

### **3 Untersuchung des Bodenprofils und seines Standortes**

Bevor ein Boden klassiert werden kann, ist er eingehend zu untersuchen. Daher werden in diesem Kapitel Angaben über das Vorgehen bei der Bodenprofiluntersuchung und der Standortbeschreibung gemacht. Methodische Hinweise dazu sind im Anhang aufgeführt.

#### **3.1 Bodenprofil und Bodenindividuum**

Ein senkrechter Bodenaufschluss von der Terrainoberfläche bis zum Ausgangsmaterial wird Bodenprofil genannt. Die zur Klassifikation notwendigen Bodenuntersuchungen und Probenahmen lassen sich an der Profilwand einer Bodengrube, ausnahmsweise auch an genügend grossen Bohrkernen ausführen. Der Vergleich von Bodenprofilen verschiedener Standorte vermittelt einen Eindruck von der Pedosphärenvielfalt.

Das Bodenprofil weist willkürlich begrenzte Dimensionen auf. Demgegenüber ist das Bodenindividuum ein dreidimensionaler Bodenkörper mit einheitlichen Eigenschaften und natürlicher Begrenzung.

#### **3.2 Anlage der Profilgrube**

Die Aufgrabung sollte mindestens so tief sein, dass alle für den Aufbau des Bodens und seine Beurteilung wichtigen Horizonte untersucht werden können. Der tiefere Untergrund lässt sich, falls nötig, mit Bohrungen in der Grubensohle erschliessen. Normalerweise genügen Profiltiefen von 100 bis 150 cm. Um bequem am Profil arbeiten zu können, ist eine Grubenbreite von mindestens 80 cm erforderlich; für Profildemonstrationen sind grössere Breiten zu wählen. Die Länge der Profilgrube beträgt ca. 2 m, damit diese bei normaler Tiefe genügend zugänglich ist.

Die Deponie des Ober- und Unterbodens erfolgt getrennt, damit später schichtgerecht zugedeckt werden kann. Die senkrechte Stirnseite der Grube zeigt das Bodenprofil. Diese Partie darf bei den Grabarbeiten nicht betreten werden und soll möglichst unberührt bleiben, um die Untersuchungen und Probenahmen nicht zu beeinträchtigen. Am Hang wird die Grube in der Fallrichtung angelegt. Am Steilhang ist der Profilaufbau auch an der Seitenwand zu beurteilen. Wo möglich, ist die Stirnwand mit dem Bodenprofil so zu exponieren, dass während der Untersuchung eine ausreichende Beleuchtung gewährleistet ist.

#### **3.3 Profilblatt**

Zur gründlichen und zeitsparenden Beschreibung der Bodenprofile im Feld dienen vorgedruckte Formulare. Ein solches Formular (Profilblatt) sollte mindestens folgende Angaben enthalten:

- Identifikation der Profilstelle und der Umgebungssituation (Standort)
- Profilskizze mit den auszuführenden Untersuchungen
- Beurteilung in pedologischer, land- bzw. forstwirtschaftlicher und gegebenenfalls pflanzensoziologischer Hinsicht.

Diese Unterlagen ermöglichen die Klassifikation des Bodenprofils.

Als Vorlage kann das Profilblatt der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich-Reckenholz dienen (34, 35).

### **3.4 Bezeichnung und Identifikation des Profilstandortes**

Die Untersuchung und Klassierung grösserer Serien von Bodenprofilen erfordert ein System zur Bezeichnung der Profilstandorte. Am einfachsten wird der Flurname und eine Nummerierung dazu verwendet. Bei Bodenkartierungen ist ein ausgebautes Codiersystem angebracht, das auch spätere Fortsetzungen in der Umgebung einbezieht und eine EDV-gerechte Speicherung der Resultate erlaubt. Der Code des Profilstandortes wird in allen Beschreibungen, auf Karten und Analysenblättern sowie in Publikationen mitgeführt. Auf dem Profilblatt wird die geographische Lage des Bodenprofils genau angegeben. Dazu gehören: Kanton, politische Gemeinde, nächste Siedlung, Flurname und die Koordinaten der Landeskarte 1:25'000; ferner auch Höhe über Meer, Exposition und Hangneigung. Diese Daten können mit dem Höhenbarometer, dem Kompass und dem Hangneigungsmesser bestimmt werden. Nur ausnahmsweise ist eine Vermessung auf dem Messtisch notwendig. Sowohl die Profilstelle wie auch ihre nähere Umgebung sollen beschrieben werden, weil pedologische Arbeiten öfters auch den Bezug der Flächendimensionen benötigen.

Da es eher schwierig ist, eine ehemalige Profilstelle später genau zu orten, kann eine Situationsskizze oder eine Photographie hilfreich sein. Profilstellen und Entfernungen zu markanten Punkten (Waldrand, Weg, Bach, usw.) werden auf dem entsprechenden topographischen Kartenblatt exakt eingetragen.

### **3.5 Geologische und petrographische Situation**

#### **3.5.1 Ausgangsmaterial für die Bodenbildung**

Der mineralische Teil des Bodens wird vom Ausgangsmaterial geprägt, welches in erster Linie die Körnung, aber auch das Gefüge bzw. die Porosität, sowie die Bodenreaktion beeinflusst. Der im Bodenprofil feststellbare Untergrund kann mit dem Ausgangsmaterial identisch sein; oft ist dies jedoch nicht der Fall, weil während der langen Zeit der Bodenentwicklung Überdeckungen erfolgten. Die Art des Ausgangsmaterials lässt sich durch sorgfältige Untersuchung der Gesteinsrelikte im Bodenprofil ermitteln. Die geologische und die topographische Situation wird im Profilblatt skizziert.

#### **3.5.2 Häufige Ausgangsmaterialien**

Die Gruppierung der Ausgangsmaterialien kann verschiedenartig erfolgen. Mindestens die folgenden Materialgruppen sollten unterschieden werden (siehe auch Anhang 9.1, sowie Literatur zur Geologie, v.a. geologische Karten): Moräne, Schotter, Gehängeschutt und Bergsturzmaterial, Kolluvionen, Lösslehm, alluviale Sande, Lehme und Tone, Torf, Seekreide und Kalktuff, Mergel, Ton aus Lagerstätten, Schiefer, Sandstein, Konglomerat, Kalkgestein, Granit, dunkle Eruptivgesteine, Grüngesteine.

### **3.6 Ansprache und Beschreibung des Bodenprofils**

Die vollständige Ansprache des Profils ist für die Klassifikation eines Bodens unumgänglich. Vorteilhaft ist die Verwendung eines Profilblattes (vgl. Kap. 3.3).

Die Bodenhorizonte und ihre Abgrenzung lassen sich vorwiegend an folgenden Merkmalen erkennen, die in Form von Profilskizzen und Signaturen dargestellt werden: Bodenfarbe, Körnung, Humusgehalt, Humusform, Aggregation, Porenbildung, Konzentrationen und Ausbleichungen in der Bodenmatrix, Durchwurzelung, Merkmale biologischer Aktivität, Redoxmerkmale, Gesteinsverwitterung, Kalkgehalt und Bodenreaktion.

### 3.6.1 Vorbereitung des Profils

Vorgängig wird die Stirnwand der Bodengrube senkrecht abgestochen und sauber präpariert, damit alle zu beurteilenden Merkmale des Bodenprofils deutlich erkennbar sind. Ein Metermass ermöglicht eine massstäblich korrekte Aufnahme. Die Null-Marke soll terrain-eben platziert sein. Ganz frische Pflanzenreste kommen dabei über die Null-Marke zu liegen. Am Hang wird die Horizontmächtigkeit senkrecht zur Bodenoberfläche gemessen. Wenn es in der Grube zu dunkel ist, können Ausstiche in der Reihenfolge der Horizonte auf der Bodenoberfläche zur Untersuchung ausgelegt werden.

### 3.6.2 Profilskizze und Signaturen

Eine vollständige und genaue Profilskizze ist für die Klassifikation und Beurteilung des Bodens wertvoll. Damit die Skizze später rasch und richtig gelesen werden kann, sind konventionelle Signaturen zu verwenden (2b).

Die Untersuchung beginnt mit der Abgrenzung der Bodenhorizonte nach pedogenetischen Unterschieden in Abhängigkeit von der Profiltiefe. Die Ergebnisse der sorgfältigen Untersuchung eines jeden Horizontes werden mittels dieser Signaturen in der Skizze festgehalten. Für verbale Ergänzungen sollte Raum neben der Profilskizze ausgespart sein.

Signaturen werden für folgende Gruppen von Horizontmerkmalen verwendet (siehe Anhang 9.1, Profilskizze und Signaturen)

Begrenzung und Verlauf der Horizonte	Bodengefüge
Aerober Auflagehumus	Biologische Aktivität
Organo-mineralische Substanz (Humus)	Eluviationen
Hydromorphe Humusaufgaben	Sesquioxide
Mineralische Feinerde	Illuviationen
Bodenskelett	Tensionsfreies Wasser

### 3.6.3 Symbole der Haupthorizonte

Zur Bezeichnung der Horizonte sind Symbole gebräuchlich (2a). Dies erleichtert das rasche Erkennen der wesentlichen Merkmale eines Profils und unterstützt dessen Klassifikation.

Es werden Symbole für die Haupthorizonte, solche zur Unterscheidung derselben sowie ergänzende Symbole unterschieden. Nachfolgend sind die Symbole und deren Kurzbezeichnung aufgeführt (Definitionen siehe Anhang).

O	organischer Auflagehorizont
T	Torf
A	Organo-mineralischer Oberbodenhorizont
E	Eluvial- oder Auswaschungshorizont
I	Illuvial- oder Einwaschungshorizont
B	Unterbodenhorizont
C	Untergrund (Ausgangsmaterial)
R	Felsunterlage

### 3.6.4 Symbole zur Unterteilung der Haupthorizonte

Zustand der organischen Substanz

a	anmooriger oder moorähnlicher hydromorpher Horizont
f	Fermentationszone (Förna), Vermoderungszone

h	Humusstoffzone
l	Streuzone (Litter)

#### Verwitterungszustand

ch	chemisch vollständig verwitterte Mineralerde
w	Verwitterungshorizont
z	Zersatz des Muttergesteins

#### Relative mineralische Substanzanreicherungen

fe	erhöhter Eisenoxidgehalt
ox	Oxidhorizont
t	relativ tonreicherer Horizont
q	Rückstandsanreicherung von Quarzen

#### Gefügestand

m	massive, verhärtete, zementierte Zone
p	gepflügter Oberboden
st	Strukturhorizont
vt	vertisolisch
x	kompakte, dichte Zone

#### Zustand der Alkalien und Erdalkalien

k	Kalkanreicherungs-horizont
na	alkalireicher Horizont
sa	salzreicher Horizont

#### Merkmale des Sauerstoffmangels (Redoxschwankungen)

cn	punktförmige, schwärzliche Knötchen
(g)	schwache Rostfleckung
g	mässige Rostfleckung
gg	Horizont mit starker Rostfleckung infolge periodischer Vernässung
r	dauernd vernässter, stark reduzierter Horizont

#### Alte Bodenbildungen

b	begrabener Horizont
fo	fossiler Horizont

#### Anthropogene Bodenschichten

y	Künstlich aufgebraachte Bodenschichten (vorangestellt, z.B. yAhp)
---	---

### 3.6.5 Ergänzende Horizontsymbole

#### Unvollständige Ausprägung

( )	sehr schwach entwickelter Horizont
[ ]	nur stellenweise vorhandener Horizont
1,2,3,	Gliederung von Auflagehumus

#### Uebergangshorizonte (Beispiel)

AC	Uebergangshorizont zwischen A- und C-Horizont
----	---

#### Symbolkombinationen (Beispiele)

- Tf Der Haupthorizont und sein Zustand werden nebeneinander gesetzt (faseriger, schwach zersetzter Torfhorizont)
- BCx,gg Zustandssymbole von verschiedener Bedeutung werden mit Komma getrennt

#### Lithologischer Wechsel

- II,III Im Profil ist mehr als ein Ausgangsmaterial festzustellen (Beispiel: IIC)

### 3.7 Untersuchungen am Profil

Als Ergänzung zur Bodenprofilbeschreibung werden einige weitere spezifische Untersuchungen am Profilaufschluss durchgeführt. Diese umfassen besonders die Bestimmung der Bodenfarbe, der verschiedenen Anteile des Bodengerüsts (Skelett, Feinerde und Humus), des Karbonatgehaltes und des pH-Wertes.

#### 3.7.1 Bodenfarbe

Farbausprägungen sind oft ein Ausdruck des Entwicklungsgrads des Bodens. Daher ist es wichtig, Bodenfarben systematisch zu beschreiben und in die Klassifikation einzubeziehen.

Beispiele:

Farbtonstufen und z.T. auch Stufen der Farbintensität kennzeichnen die Natur des freigelegten Eisens im Boden, die Stufen des Grauwerts Gehalt und Abbaugrad der organischen Substanz.

Die grosse Palette vorkommender Bodenfarben wird mit Hilfe der Munsell-Farbtafeln (15) ermittelt. Bei der Farbbestimmung sind die drei Farbkomponenten "Farbton", "Grauwert" und "Farbintensität" zu unterscheiden.

Einzelheiten zum Gebrauch der Munsell-Farbtafeln siehe Anhang 9.1 (Bodenfarbe).

#### 3.7.2 Bodenskelett

Bodenskelett bedeutet Gesteinsteile mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm. Bodenskelett und Feinerde, die mengenmässig wichtigsten festen Bestandteile des Bodens, können stark unterschiedliche Anteile aufweisen.

In der Schweiz ist eine Einteilung nach Grösse und Mengenanteil (Vol.%) des Bodenskeletts in 13 Klassen (2c) gebräuchlich (siehe Anhang 9.1).

Die Bestimmung der Grösse und des Anteils an Bodenskelett unterstützt die Bodenklassifikation auf den Stufen II "Ordnung" und III "Verband" sowie bei der Bodenform. Sie gibt Hinweise über den Grad der physikalischen Verwitterung des Muttergesteins und ist unentbehrlich bei der Bemessung der physiologischen Gründigkeit sowie indirekt bei der Beurteilung der Bearbeitbarkeit des Bodens.

Da die genaue Bestimmung der Anteile an Bodenskelett im ganzen Bodenprofil aufwändig ist, beschränkt man sich meistens auf eine Schätzung. Ein Hilfsmittel dazu sind Vergleichstafeln (siehe Anhang 9.1). Sie werden mit jedem Horizont im Massstab 1:1 an zahlreichen Stellen verglichen. Aus den vielen Einzelschätzungen wird ein ungefährender Durchschnitt gebildet.

#### 3.7.3 Körnung der Feinerde

Für die Definition der Feinerdekörnung (Korndurchmesser kleiner als 2 mm) sind die drei Kornfraktionen Ton, Schluff und Sand sowie die organische Substanz massgebend:

Ton ( $\emptyset < 2 \mu\text{m}$ )

Schluff	(Ø 2-50	µm)
Sand	(Ø 50-2000	µm)

Die Ton- und Schluffanteile werden im allgemeinen analytisch bestimmt und in Gewichtsprozenten der gesamten trockenen Feinerde ausgedrückt. Der Sandanteil wird rechnerisch ermittelt. Werden die Anteile der Körnungsfractionen in Gewichtsprozenten lediglich der mineralischen Feinerde berechnet, ist dies ausdrücklich anzugeben.

Ton, Schluff und Sand sowie organische Substanz liegen im Boden stets als Mischung vor. Im Körnungsdiagramm (22) können sandige, lehmige, schluffige und tonige Böden in 13 Körnungsklassen unterschieden werden (siehe Anhang 9.1). Die Feinerdekörnung wird zusammen mit dem Anteil an organischer Substanz auch als Bodenart bezeichnet (z.B. schwach humoser, sandiger Lehm).

Auf verschiedenen Stufen der Klassifikation sind gute Kenntnisse über die Feinerdekörnung wichtig. Bei den Bezeichnungen des Untertyps sind es vor allem die Ausprägungen des Gefüges und der Lagerungsdichte. Die Feinerdekörnung kennzeichnet erstrangig die Bodenform. Ferner ermöglicht sie Aussagen über die physiologische Gründigkeit, das Speichervermögen an leicht verfügbarem Wasser, die Nährstoffspeicherung und indirekt auch über die Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens.

Der Bedeutung der Feinerdekörnung entsprechend ist in vielen Fällen für die Klassifikation eine exakte Laboranalyse zu empfehlen (siehe Labormethoden im Anhang 9.2).

Eine Schätzung der Feinerdekörnung am Profil sollte aber in jedem Fall vorgenommen werden. Als Hilfsmittel dient die Fühlprobe (siehe Tabelle im Anhang 9.1). Zwischen Daumen und Zeigefinger wird feuchte Erde zerrieben. Sand fühlt sich dabei rau an; Schluff weich und mehlig; Ton schmierig, plastisch oder hart, je nach Wassergehalt. Daher ist der Boden vor der Fühlprobe auf einen bestimmten Feuchtezustand einzustellen (Feldkapazität).

Die Schätzung der Feinerdekörnung mittels Fühlprobe erfordert praktische Erfahrung und regelmässiges Eichen mit Hilfe analysierter Proben.

### 3.7.4 Humus

Untersuchungen über Form und Gehalt der organischen Substanz oder des Humus im Boden bilden wesentliche Grundlagen für die Klassifikation. Im Vordergrund stehen Entschiede bei der Untertypenzuordnung (Gruppen M und O, Kap. 5.1), aber auch bei der Nährstoffspeicherung (Bodenform). Bei der Waldbodenklassifikation haben die Kennwerte der organischen Substanz, besonders in den Horizonten mit unterschiedlich zersetztem Auflagehumus, eine erstrangige Bedeutung.

Laboranalysen (siehe Labormethoden im Anhang 9.2) sowie Beurteilungen und Schätzungen am Profil liefern Grundlagen für die humusbezogene Klassifikation. Beim Anfertigen der Profilskizze muss bereits über die Humusform entschieden werden (Kap. 3.6.2 und Anhang 9.1). Die Profilskizze zeigt die Mächtigkeit der Horizonte, die Zusammensetzung aus verschiedenen zersetzten Komponenten und den Anteil an Huminstoffen.

Am Profil wird ferner der Humusgehalt der einzelnen Horizonte geschätzt. Dies erfordert, wie die Schätzung der Feinerdekörnung, praktische Erfahrung, die durch regelmässiges Eichen mit Labordaten untermauert werden muss.

Die Verwendung der Zusammenhänge zwischen dem "Grauwert" der Munsell-Farbtabelle und dem Humusgehalt (siehe Anhang 9.1) kann hilfreich sein.

### 3.7.5 Karbonat

Der Karbonatgehalt in den einzelnen Horizonten des Bodenprofils kennzeichnet den Entwicklungszustand und die Art des Muttergesteins deutlich. Der Karbonatgehalt der Fein-

erde kann im Labor bestimmt werden (siehe Labormethoden im Anhang 9.2). Eine annähernde Ermittlung des Karbonatgehalts am Profil erfolgt in jedem Fall. Mit verdünnter Salzsäure (HCl), auf kleine Proben getropft, erfolgt die Karbonatbestimmung. Karbonat reagiert mit Salzsäure unter CO<sub>2</sub>-Entwicklung. Aus der sicht- bzw. hörbaren Salzsäurereaktion (Einzelheiten im Anhang 9.1) kann der Karbonatgehalt des Bodens grob geschätzt werden.

### 3.7.6 pH-Wert

Der Säuregrad des Bodens (pH-Wert) ist für die Klassifikation auf den verschiedenen Stufen sehr wichtig. Dies trifft vor allem auf der Stufe IV "kennzeichnende Perkolate" (Karbonat- und Metallionenauswaschung) sowie bei den Bezeichnungen von Untertyp (Umlagerung und Säuregrad) und Bodenform (Nährstoffspeicherung, v.a. in Waldböden) zu.

Die Beurteilung des pH-Werts erfolgt im Kap. 5.1. Eine feinere Unterteilung als bei den Untertypen ist im Anhang 9.1 aufgeführt.

Die Bestimmung der pH-Werte erfolgt im Wasser- oder im CaCl<sub>2</sub>-Extrakt des Bodens unter Verwendung von pH-Mess-Elektroden. Im allgemeinen steht die Laboruntersuchung im Vordergrund (siehe Labormethoden im Anhang 9.2). Bei Profilbeschreibungen im Feld stehen tragbare pH-Messgeräte zur Verfügung. Mit Farbindikatoren, z.B. Hellige-pH-Meter, kann der Säuregrad annähernd ermittelt werden.

## 3.8 Probenahme am Profil

Oft ist eine Ergänzung der Bodenuntersuchungen am Profilaufschluss durch Laboranalysen notwendig. In solchen Fällen sind Bodenproben sorgfältig zu entnehmen. Für chemische und physikalische Laboranalysen werden sog. *Sackproben* (Proben mit gestörtem Gefüge) entnommen.

Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit, der Porenvolumenanteile und der Wasserspeicherfähigkeit werden Proben mit ungestörtem Gefüge, d.h. *Zylinderproben*, verwendet.

*Mikromorphologische Bodenuntersuchungen und die Herstellung von Bodenpräparaten (Bodenmonolithe)* sind nur an völlig ungestörten Bodenproben sinnvoll. Am Profil fixierte, mit geeignetem Harz imprägnierte Proben oder ganze Profile dienen dem Unterricht oder werden als Vergleichsobjekte für die Klassifikation gesammelt. Entsprechend muss die Auswahl von Böden sehr sorgfältig erfolgen. Einzelheiten zur Probenahme siehe Anhang 9.1.