteilung	94
4.7.2	Grenzkartierung	70	5.3.4	Kennzeichnung der Wasserleitfähigkeit	96
4.7.3	Catenenkartierung	70	5.3.4.1	Messtechnische Grundlagen	96
4.7.4	Luftbildunterstützte Punktkartierung	70	5.3.4.2	Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kf)	97
4.8	Feldarbeit	71	5.4	Stoffaustausch des Bodens	97
4.8.1	Feldkarte	71	5.4.1	Einführung	97
4.8.2	Bohrprotokoll	71	5.4.2	Analyse des Kationenaustauschs und der austauschbaren Kationen	98
4.8.3	Feldreinkarte	71	5.4.2.1	Messtechnische Grundlagen und Methodenauswahl	98
4.9	Bodenkarte	72	5.4.2.2	Schnellbestimmung der potenziellen Kationenaustauschkapazität	99
4.9.1	Legende	72	5.4.2.3	Bestimmung der potenziellen KAK im Perkolationsverfahren	100
4.9.2	Reinkarte	72	5.4.2.4	Schnellbestimmung des H-Wertes	100
4.9.3	Erläuterung	74	5.4.2.5	Bestimmung der austausch- und leicht mobilisierbaren Ca-, Mg-, K- und NH_4 -Ionen	102
4.10	Interpretation	74	5.4.2.6	Austauschbare und mobilisierbare Schwermetallkationen	102
4.10.1	Diskussion der Frage	74	5.4.3	Bestimmung von extrahierbaren Anionen	104
4.10.2	Abgeleitete Karten	75	5.4.3.1	Messtechnische Grundlagen	104
4.11	Die digitale Bodenkartierung	75	5.4.3.2	Bestimmung des mobilen Nitrats	104
			5.4.3.3	Bestimmung des mobilen Borats, Molybdats und Sulfats	104
			5.4.3.4	Bestimmung extrahierbaren Phosphats (Wasser, Lactat, Citrat, Oxalat)	106
			5.4.3.5	Sequenzielle Phosphorfraktionierung	107
			5.4.4	Sorptionsisothermen für Kationen und Anionen	108
			5.4.4.1	Messtechnische Grundlagen	108
			5.4.4.2	Ermittlung der Phosphatadsorption	108
			5.4.5	Kennzeichnung der Bodenlösung	109
			5.4.5.1	Kennzeichnung der Bodenreaktion	109
5	Laboruntersuchungen	77			
5.1	Probenahme im Gelände und Vorbereitung der Analyse	77			
5.1.1	Entnahme von Volumenproben	78			
5.1.2	Entnahme von Massenproben	79			
5.1.3	Probentransport	79			
5.1.4	Probenlagerung	80			
5.1.5	Vorbereitung der Proben für die Analyse	80			
5.1.6	Grundsätzliche Regeln der Analyse	80			
5.1.6.1	Vorbereitung nötiger Reagenzien	80			
5.1.6.2	Grundsätzliche Regeln der Analyse	81			
5.1.6.3	Trockenmassebezug	81			
5.1.6.4	Richtigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse	81			
5.2	Dispersität des Bodens	82			
5.2.1	Messtechnische Grundlagen	82			
5.2.2	Bestimmung des Kies- und Steingehalts	84			
5.2.3	Bestimmung der Dispersität mit einem kombinierten Sieb- und Sedimentationsverfahren	84			
5.2.4	Darstellung der Ergebnisse	85			
5.3	Gefüge des Bodens	85			
5.3.1	Kennzeichnung von Substanzvolumen, Porenraum und Porenfüllung	86			
5.3.1.1	Messtechnische Grundlagen	87			

5.4.5.2	Kennzeichnung des Elektrolytgehalts	110	5.6	Organische Substanzen des Bodens	130
5.4.5.3	Kennzeichnung des Stoffbestands der Bodenlösung	111	5.6.1	Bestimmung des Gehaltes an organischen Substanzen	131
5.5	Mineralkörper des Bodens	112	5.6.1.1	Messtechnische Grundlagen	131
5.5.1	Allgemeine chemische Charakterisierung	112	5.6.1.2	Bestimmung des Glühverlusts und des Glührückstands	132
5.5.1.1	Messtechnische Grundlagen	112	5.6.1.3	Bestimmung der Gehalte an C, N und S	132
5.5.1.2	Die Bauschanalyse	113	5.6.2	Kennzeichnung lebender Biomasse	132
5.5.1.3	Bauschanalyse durch Röntgenfluoreszenzanalyse einer Boratschmelze	114	5.6.2.1	Messtechnische Grundlagen	133
5.5.1.4	Aufschluss mit Königswasser	114	5.6.2.2	Mikrobielle Biomasse	133
5.5.1.5	Charakterisierung der verwitterbaren P-, K-, Ca- und Mg-Minerale	115	5.6.3	Kennzeichnung der Enzymaktivitäten	134
5.5.2	Kennzeichnung der Mineralgröße	115	5.6.3.1	Messtechnische Grundlagen	134
5.5.2.1	Messtechnische Grundlagen	115	5.6.3.2	Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität	134
5.5.2.2	Bestimmung der Körnung der Silicat- und pyrogenen Oxidminerale	116	5.6.3.3	Bestimmung der β -Glucosidaseaktivität	135
5.5.2.3	Fraktionierende Korngrößenbestimmung der Silicat- und pyrogenen Oxidminerale	117	5.6.3.4	Bestimmung der Ureaseaktivität	136
5.5.3	Kennzeichnung der H ₂ O-löslichen Salze und des Gipses	118	5.6.3.5	Bestimmung der Phosphataseaktivität	136
5.5.3.1	Messtechnische Grundlagen	118	5.6.3.6	Bestimmung der Arylsulfataseaktivität	137
5.5.3.2	Bestimmung des Gehalts an wasserlöslichen Salzen	119	5.6.4	Summarische Erfassung der Mesofauna	137
5.5.3.3	Bestimmung der Zusammensetzung wasserlöslicher Salze	119	5.6.5	Charakterisierung partikulärer OBS und organisch-mineralischer Partikel	138
5.5.3.4	Bestimmung des Gipsgehalts	119	5.6.5.1	Messtechnische Grundlagen	138
5.5.4	Kennzeichnung der Carbonate	120	5.6.5.2	Partikelgrößenfraktionierung	139
5.5.4.1	Messtechnische Grundlagen	120	5.6.5.3	Dichtefraktionierung	140
5.5.4.2	Schnellbestimmung des Carbonatgehalts	120	5.6.5.4	Bewertung der Ergebnisse	141
5.5.4.3	Bestimmung des Carbonatgehalts	121	5.6.6	Stoffgruppen der organischen Bodensubstanzen	142
5.5.4.4	Coulometrische Carbonatbestimmung	121	5.6.6.1	Messtechnische Grundlagen	142
5.5.4.5	Bestimmung des Dolomitgehalts	121	5.6.6.2	Identifizierung und Quantifizierung der Neutralzucker und Zuckersäuren	142
5.5.5	Kennzeichnung der pedogenen Oxide	122	5.6.6.3	Bestimmung der N-Fractionen	143
5.5.5.1	Messtechnische Grundlagen	122	5.6.6.4	Bestimmung der Lipide	144
5.5.5.2	Bestimmung aktiver Oxide	122	5.6.6.5	Bestimmung der Ligninbausteine	145
5.5.5.3	Bestimmung der pedogenen Oxide	123	5.6.6.6	Bestimmung hocharomatischer C-Verbindungen („black carbon“)	145
5.5.5.4	Bestimmung des laugelöslichen (I) Al und Si	123	5.6.6.7	Bestimmung der Huminstoffe	147
5.5.6	Kennzeichnung der pyrogenen Silicate und Oxide	124	5.6.6.8	Bestimmung der beweglichen Huminstoffe	147
5.5.6.1	Messtechnische Grundlagen	124	5.6.6.9	Bewertungen	147
5.5.6.2	Bestimmung der Schwerminerale, des Quarzes und der Feldspäte in Sandfraktionen	125	5.6.7	Umsetzbarkeit organischer Stoffe	148
5.5.6.3	Einzelbestimmung der Schwerminerale in Sandfraktionen	125	5.6.7.1	Leicht Umsetzbares: Heißwasserextrakt	148
5.5.7	Kennzeichnung der Tonminerale	126	5.6.7.2	Mineralisierbarkeit organischer Stoffe (C _{min})	149
5.5.7.1	Messtechnische Grundlagen	127	5.6.7.3	Abbau organischer Stoffe mit C- und N-Isotopensignaturen	150
5.5.7.2	Bestimmung der Tonminerale nach einfachen Merkmalen	128	5.6.8	Mineralstoffgehalte organischer Horizonte	151
5.5.7.3	Röntgenographische Bestimmung des Tonmineralbestands	129	5.6.8.1	Messtechnische Grundlagen	151
			5.6.8.2	Analyse von Närelementen und Schwermetallen	151
			5.6.8.3	Bestimmung des organisch gebundenen P (P _{org})	152
			5.6.8.4	Bestimmung des organisch gebundenen Al und Fe	152

5.6.9	Bestimmung organischer Schadstoffe	153	6.3	Lufthaushalt und Redoxdynamik	170
5.6.9.1	Messtechnische Grundlagen	153	6.3.1	Messtechnische Grundlage	170
5.6.9.2	Bestimmung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe	154	6.3.2	Luftvolumen im Jahresgang mithilfe indirekter Bestimmung	170
6	Messung der Bodendynamik im Gelände	155	6.3.3	Bodenatmung	171
6.1	Allgemeine Gesichtspunkte	155	6.3.4	Sauerstoffdiffusionsrate	171
6.2	Erfassung des Bodenwasserhaushalts und seiner Dynamik	158	6.3.5	Bestimmung des Redoxpotenzials	172
6.2.1	Wassereinnahme	158	6.4 Energiehaushalt	173	
6.2.1.1	Messtechnische Grundlagen	158	6.4.1	Messtechnische Grundlagen	173
6.2.1.2	Messung des Freilandniederschlags mit einem Regenmesser	158	6.4.2	Bodentemperatur mit Thermometern	173
6.2.1.3	Messung des Freilandniederschlags mit beheizbaren Totalisatoren	159	6.4.3	Bodentemperatur mit Thermofühlern	174
6.2.1.4	Messung des Bestandsniederschlags (Kronentraufe) durch Auffangen einer repräsentativen Wassermenge über einem teilweise abgeschirmten Boden	160	6.5 Stoffhaushalt	175	
6.2.1.5	Messung des Stammablaufs (Sprossablauf) mit Manschetten	160	6.5.1	Methodische Grundlagen	175
6.2.1.6	Messung des Bodenwassereintrags mit Regenmessern auf dem Boden	161	6.5.2	Stoffeinträge in Böden und Ökosysteme	175
6.2.1.7	Darstellung der Ergebnisse	161	6.5.2.1	Einträge mit dem Niederschlag (nasse Deposition)	175
6.2.2	Messungen an der Bodenoberfläche	161	6.5.2.2	Einträge mit Stäuben	176
6.2.2.1	Bestimmung des Versickerungsintensität mittels Doppelringinfiltrometer	161	6.5.2.3	Bodeneintrag mit Streu, Kronentraufe und Stammabfluss	176
6.2.2.2	Oberflächenabfluss aus geneigten Messparzellen durch Auffangen und Messung der Wasser- und Sedimentmenge	162	6.5.3	Nährstoffhaushalte	177
6.2.2.3	Messung des Wassereintrags in den Mineralboden durch Auffangen des unterhalb der Streuschicht oder der gesamten Humusauflage versickernden Wassers	163	6.5.3.1	Mineralstickstoffvorrat ($N_{\min} = NH_4^+ + NO_3^-$)	177
6.2.3	Messungen zur Wassersättigung und -bewegung im Boden	163	6.5.3.2	Stickstoffmineralisationsrate nach Feldbebrütung	178
6.2.3.1	Messtechnische Grundlagen	163	6.5.3.3	Kohlenstoffmineralisationsrate	179
6.2.3.2	Gravimetrische Wassergehaltsbestimmung	164	6.5.3.4	Gewinnung der Bodenlösung mit Saugkerzen oder Lysimeterplatten	179
6.2.3.3	Wassergehalt mit der Neutronensonde	164	7 Auswertung der Untersuchungsbefunde	181	
6.2.3.4	Bestimmung des Wassergehalts mit TDR (Time Domain Reflectometry)	165	7.1	Darstellung des Bodens	181
6.2.3.5	Messung der Wasserspannung mit Tensiometern	165	7.2	Genetische Deutung des Bodens	185
6.2.3.6	Messung der Wasserspannung mit Gipselektroden	167	7.2.1	Umrechnung der Profildaten	186
6.2.3.7	Messung des Grundwasser- bzw. Stauwasserstands mit Piezometerrohren	168	7.2.2	Sicherung der Differenzen	186
6.2.3.8	Messung der Richtung und Menge des Flusses bei gesättigter Wasserbewegung	169	7.2.3	Rekonstruktion des ursprünglichen Zustands	187
			7.2.3.1	Das Gestein	187
			7.2.3.2	Die Streu	189
			7.2.4	Richtung der Bodenbildung	190
			7.2.4.1	Die Umwandlung des Mineralkörpers	190
			7.2.4.2	Bildung und Umwandlung der OBS	191
			7.2.4.3	Die Umwandlung des Gefüges	192
			7.2.4.4	Die bodenbildenden Prozesse	194
			7.2.5	Ausmaß der Bodenbildung	200
			7.2.5.1	Profilbilanz	200
			7.2.5.2	Horizontbilanz	201
			7.2.5.3	Sektionsbilanz	202
			7.2.6	Verlauf der Bodenbildung	202
			7.3 Beurteilung des Bodens als Wurzel- und Lebensraum	203	
			7.3.1	Gründigkeit und Durchwurzelbarkeit	203
			7.3.2	Wasserhaushalt	204

7.3.3	Lufthaushalt	205	7.4.1	Verbesserung von Durchwurzelbarkeit, Wasser- und Lufthaushalt	222
7.3.4	Wärmehaushalt	206	7.4.2	Verbesserung des Nährstoffhaushalts ...	222
7.3.5	Nährstoffhaushalt und Schadstoff- verhältnisse	207	7.4.3	Verbesserung als Schadstofffilter	224
7.3.5.1	Kohlendioxid (CO ₂)	214	7.5	Sicherung der Ergebnisse	224
7.3.5.2	Stickstoff (N)	214	7.5.1	Umsatzmessungen	225
7.3.5.3	Phosphor (P)	214	7.5.2	Boden- bzw. Standortvergleich	225
7.3.5.4	Kalium (K)	214	7.5.2.1	Untersuchung einer Hangserie innerhalb einer Landschaft	225
7.3.5.5	Calcium (Ca)	215	7.5.2.2	Untersuchung einer Entwicklungs- serie innerhalb einer Bodenregion (Provinz)	226
7.3.5.6	Magnesium (Mg)	215	7.5.2.3	Untersuchung verschiedener Entwicklungsserien	228
7.3.5.7	Schwefel (S)	215	7.5.2.4	Untersuchung von Standortserien	228
7.3.5.8	Bor (B)	215	7.5.2.5	Bodenkundliche Experimente	229
7.3.5.9	Molybdän (Mo)	215	8	Anhang	231
7.3.5.10	Mangan (Mn)	215	8.1	Maßeinheiten und Symbole	231
7.3.5.11	Kupfer (Cu), Cobalt (Co), Eisen (Fe) und Zink (Zn)	216	8.2	Literatur	233
7.3.5.12	Natrium (Na) und Chlor (Cl)	216	8.2.1	Normen	233
7.3.5.13	Aluminium (Al)	216	8.2.2	Literatur	233
7.3.5.14	Weitere Schadstoffe	216	8.3	Stichwortverzeichnis	240
7.3.5.15	Allgemeine Kennwerte	216			
7.3.6	Schadstoffbelastung	216			
7.3.7	Habitatfunktion	218			
7.4	Ableitung von Meliorations- und Nutzungsmaßnahmen	222			