

# **DER BODEN LEBT**

**Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald**

## **PROJEKTLEITUNG BODENLEHRPFAD**

Matthias Achermann, Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern

## **KONZEPT, TEXT UND GESTALTUNG**

Judith Burri, Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern

Die Arbeit basiert auf einer Diplomarbeit von Reto Spiess, Universität Zürich

## **FACHLICHE BERATUNG**

Prof. Peter Fitze, Universität Zürich

Markus Egli, Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern

Jules Schärli, Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern

## **ILLUSTRATION TITELBILD UND KARTE**

Max Wettach, Grafikdesign & Illustration SGD, Luzern

## **DRUCK**

Studentendruckerei, Universität Zürich

## **BEZUGSQUELLE**

Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern

Postfach – 6002 Luzern

Telefon 041 228 60 60

Telefax 041 228 64 22

[afu@lu.ch](mailto:afu@lu.ch)

[www.afulu.ch](http://www.afulu.ch) (Kopiervorlage kann heruntergeladen werden)

Preis Fr. 15.-

1. Auflage, Juli 2000, 200 Exemplare

*Kantonales Amt für Umweltschutz Luzern, Abteilung Gewässerbewirtschaftung und Bodenschutz,  
Bodenschutzfachstelle*

*Geografisches Institut der Universität Zürich*

Folgenden Personen/Institutionen danken wir für ihre Mitarbeit am Projekt Bodenlehrpfad:

Christoph Bünler, Revierförster bis 2000

Klaus Burch, Luzern

Andreas Burri, Luzern

Sonja Gehrig, Universität Zürich

Aloisia Hofer, Waldbesitzerin

Gemeinde Meggen, Waldbesitzerin

Naturforschende Gesellschaft Luzern

Walter Schnider, Revierförster bis 1997

Adrian Schnyder, Waldbesitzer

Robi Stalder, Landwirt

Josef Waldis, Revierförster ab 2000

## Inhalt

### Einleitung

1	Der Bodenlehrpfad Meggerwald.....	1
2	Für die Lehrerin / den Lehrer .....	2
3	Für die SchülerInnen: Arbeitsanleitung.....	5
4	Wie gelangt man zum Bodenlehrpfad / Karte .....	6

### Standort 1

5	Einführung zu Standort 1 .....	7
6	Der Bodenaufbau und die Entstehung des Bodens.....	8
7	Die Bodenbildungsfaktoren .....	12
8	Die Bodennutzung in der Schweiz .....	15
9	Die saure Braunerde .....	17
10	Lösungen zu Teil 1 .....	20

### Standort 2

11	Einführung zu Standort 2 .....	23
12	Die mineralischen Bodenbestandteile .....	24
13	Der Wasser- und Lufthaushalt .....	29
14	Bodenverdichtungen .....	32
15	Die pseudogleyige Braunerde .....	34
16	Lösungen zu Teil 2 .....	36

### Standort 3

17	Einführung zu Standort 3 .....	39
18	Die Bodenlebewesen .....	40
19	Ausgewählte Bodenlebewesen .....	45
20	Die Wiederverwendung von Boden bei Bauprojekten.....	48
21	Der Gley .....	50
22	Lösungen zu Teil 3 .....	53

### Standort 4

23	Einführung zu Standort 4 .....	55
24	Das organische Material eines Bodens .....	56
25	Die Bodenversauerung .....	60
26	Schadstoffe .....	65
27	Der Podsol .....	67
28	Lösungen zu Teil 4 .....	70



# DER BODEN LEBT

Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald

# Einleitung

<b>1</b>	<b>Der Bodenlehrpfad Meggerwald</b> .....	<b>1</b>
1.1	Die Broschüre zum Bodenlehrpfad Meggerwald.....	1
1.2	Das Leitprogramm zum Bodenlehrpfad Meggerwald.....	1
<b>2</b>	<b>Für die Lehrerin / den Lehrer</b> .....	<b>2</b>
2.1	Schulische Voraussetzung .....	2
2.2	Vorgehen .....	2
2.3	Inhalt .....	2
2.4	Zusätzliche Unterlagen.....	3
2.5	Material .....	4
<b>3</b>	<b>Für die SchülerInnen: Arbeitsanleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Wie gelangt man zum Bodenlehrpfad / Karte</b> .....	<b>6</b>



## 1 Der Bodenlehrpfad Meggerwald

Die Bodenschutzfachstelle des Kantonalen Amtes für Umweltschutz Luzern und das Geografische Institut der Universität Zürich haben 1995 im Meggerwald vier Bodenprofile geöffnet, damit Studentinnen und Studenten der Universität bei einer alljährlichen Exkursion typische Böden der Innerschweiz kennenlernen können.

### 1.1 Die Broschüre zum Bodenlehrpfad Meggerwald

Um diesen Bodenlehrpfad auch einem breiteren Publikum zugänglich zu machen, wurde im Jahr 2000 eine Broschüre herausgegeben. Sie führt durch den Bodenlehrpfad und vermittelt dabei wichtige Grundlagen zum Thema Boden und Bodenschutz.

Die Broschüre „Der Boden lebt“ kann beim Kantonalen Amt für Umweltschutz Luzern bezogen werden.

### 1.2 Das Leitprogramm zum Bodenlehrpfad Meggerwald

Für Mittelschulen wurde zudem dieses Leitprogramm erarbeitet. Es soll den Schülerinnen und Schülern einen Überblick über die Bodenkunde vermitteln und der Lehrerin oder dem Lehrer den Einstieg ins Thema Boden erleichtern.

Ein Leitprogramm ist eine Lehrmethode, bei der die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe der Unterlagen alleine arbeiten. Ein Vorteil gegenüber dem Frontalunterricht ist, dass jede Schülerin und jeder Schüler sein Arbeitstempo selbst bestimmen kann. Wer den Inhalt eines Kapitels verstanden hat, kann darauf aufbauen und das nächste Kapitel in Angriff nehmen.

Ein grosser Vorteil dieses Leitprogramms ist, dass es direkt an den anschaulichen Bodenprofilen im Meggerwald erarbeitet werden kann.

Es empfiehlt sich, für die Bearbeitung des Leitprogramms einen Tag im Meggerwald einzuplanen. Am Ende dieses Tages sollten die Schülerinnen und Schüler einen grundlegenden Überblick zum Thema Boden gewonnen haben. Die Lehrerin oder der Lehrer können dann je nach Interesse und Möglichkeiten einzelne Themen in zusätzlichen Schulstunden oder im Labor vertieft bearbeiten.

Das Leitprogramm kostet 15 Fr. pro Exemplar. Es kann beim Kantonalen Amt für Umweltschutz Luzern bestellt werden. Oder Sie können von der Homepage des Amtes für Umweltschutz ([www.afulu.ch](http://www.afulu.ch)) gratis eine Kopiervorlage herunterladen.

## 2 Für die Lehrerin / den Lehrer

Wir hoffen, mit diesem Leitprogramm auch Ihnen als Lehrperson den Unterricht zum Thema Boden bzw. den Einstieg ins Thema Boden etwas zu erleichtern. Insbesondere können Sie Ihrer Klasse die Gelegenheit bieten, vier verschiedene echte Profile im Wald zu besuchen.

### 2.1 Schulische Voraussetzung

Das Leitprogramm richtet sich an Schülerinnen und Schüler der Mittelschulstufe. Für das Verständnis einiger Kapitel werden einfache Grundkenntnisse in Chemie vorausgesetzt. Der Stoff ist sehr grundlegend und einfach aufgebaut und eignet sich vor allem als Einstieg in die Bodenkunde.

### 2.2 Vorgehen

Wir empfehlen Ihnen, für die Bearbeitung eine eintägige Exkursion in den Meggerwald zu planen. Die Schülerinnen und Schüler können so das Leitprogramm gleich vor Ort bearbeiten.

Das Leitprogramm ist so aufgebaut, dass bei jedem der vier Bodenprofile ein Themenblock mit Bezug auf das jeweilige Bodenprofil behandelt wird. Sie können also die Klasse in vier Gruppen unterteilen, so dass jede Gruppe je ca. 1 bis 1,5 Stunden pro Profil arbeiten kann. Im Prinzip sollte jede Schülerin und jeder Schüler die Theorie in Ruhe durchlesen, um dann die Aufgaben zu lösen. Wir erachten es aber auch als sinnvoll, wenn die Schülerinnen und Schüler die Aufgaben zusammen diskutieren und gemeinsam zu einer Lösung kommen. Erst dann sollten die Lösungen auf den letzten Seiten des jeweiligen Kapitels konsultiert werden.

### 2.3 Inhalt

Das Leitprogramm vermittelt einen Überblick zur Bodenkunde mit der Behandlung der vier regional vorkommenden Bodentypen saure Braunerde, pseudogleyige Braunerde, Gley und Podsol. Zu jedem Themenblock gehört auch ein kurzer Einblick in ein angewandtes Bodenschutzthema.

Je nach Möglichkeit und Interesse können Sie einzelne Themen im Unterricht oder im Labor noch vertieft bearbeiten, ev. auch zusammen mit der Biologielehrerin / dem Biologielehrer. Auf der nächsten Seite finden Sie eine Liste mit empfehlenswerten Lehrunterlagen. Die meisten davon sind in der „Bodenkiste“ vorhanden. Diese kann beim Kantonalen Amt für Umweltschutz Luzern oder beim öko-mobil Luzern ausgeliehen werden.



## 2.4 Zusätzliche Unterlagen

### Lehrunterlagen

**Boden** Burki, R., Mäder, P., Riesen, K. (1990) Kantonaler Lehrmittelverlag Luzern. Kommentarteil und Angaben zu Materialgebrauch, je 25 S.

**Lebensraum Boden** Faltenmeier, R. (1996) Praktischer Unterricht Biologie. Klett-Verlag, Stuttgart, 126 S.

**Boden** Pews-Hocke, Ch. (1997) Themen und Lehrerheft für den fachübergreifenden Lernbereich „Naturwissenschaften“. Paetec, Berlin, 62 S. / 59 S.

**Wir erforschen Boden** Slaby, P. (1993) Verlag Die Werkstatt / AOL-Verlag, Göttingen, Lichtenau, 23 S.

### Dia-Serie

**Der Boden als ökologischer Faktor** Füssler, B. Dia-Didact, Kümmerly und Frey, Zollikofen-Bern, 25 Dias mit Textheft.

### Videos

**Lebensraum Boden** (1994) Kümmerly und Frey, Zollikofen-Bern, 14 Minuten.

**Tatort Umwelt: Boden** (1994) Fernsehen DRS, Film Institut Bern, 30 Minuten.

### Poster

**Der Boden lebt.** Naturhistorisches Museum Basel, Acarologische Abteilung, Dr. C. Bader, Basel.

### Bestimmungsliteratur

**Bestimmungstabellen für einheimische Bodentiere.** Zettel, J. Zoologisches Institut der Universität Zürich.

## 2.5 Material

Bei Standort 3 und 4 sind für einige Aufgaben Hilfsmittel nötig. Bei der Bodenschutzfachstelle des Kantonalen Amtes für Umweltschutz kann auf Wunsch alles nötige Material ausgeliehen werden (Kontaktperson: Judith Burri, Tel: 041 - 228 64 07, E-Mail: [judith.burri@lu.ch](mailto:judith.burri@lu.ch)).

### Standort 3

Edelmann-Bohrer mit Verlängerung  
2 Tropfflaschen mit 10%-iger Salzsäure  
2 Handschaufeln  
1 weisse Unterlage (z. B. ein Tuch oder ein grosses Papier)  
4 Pinsel  
4 Lupendeckeldosen  
2 Bestimmungstabellen für einheimische Bodentiere

### Standort 4

pH-Meter nach Hellige

### 3 Für die SchülerInnen: Arbeitsanleitung

Das Leitprogramm besteht aus vier Teilen. Jeder Teil ist einem Standort des Bodenlehrpfads im Meggerwald zugeordnet und soll im Rahmen der Feldarbeit am entsprechenden Standort bearbeitet werden. Die vier Teile sind so aufgebaut, dass jeder für sich allein bearbeitet werden kann. Die Klasse kann sich also in vier Gruppen aufteilen, so dass jede Gruppe an jedem Standort etwa ein bis einhalb Stunden arbeiten kann.

Jedes Kapitel besteht aus einem Theorieteil, den Ihr aufmerksam durchlesen sollt. Dazwischen gibt es verschiedene Aufgaben zu lösen. Am Ende jedes Kapitels hat es als Lernkontrolle einige Fragen zum Theorieteil. Falls Ihr eine Aufgabe nicht lösen oder die Fragen der Lernkontrolle nicht beantworten könnt, dann lest das zugehörige Kapitel nochmals durch. Ihr könnt die Aufgaben und Fragen aber auch in der Gruppe diskutieren. Jeweils am Ende der vier Teile findet Ihr die Lösungen zu den Aufgaben und Lernkontrollen. Um eine möglichst grosse Wirksamkeit zu erzielen, solltet Ihr, bevor Ihr mit einem neuen Kapitel beginnt, das vorangehende verstanden haben.

Zur besseren Unterscheidung der einzelnen Abschnitte in den Unterlagen, wurden Symbole mit folgenden Bedeutungen eingeführt:



Theorie

#### Theorie:

Hier stehen die theoretischen Grundlagen: Das heisst: Aufmerksam durchlesen!



Aufgabe

#### Aufgabe:

Die Aufgaben geben die Möglichkeit, mit dem Stoff zu arbeiten, zu üben.



Lernkontrolle

#### Lernkontrolle:

Mit der Lernkontrolle könnt Ihr am Ende der vier Teile prüfen, wie gut Ihr den Stoff verstanden habt. Falls Ihr die Aufgaben problemlos lösen könnt, sitzt das entsprechende Kapitel und Ihr könnt das nächste Kapitel in Angriff nehmen. Ansonsten lest den Text nochmals aufmerksam durch.



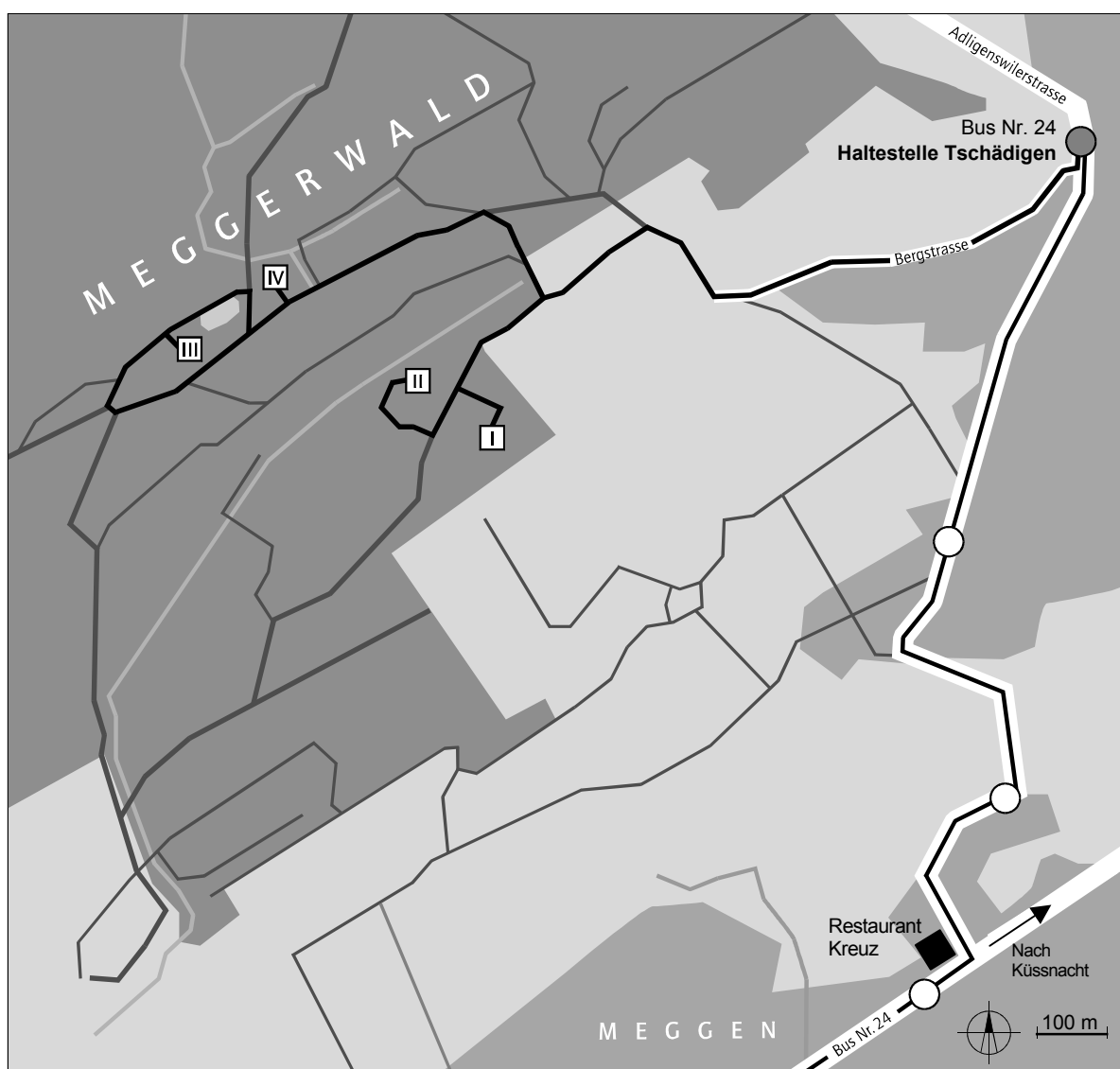
Lösungen

#### Lösungen:

Die Lösungen findet Ihr jeweils am Ende der Unterlagen zu einem Standort. Sie dienen zur selbständigen Kontrolle der Aufgaben und Lernkontrollen. Falls die Antworten nicht stimmen, lest das vorangehende Kapitel nochmals durch. Die Lösungen zu den Lernkontrollen sind nur stichwortartig zusammengefasst. Genauere Angaben findet Ihr im entsprechenden Kapitel.

## 4 Wie gelangt man zum Bodenlehrpfad / Karte

Ihr erreicht den Bodenlehrpfad Meggerwald ab Bahnhof Luzern mit dem Bus Nr. 24 nach Tschädigen, Meggen. Von der Haltestelle Tschädigen sind es noch 10 Minuten zu Fuss und schon habt ihr den Meggerwald erreicht. Folgt nun einfach den eingezeichneten Wegen auf der Karte. Kleine Wegweiser helfen zusätzlich, die Standorte zu finden.



Karte mit den Standorten des Bodenlehrpfads Meggerwald

# DER BODEN LEBT

Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald

# Standort 1

<b>5</b>	<b>Einführung zu Standort 1</b> .....	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Der Bodenaufbau und die Entstehung des Bodens</b> .....	<b>8</b>
6.1	Lernziele .....	8
6.2	Der Bodenaufbau .....	9
6.3	Die Entstehung eines Bodens .....	11
6.4	Lernkontrolle .....	11
<b>7</b>	<b>Die Bodenbildungsfaktoren</b> .....	<b>12</b>
7.1	Lernziele .....	12
7.2	Ausgangsmaterial .....	12
7.3	Gelände (Topographie) .....	12
7.4	Klima .....	13
7.5	Zeit .....	13
7.6	Pflanzen, Bodentiere und Pilze .....	13
7.7	Mensch .....	13
7.8	Lernkontrolle .....	14
<b>8</b>	<b>Die Bodennutzung in der Schweiz</b> .....	<b>15</b>
8.1	Lernziele .....	15
8.2	Die Flächennutzung der Schweiz .....	15
8.3	Die Bodenprobleme der Schweiz .....	16
8.4	Lernkontrolle .....	16
<b>9</b>	<b>Die saure Braunerde</b> .....	<b>17</b>
9.1	Lernziele .....	17
9.2	Die Entstehung einer sauren Braunerde .....	17
9.3	Das Profil der Sauren Braunerde .....	19
9.4	Lernkontrolle .....	19
<b>10</b>	<b>Lösungen zu Teil 1</b> .....	<b>20</b>



## 5 Einführung zu Standort 1

Am Standort 1 werdet Ihr den Bodentyp *saure Braunerde* kennenlernen. Der Name Braunerde kommt von der braunroten Farbe des Unterbodens.

Böden sind horizontal geschichtet aufgebaut. Diese Schichten (Oberboden, Unterboden, Ausgangsgestein) entstehen im Verlauf der Jahrhunderte bis Jahrtausende dauernden Bodenentwicklung.

Je nach Bedingungen an einem Standort können sich unterschiedliche Böden entwickeln. In der Schweiz gibt es über 30 verschiedene Böden. Beim Bodenlehrpfad im Meggerwald werdet Ihr vier verschiedene Bodentypen kennenlernen.

Da in der Schweiz nur etwa ein Drittel der Gesamtfläche bewohnt und landwirtschaftlich genutzt werden kann, ist Boden knapp geworden. Es ist daher wichtig, schonend mit dem Boden umzugehen und ihn auch für die nächsten Generationen zu erhalten.

### Themen am Standort 1

Bodenaufbau

Entstehung von Boden

Bodenbildungsfaktoren

Bodennutzung in der Schweiz

Bodentyp saure Braunerde

## 6 Der Bodenaufbau und die Entstehung des Bodens

### 6.1 Lernziele

Du kennst die verschiedenen Bodenschichten eines Bodenprofils.

Du weißt, weshalb Böden geschichtet aufgebaut sind und wie die einzelnen Schichten entstehen.

Du kennst das Alter und die Entstehungsgeschichte unserer Böden.



Schau Dir das Profil der sauren Braunerde genau an und versuche die Farb-  
grenzen im leeren Feld von Abbildung 1.1 einzuzeichnen und die Farben anzuschrei-  
ben.

Farbübergänge  
saure Braunerde

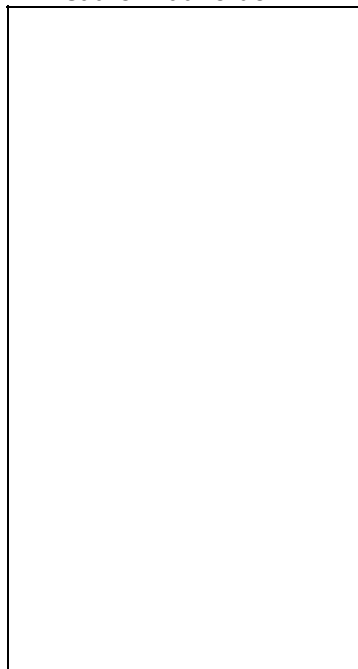


Abbildung 1.1: Aufgabe 1.1



## 6.2 Der Bodenaufbau



Um einen Boden kennenzulernen, muss man ein bis zwei Meter tief in ihn hineinschauen. Dann erkennt man, dass alle Böden geschichtet aufgebaut sind. In der Regel unterscheidet man drei Bodenhorizonte und vor allem bei Waldböden zusätzlich die Auflage (Abbildung 1.2). Wie Du bei Aufgabe 1.1 festgestellt hast, kann man die verschiedenen Bodenschichten farblich unterscheiden.

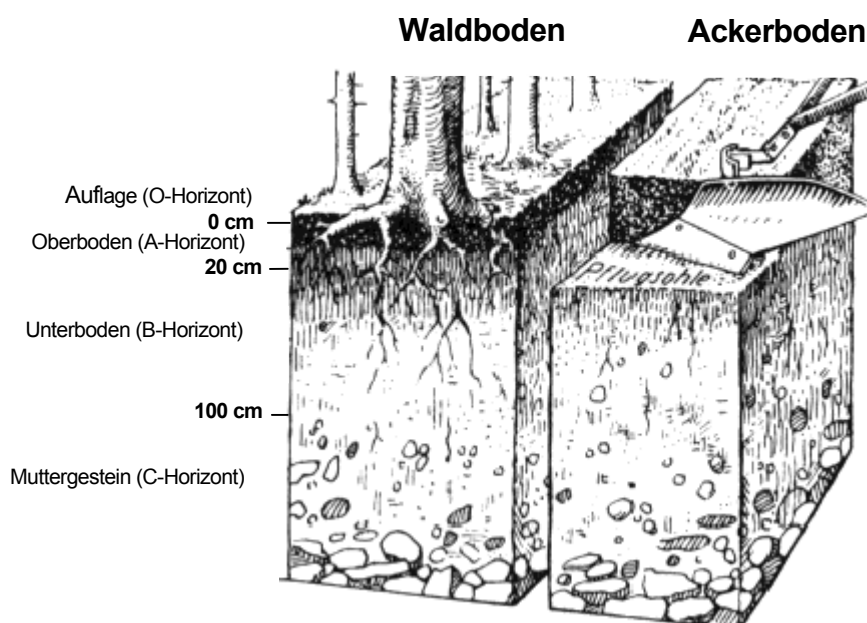


Abbildung 1.2: Schematisches Bodenprofil eines Wald- und eines Ackerbodens [aus: Fabry, R. (1950) *Bodenkunde für Schule und Praxis*]

Die **Auflage** besteht aus abgestorbenen Pflanzenteilen. Laub, Äste, Tannennadeln, Samen, usw. sind vor allem an der Oberfläche noch gut erkennbar. Sie werden aber allmählich von Bodentieren und Mikroorganismen zerkleinert, zersetzt und vermischt. Die Auflageschicht ist typisch für Waldböden, bei Äckern und Wiesen ist sie meist nicht vorhanden. Bei einem Bodenprofil misst man die Tiefe daher erst ab Obergrenze des Oberbodens (= 0 cm).

Der **Oberboden** ist die oberste, etwa 20 bis 30 cm mächtige, durch Humusstoffe schwärzlich gefärbte Schicht. Bakterien und Pilze haben einen Teil der Pflanzenreste in Humusstoffe umgewandelt. Wurzeln und Bodentiere vermischen diese mit Material des Unterbodens. Im Oberboden wurzeln die Kräuter.

Der **Unterboden** besteht aus verwittertem Gestein (Ausgangsmaterial). Er ist häufig durch Eisenverbindungen, die bei der Verwitterung freigesetzt werden, braunrot gefärbt. Viele Eigenschaften des Bodens wie Wasser- und Nährstoffspeicherung sind vom Unterboden abhängig. Die Wurzeln von Bäumen verankern sich im Unterboden und nehmen von dort Wasser und Nährstoffe auf.

Ab einer Tiefe von 1 bis 2 Metern stösst man auf den unverwitterten Untergrund, das **Ausgangsmaterial**. Aus ihm ist der eigentliche Boden entstanden. Im Meggerwald besteht der Untergrund aus Molasse, die teilweise von Moränen der letzten Eiszeit überlagert ist.



---

Geh zusammen mit Deinen Kolleginnen und Kollegen nochmals zum Profil und betrachte genau die verschiedenen Bodenschichten.

Beschreibe die Unterschiede von Auflage, Ober- und Unterboden und gib an, aus welchen Bestandteilen sie zusammengesetzt sind.

**Auflage** Farbe: .....

Tote Bestandteile: .....

Lebende Bestandteile: .....

**Oberboden** Farbe: .....

Tote Bestandteile: .....

Lebende Bestandteile: .....

**Unterboden** Farbe: .....

Tote Bestandteile: .....

Lebende Bestandteile: .....

---

### 6.3 Die Entstehung eines Bodens



Die Bodenbildung im Mittelland begann nach der letzten Eiszeit vor etwa 10'000 Jahren. Seit damals sind die Böden zu ihrer heutigen Form herangewachsen.

Beim Rückzug der Gletscher am Ende der Eiszeit wird der Gesteinsuntergrund freigelegt. Fels, Moränen und Schotter beginnen unter den Klimaeinflüssen (Temperaturveränderungen, Niederschläge, Wind) zu verwittern.

Erste Pflanzen siedeln sich in den Klüften und Ritzen des Urbodens an. Mit ihren Wurzeln tragen sie zur Verwitterung bei, indem sie in die Zwischenräume eindringen und die Gesteine auseinandersprennen. Nachdem die Pflanzen abgestorben sind, werden sie von Bodentieren, Bakterien und Pilzen zersetzt. Ein Teil dieses organischen Materials wird in Humusstoffe umgewandelt. Immer mehr und grössere Pflanzen können sich auf der wachsenden Humusschicht ansiedeln.

Wühlende Bodentiere wie Würmer und Maulwürfe vermischen die Humusstoffe mit der darunterliegenden Verwitterungsschicht. Nach und nach bildet sich ein humushaltiger Oberboden.

Weiter unten erfasst die Gesteinsverwitterung immer grössere Tiefen. Ein Unterboden entsteht.



Überlege Dir nun, welche Faktoren bei der Entstehung von Boden wichtig sind und somit die Entwicklung des Bodens beeinflussen können.

➤ .....	➤ .....
➤ .....	➤ .....
➤ .....	➤ .....

### 6.4 Lernkontrolle



- 1.4. Aus welchen Schichten setzt sich ein Boden zusammen?
- 1.5. In welchen Bodenschichten kommen Bodenlebewesen vor?
- 1.6. Bis in welche Bodenschicht reichen Pflanzenwurzeln?
- 1.7. Wie alt sind die Böden im Mittelland? Weshalb?

## 7 Die Bodenbildungsfaktoren

### 7.1 Lernziele

Du lernst, wie die Umweltfaktoren an einem Standort die Bodenbildung beeinflussen.

Du kennst verschiedene Abhängigkeiten zwischen diesen Umweltfaktoren.

Du erkennst den Zusammenhang zwischen den Umweltfaktoren und dem Bodentyp an einem Standort.



Die Bodenbildung wird von verschiedenen Umweltfaktoren bestimmt. Die Kombination dieser Faktoren kann von Standort zu Standort stark variieren. Je nach Ausprägung dieser Umweltfaktoren an einem Standort entstehen unterschiedliche Bodentypen. In der Schweiz gibt es über 30 verschiedene Bodentypen.

### 7.2 Ausgangsmaterial

Die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Untergrunds bzw. des Ausgangsmaterials ist für die Bodenentwicklung entscheidend. Sie bestimmt die Umwandlungsprodukte und die Geschwindigkeit der Bodenbildung.

Böden auf Granit werden sauer. Böden auf Kalk versauern nicht, solange noch Kalk vorhanden ist. Über lockerem Gestein bilden sich tiefgründige Böden, über Fels ist der Boden eher flachgründig.

### 7.3 Gelände (Topographie)

Das Gelände beeinflusst die Bodenentwicklung auf verschiedene Arten:

Die Höhe über Meer hat grossen Einfluss auf das Klima und damit auf die Vegetation am Standort.

Die Exposition (Lage) beeinflusst das kleinräumige Klima: Südhänge sind bei uns wärmer und trockener als Nordhänge, Westhänge sind normalerweise feuchter als Osthänge.

In Hang- und Kuppenlagen werden Bodenpartikel insbesondere durch Wasser weggeführt und in Tallagen wieder abgelagert (Erosion und Ablagerung).

Am Hangfuss oder in Mulden kann der Boden durch das Grundwasser mitgeprägt sein.

## 7.4 Klima

Die Temperatur hat einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Bodenbildungsprozesse. Hohe Temperaturen fördern die Verwitterung und den Abbau des organischen Materials. Viel Niederschlag beschleunigt die Auswaschung, Verlagerung und Anreicherung von Bodenbestandteilen.

Das Klima gibt auch vor, welche Pflanzen- und Tierarten in einem Gebiet überhaupt leben können. Diese wiederum haben ebenfalls einen Einfluss auf die Bodenentwicklung.

Dass das Klima ein entscheidender Faktor ist, sieht man daran, dass sich in den Tropen, bei uns in gemässigten Klimaten und in der Antarktis völlig andere Bodentypen entwickeln.

## 7.5 Zeit

Die Bodenbildung ist ein sehr langsam ablaufender Vorgang. Im Mittelland hat sie nach dem Rückzug der Gletscher der letzten Eiszeit vor ca. 10'000 Jahren begonnen.

Erst nach Jahrhunderten bis Jahrtausenden erreicht ein Boden sein Reifestadium, das heisst einen Zustand, in dem sich bei gleichbleibenden Umweltbedingungen der Bodentyp nicht mehr verändert.

## 7.6 Pflanzen, Bodentiere und Pilze

Pflanzen halten mit ihren Wurzeln den Boden zusammen und schützen ihn so vor Erosion. Durch ehemalige Wurzelgänge kann Wasser schneller versickern und Luft in den Boden eindringen. Zudem liefern Pflanzen in Form von Laub, Nadeln, Ästen usw. das organische Material des Bodens (Humus = totes organisches Material).

Bodentiere, Bakterien und Pilze zerkleinern und zersetzen abgestorbene Pflanzenteile, wobei Nährstoffe zurück in den Boden gelangen. Zum Teil werden Humusstoffe gebildet. Wühlende Bodentiere, z. B. Würmer, durchmischen diese mit dem Unterboden und tragen so zu einer fruchtbaren Bodenstruktur bei.

## 7.7 Mensch

Der Mensch beeinflusst die Prozesse im Boden durch die Bodennutzung. Grossflächige Rodungen, Aufforstung mit standortfremden Baumarten, intensive Landwirtschaft, Heben oder Senken des Grundwasserspiegels sowie der Einsatz schwerer Maschinen verändern unsere Böden. Über die Luft werden zudem Schadstoffe eingetragen.



Versuche in Abbildung 1.3 die Beziehungen zwischen den verschiedenen Umweltfaktoren sowie zwischen den Umweltfaktoren und dem Boden darzustellen. Füge dazu die entsprechenden Pfeile in die Darstellung ein.

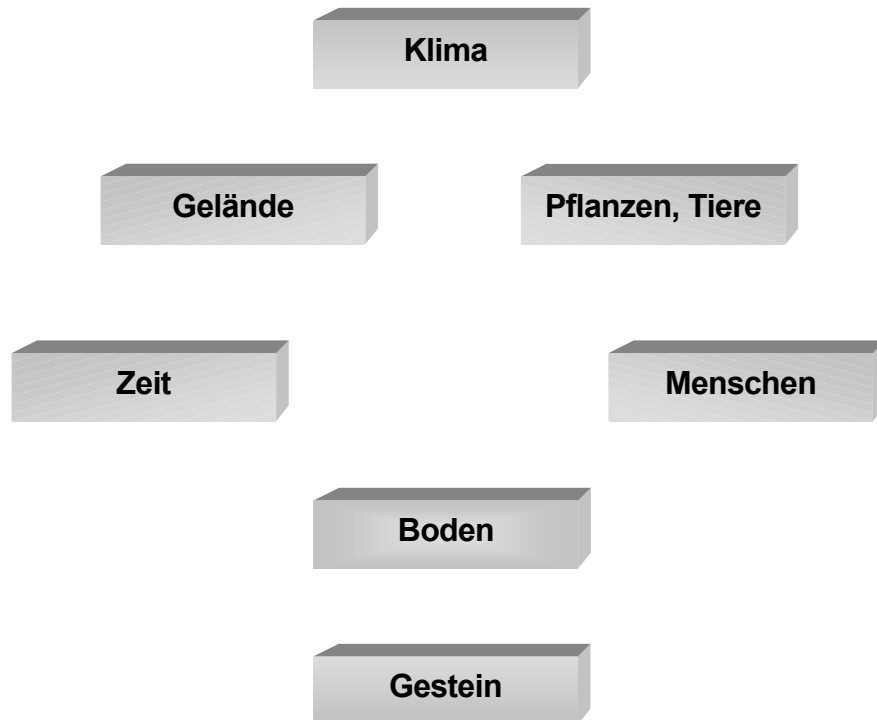


Abbildung 1.3: Umweltfaktoren und Boden



## 7.8 Lernkontrolle

- 1.9 Zähle nochmals ohne nachzuschauen die Umweltfaktoren auf, die die Bodenentwicklung beeinflussen?
- 1.10 Inwiefern beeinflusst das Klima die Bodenentwicklung?
- 1.11 Welchen Einfluss haben Pflanzen auf den Boden, auf dem sie wachsen?
- 1.12 Inwiefern beeinflussen die Menschen die Böden?

## 8 Die Bodennutzung in der Schweiz

### 8.1 Lernziele

Du verstehst, warum natürliche und landwirtschaftlich nutzbare Böden in der Schweiz ein knappes Gut sind.

Du lernst verschiedene menschliche Einflüsse auf den Boden kennenlernen

Du kennst die Bedrohungen des Bodens in der Schweiz

### 8.2 Die Flächennutzung der Schweiz



Unser tägliches Leben spielt sich nur auf einem Drittel der Fläche der Schweiz ab. 25 % sind landwirtschaftliche Nutzfläche und 6 % sind Siedlungsgebiete, Industriegebiete und Strassen.

Zwei Drittel der Schweiz werden nicht bewohnt und kaum genutzt. 25 % sind Felsen, Gletscher, Seen und Flüsse. 14 % sind Alpweiden und Heuwiesen mit geringem Ertrag. Und 30 % ist mit Wald bedeckt (Abb. 1.4).

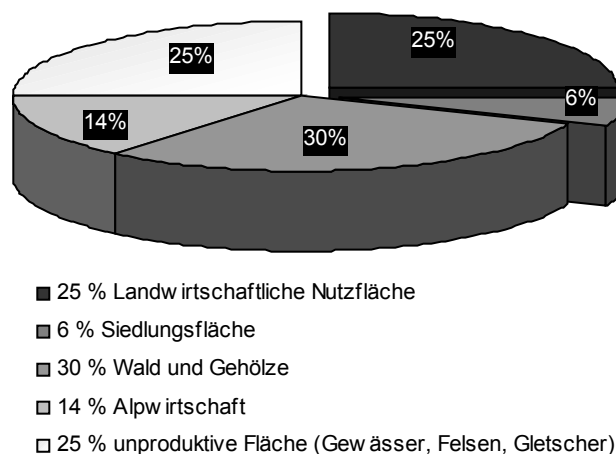


Abbildung 1.4: Flächennutzung in der Schweiz

### 8.3 Die Bodenprobleme der Schweiz

Die Fläche, auf der sich unser tägliches Leben abspielt ist also beschränkt. Gutes landwirtschaftliches Nutzland ist knapp und teuer geworden. Boden ist gefährdet durch den Verbrauch für Siedlungen und Verkehr, durch ungeeignete oder zu intensive land- und forstwirtschaftliche Nutzung sowie durch die Anreicherung von Schadstoffen:

Seit 1950 hat sich die überbaute Fläche in der Schweiz mehr als verdoppelt. Jede Sekunde wird ein Quadratmeter Boden überbaut.

Intensive Landwirtschaft verändert die Böden durch Düngung, den Einsatz von Pflanzenbehandlungsmitteln und durch maschinelle Bewirtschaftung. Es entstehen Probleme wie Verdichtung, Erosion, Ansammlung von Schadstoffen, Vernichtung von Bodenlebewesen und die Verdrängung und Ausrottung der wildlebenden Pflanzen und Tiere.

Luftschadstoffe aus Industrie, Gewerbe, Haushalten und Verkehr fallen irgendwann zu Boden und reichern sich dort an. Sie können Pflanzen und Tiere schädigen und in die Nahrungskette gelangen. Einige Luftschadstoffe tragen zudem über den sauren Regen zur Versauerung der Böden bei.



---

Überlege Dir, wie man in den unten aufgeführten Bereichen zum Erhalt unserer Böden beitragen könnte?

Siedlungsplanung:.....

Landwirtschaft:.....

Industrie:.....

Verkehr:.....

Haushalte:.....

---



### 8.4 Lernkontrolle

1.14 Warum sind zwei Drittel der Fläche der Schweiz praktisch unbewohnt?

1.15 Wie bedrohen wir Menschen die fruchtbaren Böden?

1.16 Wieviel Land wird in der Schweiz pro Tag überbaut?



## 9 Die saure Braunerde

### 9.1 Lernziele

Du erkennst eine Braunerde an ihrem Profil.

Du lernst zwei grundlegende Prozesse bei der Verwitterung im Unterboden kennen.

Du weisst wie und weshalb an einem bestimmten Standort eine Saure Braunerde entsteht.

---



Theorie

Saure Braunerden sind typische Böden unserer Klimaregion. Sie entstehen in gemässigten und feuchten Klimaregionen. In der Schweiz findet man sie häufig im Hügelland der Voralpen. Sie entstehen auf kalkarmen Gesteinen, zum Beispiel Nagelfluh Granit oder Gneis.

Braunerden mit einem Tongehalt von 25 bis 30 % sind fruchtbare Böden mit guter Wasserspeicherung. Im nassen Zustand sind sie jedoch verdichtungsgefährdet und sollten nicht mit schweren Maschinen befahren werden.

Sehr saure Braunerden können sich weiterentwickeln zu Podsolen. Bei Einfluss von Stau- oder Grundwasser entstehen die Bodentypen Pseudogley und Gley. Diese Bodentypen lernst du an den anderen drei Standorten des Bodenlehrpfads noch kennen.

### 9.2 Die Entstehung einer sauren Braunerde

Solange Kalk im Ausgangsmaterial vorhanden ist, bleibt der pH im Boden über 7, also im schwach basischen Bereich. Der Kalk wird aber allmählich mit Hilfe der Kohlensäure im Bodenwasser aufgelöst und wegtransportiert. Man nennt diesen Prozess Entkarbonatisierung oder Entkalkung.

Sobald aller Kalk gelöst wurde, sinkt der pH-Wert in den schwach sauren Bereich ab. Erst jetzt setzt die Verwitterung des silikatischen Ausgangsmaterials ein.

Das Ausgangsmaterial wird von der sauren Bodenlösung angegriffen und teilweise aufgelöst. Dabei werden je nach der Zusammensetzung Stoffe wie Kalzium-  $[Ca^{2+}]$ , Magnesium-  $[Mg^{2+}]$ , Aluminium-  $[Al^{3+}]$  und Eisenionen  $[Fe^{2+}]$  in die Bodenlösung abgegeben. Diese Stoffe sind wichtige Nährstoffe für die Pflanzen, sie sind aber auch beteiligt an weiteren Umwandlungen im Boden.

Die nun folgenden wichtigen Prozesse der Bodenbildung sind die Verbraunung und die Verlehmung.

### Verbraunung

Eisenionen  $[Fe^{2+}]$  reagieren beim Kontakt mit Sauerstoff  $[O_2]$ , also wenn Luft in den Boden eindringt, zu Eisenoxid  $[Fe_2O_3]$ . Dieser chemische Prozess ist eine Oxidation. Auf die selbe Weise entsteht Eisenoxid (=Rost), wenn Eisen rostet. Der Unterboden der sauren Braunerde ist durch das Eisenoxid rotbraun gefärbt.

### Verlehmung

Zeitgleich mit der Verbraunung setzt auch die Verlehmung ein. Aluminiumionen und Kieselsäure verbinden sich zu Tonmineralien. Tonmineralien sind sehr kleine aluminiumreiche Bodenteilchen.



Aufgabe 1.17

---

Vervollständige die untenstehende chemische Formel zur Umwandlung von gelöstem Eisen zu Eisenoxid:



### 9.3 Das Profil der Sauren Braunerde

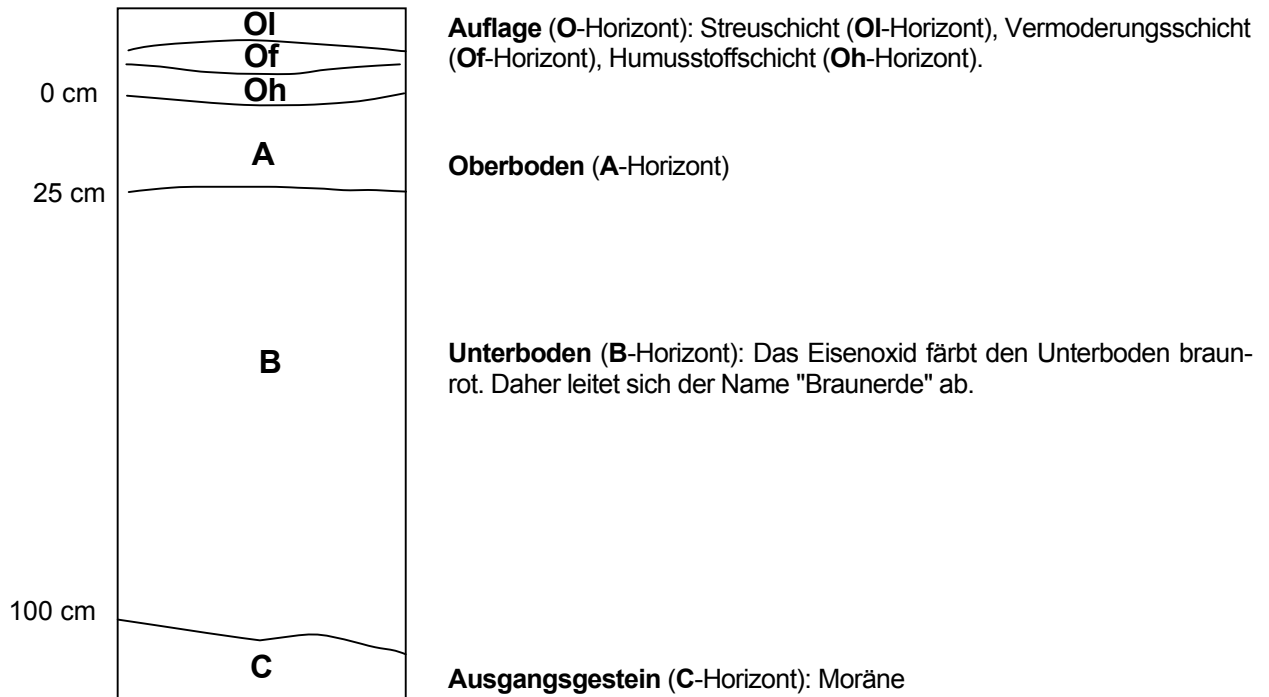


Abbildung 1.5: Profil der sauren Braunerde



Lernkontrolle

### 9.4 Lernkontrolle

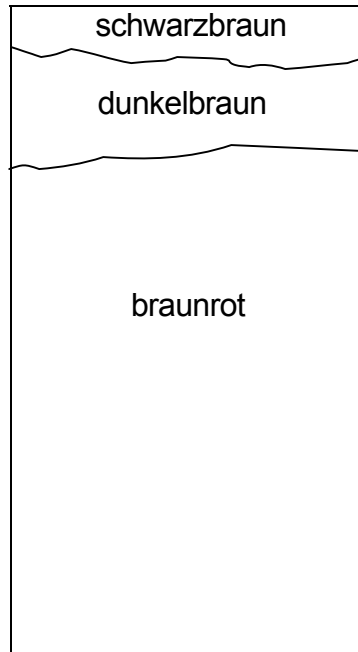
- 1.18 Bei welchen Umweltfaktoren kann eine saure Braunerde entstehen?
- 1.19 Weshalb ist der Unterboden der sauren Braunerde braunrot gefärbt?
- 1.20 Sind Braunerden fruchtbare Böden?

## 10 Lösungen zu Teil 1



1.1

### Farbübergänge Saure Braunerde

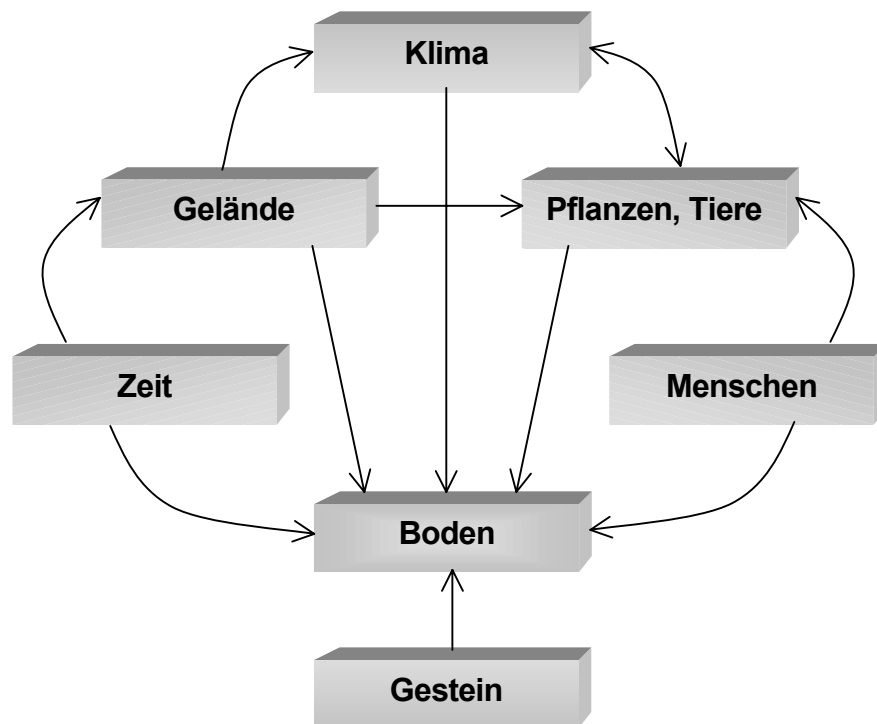


1.2

<b>Auflage</b>	Farbe:	schwarzbraun
	Tote Bestandteile:	ganze und angefressene Blätter, Nadeln, Äste, Samen, Buchnüsse, Tannenzapfen zersetzt organisches Material, Humusstoffe
	Lebende Bestandteile:	weisse Pilzfäden, ev. versch. Bodentiere
<b>Oberboden</b>	Farbe:	dunkelbraun
	Tote Bestandteile:	Humusstoffe vermischt mit mineralischer Erde
	Lebende Bestandteile:	feine Pflanzenwurzeln, ev. Bodentiere
<b>Unterboden</b>	Farbe:	braunrot
	Tote Bestandteile:	braunrote mineralische Erde, Steine
	Lebende Bestandteile:	Baumwurzeln

1.3 Ausgangsmaterial, Klima, Pflanzen, Bodentiere, Bakterien, Pilze, Zeit (ausserdem das Gelände und die Menschen)

- 1.4. Auflage, Oberboden, Unterboden, Ausgangsmaterial
- 1.5. V. a. in der Auflage und im Oberboden, einige auch im Unterboden (z. B. Maulwurf)
- 1.6. Kräuter wurzeln v. a. im Oberboden; Bäume wurzeln v. a. im Unterboden, reichen z. T. aber bis ins Ausgangsmaterial
- 1.7. 10'000 Jahre; erst nachdem sich die Gletscher der letzten Eiszeit zurückgezogen hatten, konnte die Bodenbildung beginnen.
- 1.8



- 1.9 Ausgangsmaterial (Gestein), Gelände, Klima, Zeit, Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen, Menschen
- 1.10 Das Klima beeinflusst die Verwitterung des Ausgangsmaterials und die vorkommenden Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen
- 1.11 Pflanzen schützen den Boden vor Erosion, mit ihren Wurzeln lockern sie den Boden auf und verbessern dadurch den Wasser- und Lufthaushalt, sie liefern das organische Material und sie beeinflussen das kleinräumige Klima (z. B. durch Beschattung)
- 1.12 Durch die Bodennutzung (Landwirtschaft, Bauen) und Luftschadstoffe

- 1.13 Siedlungsplanung: Bodenschonende Planung, dort bauen, wo schon verbaut ist, fruchtbare Böden schützen und nicht weiter verbauen  
Landwirtschaft: extensive Bewirtschaftung, weniger Dünger, weniger Pflanzenbehandlungsmittel, weniger schwere Maschinen, usw.  
Industrie: weniger schädliche Stoffe verwenden, Luftfilter  
Verkehr: öffentliche Verkehrsmittel verbessern und benutzen  
Haushalte: Heizung richtig einstellen, keine Abfälle verbrennen
- 1.14 Die Flächen sind schlecht bewohn- und nutzbar (Gebirge, Gewässer)
- 1.15 Durch Überbauungen für Siedlungen, Industrie und Verkehr, durch die intensive Landwirtschaft, durch Luftschadstoffe aus Industrie, Gewerbe und Haushalten
- 1.16  $1\text{m}^2$  pro Sekunde =  $86'400\text{ m}^2$  = 8,64 Hektaren
- 1.17  $\underline{2}\text{ Fe}^{2+} + \underline{\text{O}_2} + \underline{\text{H}_2\text{O}} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \underline{2}\text{ H}^+$
- 1.18 Kalkarmes Ausgangsmaterial, eher kühl und feucht
- 1.19 Eisen aus dem Ausgangsgestein oxidiert mit Sauerstoff zu Eisenoxid (=Rost)
- 1.20 Ja

# DER BODEN LEBT

Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald

## Standort 2

<b>11 Einführung zu Standort 2 .....</b>	<b>23</b>
<b>12 Die mineralischen Bodenbestandteile .....</b>	<b>24</b>
12.1 Lernziele .....	24
12.2 Die Zusammensetzung des Bodens.....	24
12.3 Die Herkunft der mineralischen Bestandteile bzw. die Gesteinsverwitterung.....	25
12.4 Der Kalkgehalt der Gesteine .....	26
12.5 Die Körnung eines Bodens .....	27
12.6 Lernkontrolle .....	28
<b>13 Der Wasser- und Lufthaushalt .....</b>	<b>29</b>
13.1 Lernziele .....	29
13.2 Das Porensystem im Boden.....	29
13.3 Die Darstellung der Porenverhältnisse eines Bodens .....	30
13.4 Lernkontrolle .....	31
<b>14 Bodenverdichtungen .....</b>	<b>32</b>
14.1 Lernziel .....	32
14.2 Die Bodenbelastbarkeit .....	32
14.3 Die Auswirkungen der Bodenverdichtung.....	32
14.4 Lernkontrolle .....	33
<b>15 Die pseudogleyige Braunerde .....</b>	<b>34</b>
15.1 Lernziele .....	34
15.2 Die Entstehung eines Pseudogley .....	34
15.3 Das Profil der pseudogleyigen Braunerde .....	35
15.4 Lernkontrolle .....	35
<b>16 Lösungen zu Teil 2 .....</b>	<b>36</b>





## 11 Einführung zu Standort 2

An diesem Standort seht ihr eine *pseudogleyige Braunerde*. Sie wird beeinflusst durch Stauwasser, bedingt durch eine verdichtete Schicht im Unterboden.

Die festen Bestandteile eines Bodens bestehen aus organischem oder mineralischem Material. Sie ordnen sich je nach Art, Grösse und Zusammensetzung zu einem Bodengefüge. Dazwischen hat es ein Hohlraum- bzw. Porensystem. Die Poren sind wichtig für den Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens.

Wenn man mit schweren Fahrzeugen und Maschinen über den Boden fährt, besteht die Gefahr, dass die Bodenteilchen und damit die Poren zusammengepresst werden. Der Boden wird verdichtet. Dadurch wird der Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens gestört, seine Fruchtbarkeit nimmt ab.

### Themen am Standort 2

Zusammensetzung eines Bodens

Mineralische Bodenbestandteile

Porensystem

Wasser- und Lufthaushalt

Bodenverdichtungen

Bodentyp pseudogleyige Braunerde

## 12 Die mineralischen Bodenbestandteile

### 12.1 Lernziele

Du kennst die Bestandteile eines Bodens.

Du kennst die Herkunft von mineralischem und organischem Material.

Du kennst verschiedene Arten von Gesteinsverwitterung (physikalische und chemische).

Du erkennst den Einfluss des mineralischen Materials auf die Bodenbildung und die Bodenstruktur.

### 12.2 Die Zusammensetzung des Bodens



Der Boden setzt sich zusammen aus festen Bestandteilen und Hohlräumen.

Die festen Bestandteile (Matrix) bestehen entweder aus mineralischem oder organischem Material und sind in einem bestimmten Gefüge angeordnet.

Dazwischen hat es Hohlräume. Die Hohlräume des Bodens nennt man Poren. Sie sind entweder mit Luft oder mit Wasser gefüllt. Poren haben je nach ihrer Grösse eine unterschiedliche Funktion im Boden.

Die durchschnittliche Zusammensetzung eines Bodens ist in Abbildung 2.1 dargestellt

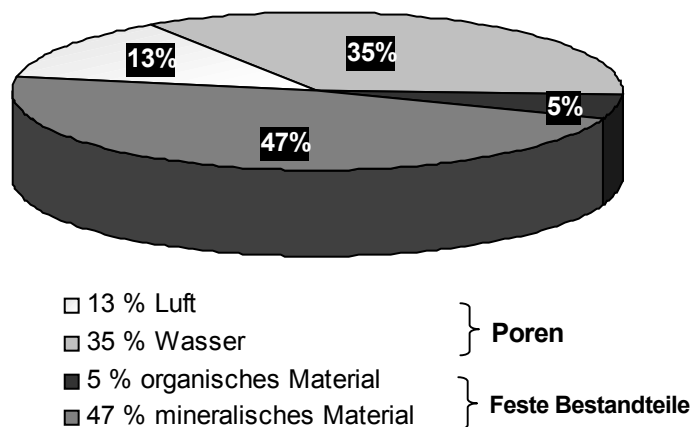


Abbildung 2.1: Die Zusammensetzung eines Bodens

Zu den **organischen Bestandteilen** eines Bodens gehören abgestorbene Pflanzenteile, Pflanzenwurzeln, lebende und tote Bodentiere, Mikroorganismen und Humusstoffe. Das organische Material findet man vor allem in der Auflage und im Oberboden. Totes organisches Material nennt man auch Humus. Bei den Standorten 3 und 4 erfahrt ihr mehr darüber.

Die **mineralischen Bestandteile** des Bodens umfassen die Gesteine und deren Verwitterungsprodukte. Der Unterboden der meisten Böden besteht fast zu hundert Prozent aus mineralischem Material.

### 12.3 Die Herkunft der mineralischen Bestandteile bzw. die Gesteinsverwitterung

Die mineralischen Bestandteile eines Bodens entstehen bei der Verwitterung des Ausgangsmaterials. Wie ihr in Teil 1 bei der Entstehung von Boden lernt, hat die Bodenbildung vor 10'000 Jahren mit der Verwitterung des Ausgangsmaterials begonnen. Die Verwitterung ist aber nie abgeschlossen. Sie ist ein ständiger Vorgang in einem Boden.

Bei der **physikalischen Verwitterung** zerfallen die Gesteine in kleinere Teile, ohne dass sich dabei die chemische Zusammensetzung verändert. Temperaturschwankungen führen zu Spannungen in einem Gestein, die am Ende seine Sprengung bewirken (Temperatursprengung). Dasselbe geschieht, wenn Pflanzenwurzeln in Gesteinsritzen eindringen (Sprengung durch Wurzeldruck). Schliesslich prallen die Gesteine beim Transport durch Wind, Wasser, Eis und Schwerkraft gegeneinander und werden dadurch mechanisch verkleinert.

Bei der **chemischen Verwitterung** wird auch die chemische Zusammensetzung der Mineralien verändert. Verantwortlich für die chemische Verwitterung sind in erster Linie Wasser und Sauerstoff. Sie reagieren mit den Mineralien und lösen diese aus dem Gestein. Aus diesen Lösungsprodukten können sich neue Minerale bilden. Eine wichtige Neubildung sind beispielsweise die Tonminerale bei der Verwitterung von Silikatgesteinen.

Die Verwitterung verläuft am schnellsten, wenn chemische und physikalische Prozesse gemeinsam wirken. Durch die physikalische Verwitterung wird die Gesteinsoberfläche vergrössert, so dass der chemischen Verwitterung eine grössere Angriffsfläche offensteht.



Aufgabe 2.1

Fülle im Diagramm von Abbildung 2.2 zur Gesteinsverwitterung die fehlenden Begriffe ein:

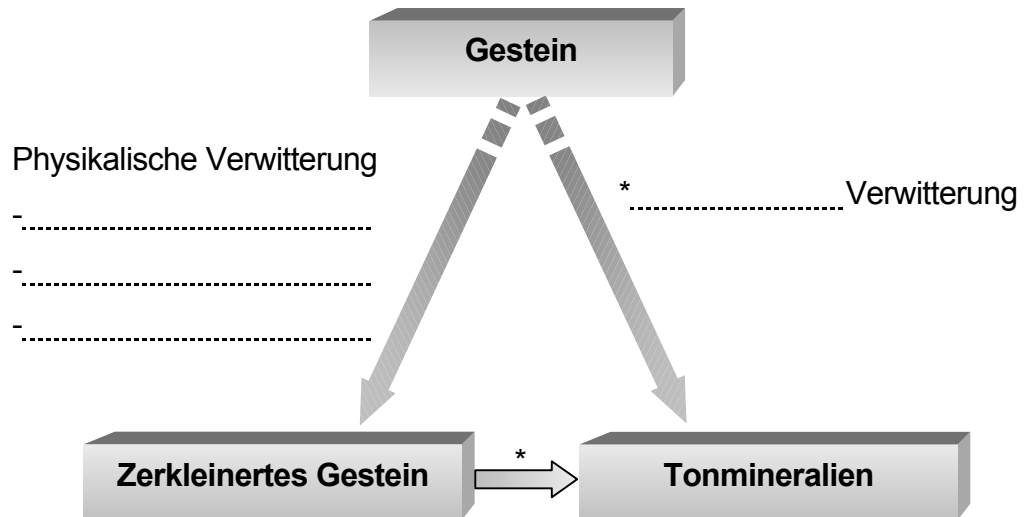


Abbildung 2.2: Die Verwitterung der Gesteine



Theorie

## 12.4 Der Kalkgehalt der Gesteine

Die Gesteine des Ausgangsmaterials kann man nach ihrem Kalkgehalt unterscheiden. Der Kalkgehalt ist ein wichtiges Merkmal für die Bodenentwicklung.

**Silikatgesteine** (z. B. Granit) enthalten keinen Kalk. Bei der Umwandlung von Silikatgesteinen entstehen z. B. Eisenoxide und Tonmineralien. Durch das saure Bodenwasser können diese Bodenbestandteile gelöst und verlagert werden. Die Verlagerung der Verwitterungsprodukte ergibt eine deutliche Horizontierung.

**Karbonatgesteine** enthalten viel Kalk und nur als Beimengen wenig silikatische Bestandteile. Da zuerst der Kalk gelöst und ausgewaschen wird, dauert es sehr lange bis eine Silikatverwitterung beginnen kann. Durch diese langsamere Verwitterung sind Böden auf Kalkgesteinen nur geringmächtig. Da verlagerungsfähige Verwitterungsprodukte fehlen, entwickelt sich eine einfache Horizontierung.

**Mischgesteine** (z. B. Nagelfluh) sind Gesteine, die sich sowohl aus kalkhaltigen als auch aus silikatischen Mineralien zusammensetzen. Zuerst wird das Kalk durch Regenwasser gelöst und wegtransportiert, danach wird die Bodenlösung leicht sauer und die Silikatverwitterung setzt ein.



Aufgabe 2.2

Ob ein Gestein Kalk enthält, kann man mit 10%-iger Salzsäure nachweisen. Versetzt man ein Gestein oder Unterbodenmaterial des Profils mit Salzsäure [HCl], wird der Kalk [CaCO<sub>3</sub>] aufgelöst. Je nach Kalkgehalt hört man ein leichtes bis heftiges Aufbrausen.

a) Weshalb kommt es zu diesem Aufbrausen?

b) Was passiert chemisch?

a) .....

b) .....



### 12.5 Die Körnung eines Bodens

Zur genaueren Beschreibung eines Bodengefüges untersucht man die Durchmesser der Einzelkörner. Dabei unterscheidet man die folgenden vier Korngrößenklassen:

Ton:	∅	<0.002 mm
Schluff:	∅	0.002 - 0.05 mm
Sand:	∅	0.05 - 2 mm
Skelett:	∅	> 2 mm

Um im Feld Informationen über die Körnung eines Profils zu erhalten, gibt es eine einfache Methode: die sog. Fühlprobe. Das feuchte Bodenmaterial wird dazu zuerst zwischen den Fingern geknetet, anschliessend zwischen Daumen und Zeigefinger verstrichen. Je nach der vorherrschenden Korngrösse verhält sich das Material unterschiedlich.

**Ton** ist beim Kneten plastisch und bildet beim Verstreichen eine glatte Schicht, die stark an den Fingern klebt.

**Schluff** fühlt sich beim Kneten weich und glatt an, klebt aber nach dem Verstreichen nicht an den Fingern.

**Sand** ist rau anzufühlen und hält nicht zusammen beim Kneten.



Aufgabe 2.3

Nimm von der Profilwand je eine Fingerprobe aus den Tiefenbereichen 30 cm und 150 cm (ganz unten). Überlege Dir, in welcher Probe der Tonanteil grösser ist.

---

---

---

---



Lernkontrolle

### 12.6 Lernkontrolle

- 2.4. Aus welchen Bestandteilen ist ein Boden zusammengesetzt?
- 2.5. Woher stammt das mineralische Material in einem Boden?
- 2.6. Ändert sich die Gesteinszusammensetzung bei der physikalischen und der chemischen Verwitterung?
- 2.7. Erläutere kurz die zweistufige Verwitterung von Mischgesteinen.
- 2.8. Erkläre die Begriffe Ton, Schluff, Sand, Skelett?

## 13 Der Wasser- und Lufthaushalt

### 13.1 Lernziele

Du weisst, weshalb ein grosser Teil des Bodens aus Hohlräumen besteht.

Du kannst verschiedene Porentypen bezeichnen.

Du kennst die wichtigsten Funktionen dieser Poren.

Du lernst eine Porenverteilungskurve zu interpretieren.



### 13.2 Das Porensystem im Boden

Der Volumenanteil aller Hohlräume im Boden beträgt ca. 50% (vgl. Abbildung 2.1).

Je nach Zusammensetzung und Grösse der mineralischen Bodenbestandteile bzw. der Körnung eines Bodens entsteht ein Porensystem mit verschiedenen grossen Poren. Die Grösse einer Pore bestimmt ihre Funktion im Boden. Deshalb unterteilt man die Bodenporen nach ihrem Durchmesser in verschiedene Klassen:

Grobporen:	∅	> 50 mm
Weite Mittelporen:	∅	5 - 50 mm
Enge Mittelporen:	∅	0.2 - 5 mm
Feinporen:	∅	< 0.2 mm

Die **Grobporen** sind nur bei anhaltenden Niederschlägen mit Wasser gefüllt. Schon nach ein bis zwei Tagen versickert dieses Wasser ins Grundwasser. Grobporen spielen daher bei der Wasserversorgung von Pflanzen eine untergeordnete Rolle. Hingegen sind sie wichtig für den Lufthaushalt eines Bodens. Denn sobald kein Wasser mehr in den Poren ist, dringt Luft in den Boden ein und damit Sauerstoff für die Atmung von Bodenlebewesen und Pflanzenwurzeln.

Bedeutungsvoll für Pflanzen sind die **Mittelporen**. Wasser aus diesen Poren wird im Boden über längere Zeit gespeichert und kann von den Pflanzenwurzeln leicht aufgenommen werden.

Das Wasser in den **Feinporen** nennt man Haftwasser. Die Saugkraft der Pflanzenwurzeln reicht nicht aus, um das Wasser den Feinporen zu entziehen.



In diesem Boden können Pflanzenwurzeln bis in 1,5 m Tiefe vordringen. Die Mittelporen machen etwa 20 % des Bodens aus. Das heisst, in etwa 20 % des Bodenvolumens wird Wasser, das für Pflanzen verfügbar ist, über längere Zeit gespeichert. Man nimmt an, dass pro Quadratmeter Boden etwa 5 Liter Wasser pro Tag verdunsten oder von den Pflanzen aufgenommen werden.

- Wieviel Wasser wird unter einem Quadratmeter Boden in den Mittelporen gespeichert?
- Wie lange hat es hier für die Pflanzen nach einem starken Regen genügend Wasser im Boden?

### 13.3 Die Darstellung der Porenverhältnisse eines Bodens

Die Porenverhältnisse eines Bodens werden durch die Porengrössenverteilungskurve graphisch dargestellt. Abbildung 2.3 zeigt die Porengrössenverteilung dieser pseudogleyigen Braunerde.

Die Vertikale (y-Achse) bezeichnet die Bodentiefe und die Horizontale (x-Achse) gibt den prozentualen Anteil der Porenklassen am Bodenvolumen an. Die Matrix umfasst den Anteil aller mineralischen und organischen festen Bestandteile am Bodenvolumen. Das Volumen der Poren wird in vier verschiedenen Porengrössenklassen (V1 bis V4) dargestellt.

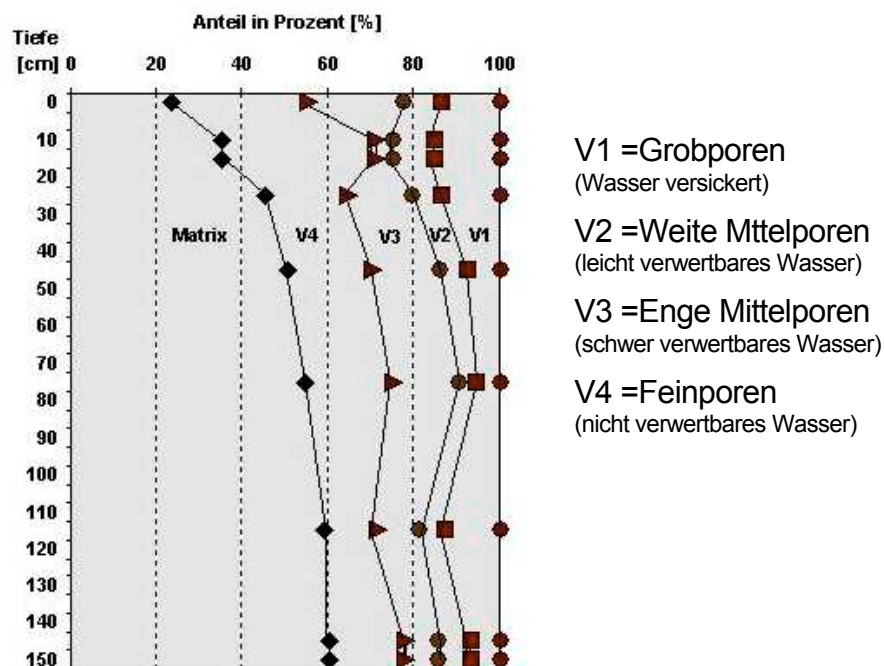


Abbildung 2.3: Porengrössenverteilung der pseudogleyigen Braunerde.





Versuche aus Abbildung 2.3 herauszulesen, welche Porengrößen in einer Tiefe von 80 cm wie stark vertreten sind.

Festsubstanz:	(Matrix)	.....%
Feinporen:	(V4)	.....%
Enge Mittelporen:	(V3)	.....%
Weite Mittelporen:	(V2)	.....%
Grobporen:	(V1)	.....%

Wie würdest Du diese Porenverteilung bezüglich des Wasserhaushalts interpretieren?

.....

.....

.....



### 13.4 Lernkontrolle

- 2.11 Weshalb gibt es im Boden ein System von verschieden grossen Poren?
- 2.12 Welche Poren sind am wichtigsten für die Pflanzen? Weshalb?
- 2.13 Durch welche Poren gelangt in erster Linie Luft in den Boden? Warum?
- 2.14 Wo versickert das Wasser langsamer: In einem tonreichen Boden oder in einem sandigen Boden? Warum?

## 14 Bodenverdichtungen

### 14.1 Lernziel

Du lernst die Ursachen und Probleme von Bodenverdichtungen kennen.

Du weisst, wie man Bodenverdichtungen minimieren könnte.

---



In der Land- und Forstwirtschaft wurden in den letzten Jahrzehnten zunehmend schwere Fahrzeuge und Maschinen eingesetzt. Ein schweres Gefährt drückt aber mit seinem Gewicht den Boden zusammen. Je nach Art und Zustand eines Bodens entstehen irreparable Schäden in der Bodenstruktur, sogenannte Bodenverdichtungen.

### 14.2 Die Bodenbelastbarkeit

Die Belastbarkeit eines Bodens hängt stark ab von seinem Wassergehalt, aber auch von der Grösse und Zusammensetzung der Bodenbestandteile. Nasse, lehmige Böden sind besonders verdichtungsanfällig. In der Schweiz sind ein Viertel der Ackerböden stark verdichtungsgefährdet.

### 14.3 Die Auswirkungen der Bodenverdichtung

Eine Verdichtung des Bodens bedeutet, dass die Grobporen zusammengedrückt sind. Als Folge davon ist der Boden weniger durchlässig für Wasser- und Luft. Das Wasser kann nach Regenfällen nur langsam abfliessen. Die Böden bleiben über längere Zeit vernässt. Bei langanhaltenden Regenfällen besteht die Gefahr von Überschwemmungen.

Weniger Grobporen und längere Wassersättigung behindern auch die Luftversorgung im Boden. Dadurch verschlechtern sich die Lebensbedingungen für Pflanzenwurzeln und Bodentiere, die unter Sauerstoffmangel leiden. Die Bodenfruchtbarkeit und damit der Ertrag in der Landwirtschaft nimmt ab. In stark verdichteten Waldböden ist die Verjüngung des Baumbestandes gefährdet.



Aufgabe 2.15

---

Überlege Dir, wie Du die Gefahr einer Bodenverdichtung vermindern kannst beim Kauf einer Maschine (a) und beim Einsatz der Maschine (b):

- a) - .....
- .....
- .....
- b) - .....
- 



#### 14.4 Lernkontrolle

- 2.16 Was geschieht, wenn man mit schweren Maschine über einen Acker fährt?
- 2.17 Welche Eigenschaften des Bodens beeinflussen seine Verdichtungsanfälligkeit?
- 2.18 Welche Nachteile entstehen für einen Bauer, wenn sein Acker verdichtet ist ?

## 15 Die pseudogleyige Braunerde

### 15.1 Lernziele

Du erkennst einen Pseudogley aufgrund seiner spezifischen Merkmale (Vernäsungszeichen) im Unterboden.

Der kennst die Prozesse der Pseudovergleyung.

Die kennst den Zusammenhang zwischen der Porengrößenverteilung und der Pseudovergleyung.



Aufgabe 2.19

Betrachte das Profil der Pseudogleyigen Braunerde genau und aus der Nähe. Der Unterboden ist nicht wie zum Beispiel bei der sauren Braunerde gleichmäßig braunrot gefärbt. Welche Besonderheiten siehst Du?



Die pseudogleyige Braunerde ist ein Boden, der durch gestautes Regenwasser geprägt wird. Er tritt daher dort auf, wo im Unterboden eine verdichtete oder tonreiche Schicht vorhanden ist. Bei dieser pseudogleyigen Braunerde ist diese Stauschicht geologisch bedingt, das heisst, durchlässigeres Material wurde über undurchlässigerem abgelagert.

Eine Pseudovergleyung kann aber auch einsetzen, wenn ein Boden durch unsachgemässe Bewirtschaftung verdichtet wird.

### 15.2 Die Entstehung eines Pseudogley

Ist im Unterboden eine Stauschicht (verdichtete oder tonreiche Schicht mit viel mehr Feinporen als Grobporen) vorhanden, dann kann das Wasser nach längeren Niederschlagsperioden nur langsam versickern. Solange aber der Boden mit Wasser gesättigt ist, gelangt keine Luft und damit auch kein Sauerstoff in den Boden.

### Die Pseudovergleyung

Unter sauerstofflosen Bedingungen beginnt sich das Eisenoxid  $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$  im Bodenwasser zu lösen, es wird reduziert zu Eisenionen  $[\text{Fe}^{2+}]$ . Trocknet der Boden langsam wieder aus, zieht sich das Wasser zuerst aus den grossen Poren in Richtung Matrix zurück. Durch diese Poren dringt dann wieder Luft in den Boden ein. Beim Kontakt mit Sauerstoff fällt das Eisen aus, da es zu Eisenoxid oxidiert. Es bilden sich helle, ausgebleichte, eisenarme Zonen, wo das Eisen herausgelöst wurde und rostrote Zonen, in denen das Eisen als Eisenoxid angereichert wurde. Besonders schön sichtbar sind diese Zeichnungen um ehemalige Wurzelgänge.

### 15.3 Das Profil der pseudogleyigen Braunerde

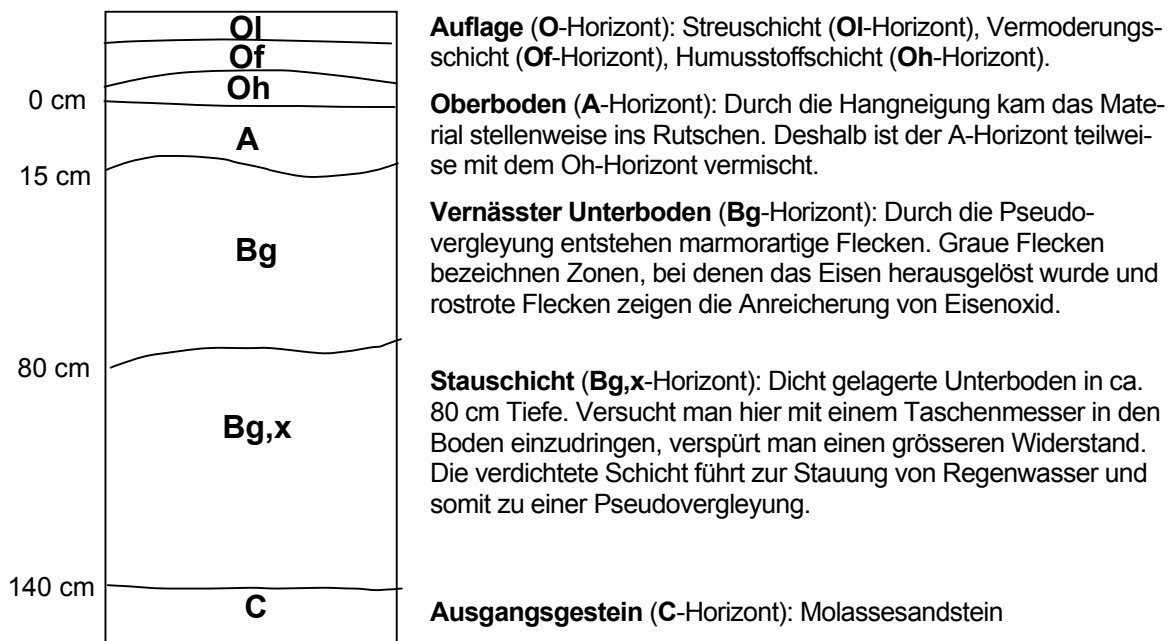


Abbildung 2.4: Profil der pseudogleyigen Braunerde

### 15.4 Lernkontrolle



- 2.20 Unter welchen Voraussetzungen entsteht ein Pseudogley?
- 2.21 Woran erkennst Du einen Pseudogley?
- 2.22 Wie entsteht ein Pseudogley?
- 2.23 Überlege Dir den Vorteil, wenn man an einem Waldstandort mit einem verdichteten Unterboden Weisstannen mit tiefen Pfahlwurzeln pflanzt?

## 16 Lösungen zu Teil 2

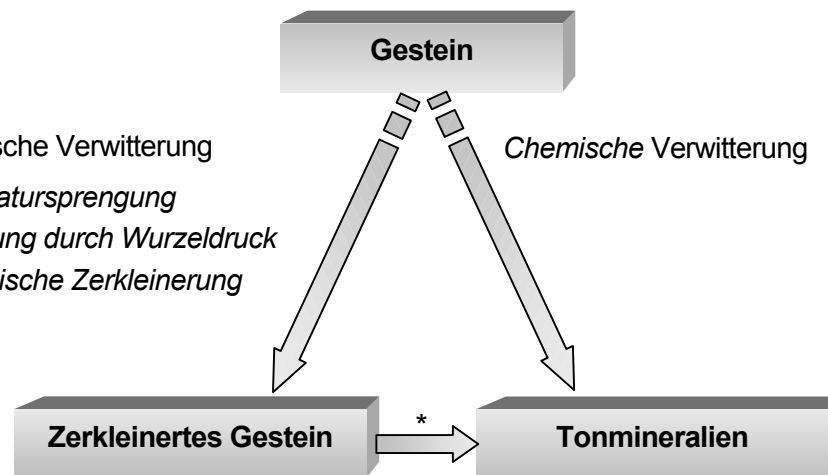


2.1

Lösungen

Physikalische Verwitterung

- *Temperatursprengung*
- *Sprengung durch Wurzeldruck*
- *mechanische Zerkleinerung*



- 2.2 a) Die Salzsäure löst den Kalk auf, wobei Kohlensäure entsteht  
b)  $\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$
- 2.3 In der Probe aus 30 cm Tiefe ist der Tongehalt höher.
- 2.4 feste mineralische Bestandteile, feste organische Bestandteile, Poren (bzw. Wasser und Luft)
- 2.5 Aus der Verwitterung des Ausgangsgesteins
- 2.6. Die Gesteinszusammensetzung ändert sich nur bei der chemischen Verwitterung
- 2.7. Zuerst wird der Kalk gelöst, dann setzt die Silikatverwitterung ein.
- 2.8 Die mineralischen Bestandteile eines Bodens werden nach ihrer Korngröße in Ton ( $\varnothing < 0.002 \text{ mm}$ ), Schluff ( $\varnothing = 0.002 - 0.05 \text{ mm}$ ), Sand ( $\varnothing = 0.05 - 2 \text{ mm}$ ) und Skelett ( $\varnothing > 2 \text{ mm}$ ) unterteilt.
- 2.9 a) 300 Liter  
b) 60 Tage
- 2.10 Festsubstanz (Matrix) = 55%; Feinporen (V4) = 20 %; enge Mittelporen (V3) = 15 %; weite Mittelporen (V2) = 5%; Grobporen (V1) = 5 %  
Der Anteil von Grobporen ist in 80 cm Tiefe sehr klein (kleiner als weiter oben und weiter unten). Das Regenwasser kann hier nur langsam abfließen und wird gestaut (Stauschicht).

- 2.11 Zwischen verschieden grossen festen Bestandteilen bilden sich entsprechend verschieden grosse Zwischenräume aus.
- 2.12 Die Mittelporen. In ihnen wird Wasser gespeichert, das von der Pflanzenwurzel aufgenommen werden kann.
- 2.13 Durch Grobporen. Da das Wasser in ihnen schnell versickert, kann durch sie Luft in den Boden eindringen.
- 2.14 In einem tonreichen Boden. Tonteilchen sind kleiner als Sandteilchen, weshalb sich auch kleinere Poren ausbilden, in denen das Wasser gespeichert bleibt. Durch die grossen Poren eines Sandbodens versickert das Wasser schnell.
- 2.15 a) - möglichst leichte Maschine  
- breite Reifen oder Raupen, da so der Bodendruck (= Gewicht pro Fläche) kleiner ist  
b) - nur trockenen Boden befahren
- 2.16 Die Grobporen werden zusammengedrückt. Der Boden wird verdichtet.
- 2.17 Die Grösse und Zusammensetzung der Bodenbestandteile und die Bodenfeuchtigkeit
- 2.18 In verdichteten Böden ist der Wasser- und Lufthaushalt gestört. Die Böden vernässen. Es besteht die Gefahr von Überschwemmungen. Bodenlebewesen und Pflanzenwurzeln leiden unter Sauerstoffmangel. Die Bodenfruchtbarkeit nimmt ab.
- 2.19 Helle und rostrote Flecken (Marmorierung)
- 2.20 Wenn im Unterboden eine verdichtete Stauschicht vorhanden ist, durch die das Regenwasser nur langsam abfließen kann.
- 2.21 Der Unterboden ist vernässt, man findet helle und rostrote Flecken (Vernässungszeichen).
- 2.22 Im vernässen Unterboden wird unter sauerstofflosen Bedingungen Eisen gelöst. Wenn nach Abfluss des Wassers wieder Luft bzw. Sauerstoff in den Boden eindringt, fällt das gelöste Eisen wieder als Eisenoxid aus. Dadurch bilden sich helle, eisenarme und rostrote, mit Eisenoxid angereicherte, Flecken.
- 2.23 Die Pfahlwurzel lockert die verdichtete Schicht auf, das Wasser kann wieder schneller versickern.





# DER BODEN LEBT

Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald

## Standort 3

<b>17 Einführung zu Standort 3 .....</b>	<b>39</b>
<b>18 Die Bodenlebewesen .....</b>	<b>40</b>
18.1 Lernziele .....	40
18.2 Grosse Bodentiere (Megafauna).....	40
18.3 Kleine Bodentiere (Makrofauna) .....	41
18.4 Mikroorganismen .....	41
18.5 Abbau organischer Substanz .....	44
18.6 Die Verbesserung der Bodenstruktur.....	44
18.7 Lernkontrolle .....	44
<b>19 Ausgewählte Bodenlebewesen .....</b>	<b>45</b>
19.1 Lernziele .....	45
19.2 Der Regenwurm .....	45
19.3 Mykorrhiza .....	47
19.4 Knöllchenbakterien .....	47
19.5 Lernkontrolle .....	47
<b>20 Die Wiederverwendung von Boden bei Bauprojekten.....</b>	<b>48</b>
20.1 Lernziele .....	48
20.2 Der Bodenabtrag bei Bauprojekten.....	48
20.3 Die Rekultivierung aufgerissener Böden.....	49
20.4 Lernkontrolle .....	49
<b>21 Der Gley .....</b>	<b>50</b>
21.1 Lernziele .....	50
21.2 Die Entstehung eines Gley .....	50
21.3 Das Profil des Gley .....	51
21.4 Lernkontrolle .....	52
<b>22 Lösungen zu Teil 3 .....</b>	<b>53</b>



## 17 Einführung zu Standort 3

An Standort 3 lernt ihr den Bodentyp *Gley* kennen. Der *Gley* ist ein nasser Boden, er "steht" fast das ganze Jahr über regelrecht im Grundwasser.

Auf dem Boden liegen auch abgestorbene Pflanzenteile und tote Tiere. Insbesondere im Herbst fallen in unseren Laubwäldern jedes Jahr tonnenweise Blätter zu Boden. Bodentiere, Pilze und Bakterien bauen das gesamte organische Material ab und zerlegen es in seine Ausgangsbestandteile.

Eines der ganz wichtigen Bodentiere ist der Regenwurm. In unermüdlicher Schwerarbeit sorgt er dafür, dass unsere Äcker und Gärten fruchtbar bleiben.

Fruchtbarer, belebter und über Jahrtausende gewachsener Boden ist eine nicht erneuerbare Ressource. Er sollte nach Möglichkeit auch bei Bauprojekten als Boden wiederverwendet werden.

### Themen am Standort 3

Bodenlebewesen

Regenwurm

Mykorrhiza und Knöllchenbakterien

Wiederverwendung von Boden bei Bauprojekten

Bodentyp *Gley*

## 18 Die Bodenlebewesen

### 18.1 Lernziele

Du lernst die Vielfalt von Bodenlebewesen kennen.

Du kennst die Bedeutung der Bodenlebewesen.

Du kennst verschiedene Abhängigkeiten von Bodenlebewesen.



Im oberen Bereich von natürlichen Böden kommt eine unglaubliche Vielzahl und Vielfalt von Bodenlebewesen vor. 1 kg Bodenkrume enthält weit mehr Organismen als Menschen auf dieser Erde leben. Die Bodenlebewesen leben in den wasser- und luftgefüllten Poren im Boden. Sie sind verantwortlich für den Abbau von toten Pflanzen und Tieren und sie tragen zu einer stabilen Bodenstruktur bei.

Um das stetig anfallende organische Material zu Nährstoffen und Humus umzuwandeln, ist die Zusammenarbeit vieler verschiedener Bodenorganismen nötig. Jede Gruppe und jede Art hat eine ganz bestimmte Aufgabe.

Die Bodenlebewesen sind so zahlreich und vielfältig, dass man sie nach ihrer Grösse unterteilt:

### 18.2 Grosse Bodentiere (Megafauna)

Zur Megafauna gehören grosse Tiere, zum Beispiel im Boden lebende Säugetiere wie der Maulwurf. Lange Zeit wurde er von uns Menschen verfolgt. Heute wird er aber wieder als nützliches Tier geschätzt. Durch sein Graben vermischt er den Boden. Seine Gänge fördern die Belüftung des Bodens und eine schnellere Versickerung des Wassers. Er frisst Regenwürmer, aber auch viele Insekten, die sonst unseren Nutzpflanzen schaden würden.

Weniger beliebt ist die Schermaus, denn sie frisst Wurzeln und Blätter von Pflanzen. Zum Problem wird dies, wenn sie sich ca. alle sechs Jahre explosionsartig vermehrt und dann in grosser Zahl Wiesen, Äcker und Gemüsegärten schädigen kann.

### 18.3 Kleine Bodentiere (Makrofauna)

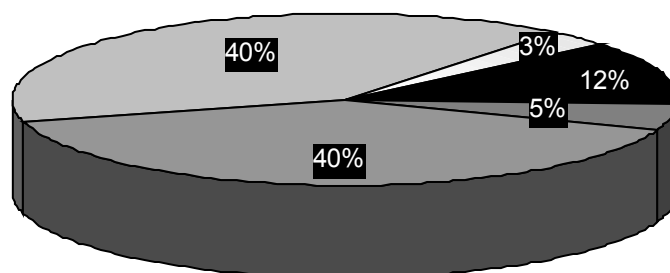
Zur Makrofauna gehören kleine, aber von Auge noch gut sichtbare Bodentiere. Sie leben in einer grossen Artenfülle vor allem in Bodenauflage. Einige zerlegen abgestorbene Pflanzen und Tiere. Bekannte Beispiele sind Regenwürmer, Borsenwürmer, Fadenwürmer, Insektenlarven, Springschwänze, Hornmilben, Asseln, Tausendfüssler und Schnecken. Andere sind Räuber wie Spinnen, Hundertfüssler und Raubmilben, sie fressen die vorher genannten Tiere (Abbildung 3.2).

### 18.4 Mikroorganismen

Mikroorganismen sind so klein, dass man sie erst im Mikroskop bewundern kann. Dennoch sind Bakterien, Pilze, und Algen die wichtigsten Bodenbewohner. Sie zersetzen abgestorbene Pflanzen und Tiere und den Kot grösserer Tiere. Es gibt kein natürliches Material, das nicht von Bakterien oder Pilzen abgebaut werden kann.

Ausserdem gehören zu den Mikroorganismen im Bodenwasser lebende Einzeller wie Amöben, Geisseltierchen, Wimperntierchen. Diese leben meist räuberisch und ernähren sich von den Bakterien.

Abbildung 3.1 zeigt die durchschnittliche Zusammensetzung der Bodenlebewesen in einem Boden.



- 12 % Regenwürmer
- 5 % übrige Makrofauna
- 40 % Pilze und Algen
- 40 % Bakterien und Strahlenpilze
- 3 % übrige Mikrofauna

Abbildung 3.1: Durchschnittliche Zusammensetzung der Bodenlebewesen in einem Boden

Bestimmungshilfe für Bodentiere















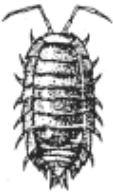




ohne Beine		Turmschnecke (5 mm)	Schnecken Würmer Insekten- larven		Regenwurm (bis 10 cm)	Enchytræe (10 mm)		Schnepfenfliegenlarve (bis 10 mm)		Schnakenlarve (20 mm)															
		Springschwanz (4mm)			Ohrwurm (bis 15 mm)			Kurzflügler (5 - 10 mm)		Laufkäfer (bis 30 mm)		Käferlarve (bis 30 mm)													
	3 Beinpaare			Bodenspinne ( 5 mm)			Weberknecht (12 mm)		Raubmilbe (1 mm)		Hornmilbe (1 mm)		Mooskorpion ( 4 mm)												
														4 Beinpaare	Spinnen- tiere		Assel (bis 12 mm)		Steinläufer (bis 40 mm)		Erdläufer (bis 40 mm)		Schnurfüsser (60 mm)		Saftkugler (10 mm)

Abbildung 3.2: Bestimmungshilfe für häufige Bodentiere [aus: Althaus, H. (1997) *Leben im Boden. Wo finden wir Bodentiere? Bestimmungshilfe*]



Aufgabe 3.1

Wir werden nun einige Bewohner des Bodens in der Streu suchen. Dazu brauchst Du eine weisse Unterlage (z. B. ein Tuch oder ein grosses Papier), eine Handschaufel, einen Pinsel und eine Becherlupe.

Breite nun die weisse Unterlage am Boden aus und verteile etwas Streu und Oberboden. Halte nach herumkrabbelnden Lebewesen Ausschau und führe sie mit dem Pinsel vorsichtig in den Becher der Becherlupe.

Betrachte nun die Tiere im Becher durch die Deckellupe und versuche herauszufinden, zu welcher Tiergruppe sie gehören. Vergleiche sie mit der Bestimmungshilfe Abbildung 3.2. Für genauere Bestimmungen kannst Du auch die „Bestimmungstabelle für einheimische Bodentiere“ benutzen.



Aufgabe 3.2

Zeichne im Schema von Abbildung 3.3 die Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Bodenlebewesen und dem organischen Material (z. B. totes Blatt) ein. Bezeichne mit einem Pfeil wer wen bzw. was frisst.

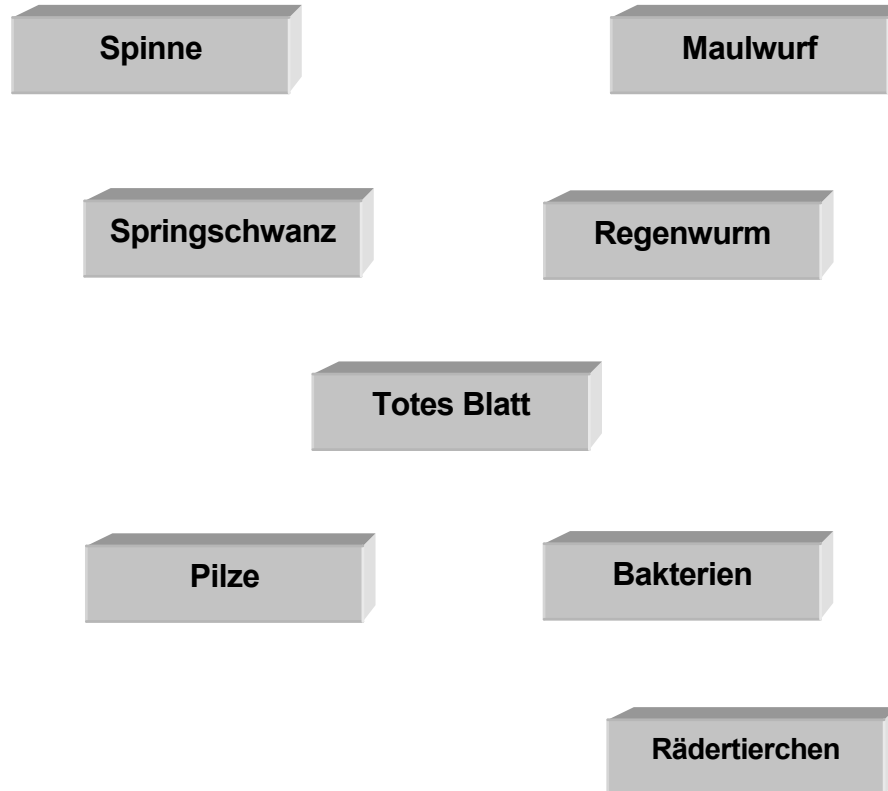


Abbildung 3.3: Einfaches Nahrungsnetz einiger Bodenlebewesen.



### 18.5 Abbau organischer Substanz

Alle Lebewesen wachsen und vermehren sich, bis sie irgendwann sterben. Kleine Bodentierchen, Pilze und Bakterien zerlegen und zersetzen die abgestorbenen Pflanzenteile und Tierleichen. Sie bauen das Material zum grössten Teil ab in Mineralien, die von den Pflanzen als Nährstoffe wieder in ihren Stoffwechsel eingebaut werden können. Aus dem Rest werden Humusstoffe gebildet.

### 18.6 Die Verbesserung der Bodenstruktur

Bodentiere sind an der Schaffung einer optimalen Bodenstruktur beteiligt. Grössere wühlende Tiere wie Regenwürmer, Ameisen und Käferlarven lockern und durchmischen den Boden. Die dadurch entstehenden Gänge und Hohlräume sind wichtig für den Luft- und Wasserhaushalt eines Bodens. Zudem dienen sie als Wurzelraum oder Lebensraum für andere Bodentiere.

Schleimige Ausscheidungen von Bodentierchen verkitten organische und anorganische Bodenbestandteile zu Krümeln, wodurch eine stabile Bodenstruktur entsteht.



### 18.7 Lernkontrolle

- 3.3 Welche zwei Hauptaufgaben nehmen die Bodenlebewesen wahr?
- 3.4 Warum ist der Maulwurf für uns Menschen ein Nützlichling?
- 3.5 Welche Tiere gehören zur Makrofauna? Was ist ihre Aufgabe?
- 3.6 Welche Aufgaben haben Bakterien und Pilze beim Abbau der organischen Substanz?



## 19 Ausgewählte Bodenlebewesen

### 19.1 Lernziele

Du lernst die Rolle der Regenwürmer für unsere Böden kennen.

Du kennst die Funktionen von Mykorrhiza und Knöllchenbakterien im Boden.

---



Im folgenden werden drei wichtige Bodenbewohner etwas näher vorgestellt. Alle drei sind praktisch überall im Boden vertreten:

### 19.2 Der Regenwurm

In Laubwald- und Wiesenböden kann man pro Hektare bis zu 30 Tonnen Lebewesen nachweisen. Etwa 3 Tonnen davon sind Regenwürmer.

Regenwürmer findet man in jedem Boden. Bestimmte Lebensräume sind jedoch günstiger. So leben viel mehr Regenwürmer in Wiesen- oder Laubwaldböden als im Nadelwald.

Der Name Regenwurm kommt davon, dass er bei starkem Regen an die Oberfläche kommt. Er tut dies, um nicht in den mit Wasser gefüllten Wohnröhren zu ersticken. Weltweit gibt es etwa 200 Arten von Regenwürmern, in der Schweiz 58. Sie werden zwischen 2 bis 30 cm lang. Ein australischer Regenwurm wird sogar bis zu 2 m lang.

#### Lebensweise

Unermüdlich frisst sich ein Regenwurm durch die Erde. Zusammen mit den darin enthaltenen Algen und Pflanzenresten nimmt er auch mineralische Erde auf. Im Darm wird die Mineralerde mit dem organischen Material und Bakterien zum Kot vermischt.

Seinen Kot setzt er an der Bodenoberfläche ab. In Wiesen sind das bis 600 Tonnen pro Hektare pro Jahr.

Dieser Regenwurmkot ist sehr nährstoffreich. An seiner Oberfläche finden weitere Abbauprozesse durch Mikroorganismen statt. Dabei entsteht eine Humushülle und schliesslich einzelne Bodenkrümel. Regenwürmer sind also wichtige und unersetzliche Baumeister eines fruchtbaren krümeligen Bodens.

Durch ihre Lebensweise legen Regenwürmer ein umfangreiches Röhrensystem im Boden an. Diese Röhren lockern den Boden und verbessern seinen Wasser-

und Lufthaushalt. Zudem können Pflanzenwurzeln durch diese Gänge leichter in den Boden eindringen, sie gelangen so schneller an Wasser und Nährstoffe in tieferen Bodenschichten.

Wie kann die Aktivität von Regenwürmern im Boden gefördert werden?

Regenwürmer sind wichtig für einen fruchtbaren Boden. Es ist wünschenswert, dass möglichst viele in unseren Gärten und Äckern leben.

Regenwürmer fressen jedes Jahr das 250-fache ihres Körpergewichts. Sie sind deshalb angewiesen auf genügend Nahrung in Form von Ernterückständen oder organischem Dünger wie Mist oder Kompost.

Durch eine schonende Bodenbearbeitung und den Verzicht auf giftige Pflanzenbehandlungsmittel finden die Regenwürmer bessere Lebensbedingungen im Boden, ihre Anzahl nimmt dann zu.



---

Überlege Dir, welche Bodeneigenschaften durch die Regenwürmer im Boden beeinflusst werden?

---

- .....

- .....

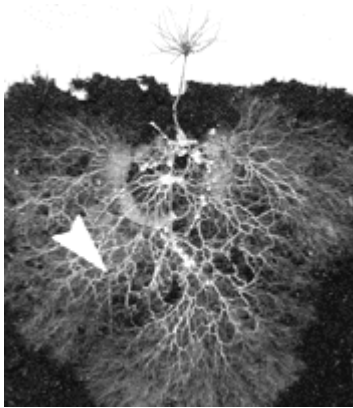
- .....

- .....

- .....

---

### 19.3 Mykorrhiza



Bei etwa 80 % aller Pflanzen leben Pilze mit Pflanzenwurzeln zusammen. Die Wurzeln werden von Pilzfäden umwachsen.

Pilz und Pflanze haben beide einen Vorteil davon. Der Pilz bekommt von der Pflanze Zucker. Die Pilzfäden nehmen wie die Pflanze Wasser und Nährstoffe aus dem Boden auf und geben sie an die Wurzel weiter. Die Pflanzenwurzel wird durch die Pilzfäden stark vergrößert. Das Fadengewebe kann mehrere Meter betragen.

Auch die uns bekannten oberirdischen Pilze bilden im Boden Mykorrhiza. Einige Pilzarten leben nur mit einer Baumart zusammen. Deshalb muss man Trüffel in der Umgebung von Eichen und Morcheln bei Eschen und Ulmen suchen.

### 19.4 Knöllchenbakterien



Gewisse Bakterien können Luftstickstoff in Ammonium umwandeln, welches von den Pflanzen als Nährstoff aufgenommen werden kann. Sie leben zum Beispiel an den Wurzeln von Hülsenfrüchten (Erbse, Klee, Lupine).

Früher säten Bauern solche Hülsenfrüchte, um sie im Herbst unterzupflügen. Damit führten sie dem Acker Stickstoff zu.



### 19.5 Lernkontrolle

- 3.8 Welche Rolle spielen Regenwürmer für unsere Gärten und Äcker?
- 3.9 Wie kann man Regenwürmer im Boden fördern?
- 3.10 Erkläre den Begriff Mykorrhiza?
- 3.11 Warum säten früher die Bauern Klee oder andere Hülsenfrüchte und pflügten sie im Herbst unter?

## 20 Die Wiederverwendung von Boden bei Bauprojekten

### 20.1 Lernziele

Du lernst, weshalb man Boden wiederverwenden soll.

Du weisst, wie man Boden wiederverwenden kann.

---

Boden ist nur beschränkt vorhanden und nicht erneuerbar. Während Jahrtausenden ist er zu seiner heutigen Form gewachsen. Es ist deshalb nicht zulässig Boden, der bei Bauarbeiten anfällt, als Abfall wegzuwerfen. Unbelasteter und fruchtbarer Boden muss auch als Boden wiederverwendet werden.

Um aber bei Bodenbewegungen im Rahmen von Bauarbeiten die Struktur des Bodens, seine Schichtung und die Bodenlebewesen nicht zu zerstören, ist ein sehr sorgfältiges Vorgehen angesagt.

### 20.2 Der Bodenabtrag bei Bauprojekten

Früher hat man bei Bauprojekten Ausgangsgestein, Unter- und Oberboden zusammen als Aushubmaterial behandelt. Damit hat man aber den Boden mit all seinen Eigenschaften zerstört. Deshalb trennt man heute Ober- und Unterboden vom mineralischen Aushub aus unverwittertem Ausgangsmaterial ab.

Je nach Eigenschaften werden Ober- und Unterboden wieder einer geeigneten Nutzung zugeführt.

Ist eine Wiederverwendung des Bodens vor Ort oder anderswo nicht sofort möglich, können Ober- und Unterboden in Zwischenlagern, wiederum getrennt, aufbewahrt werden (Abbildung 3.4). Diese Zwischenlager müssen locker geschüttet und sofort begrünt werden.

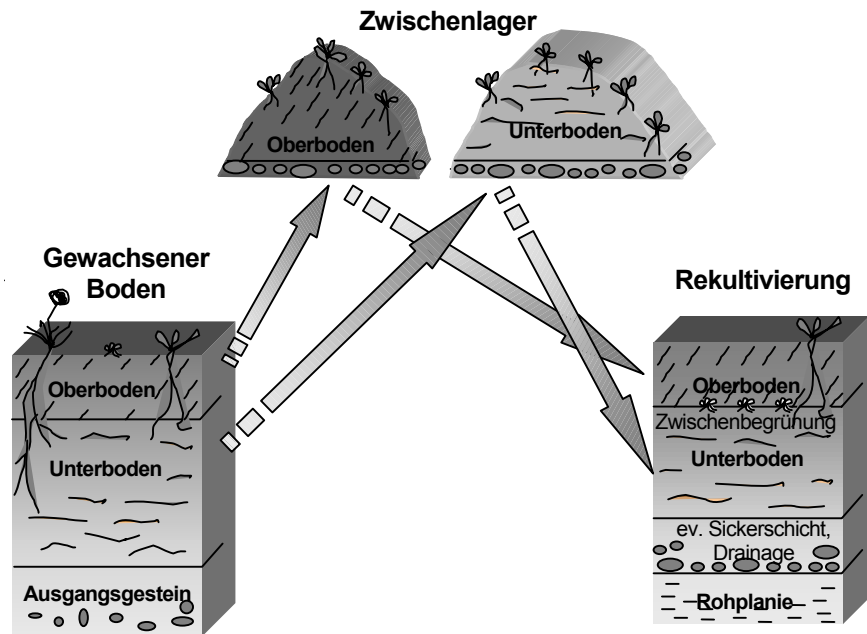


Abbildung 3.4: Bodenabtrag, Zwischlagerung und Rekultivierung

### 20.3 Die Rekultivierung aufgerissener Böden

Beim Kiesabbau oder bei der Verlegung von Leitungen werden grosse Wunden in Boden und Untergrund gerissen. Eine landwirtschaftliche Nutzung ist vorübergehend nicht mehr möglich. Damit diese Flächen aber wieder uneingeschränkt landwirtschaftlich genutzt werden können, sollen sie nach der Beanspruchung wieder in einen bewirtschaftbaren Zustand zurückgeführt werden.

Bei solchen Rekultivierungen wird der Boden in seiner ursprünglichen Schichtung neu aufgebaut. Dadurch erreicht man, dass wieder ein belebter Boden mit ausreichendem Porenvolumen für den Wasser- und Lufthaushalt entsteht.

Wie nach einer Operation muss man einem rekultivierten Boden eine Erholungspause gönnen. Während 3-5 Jahren darf er nur extensiv genutzt werden.

### 20.4 Lernkontrolle



- 3.12 Was ist der Unterschied zwischen Aushub und Boden?
- 3.13 Was würdest Du mit Bodenmaterial tun, das bei einem Bauwerk übrig bleibt?
- 3.14 Was heisst Rekultivierung?

## 21 Der Gley

### 21.1 Lernziele

Du weisst an welchen Standorten ein Gley entsteht.

Du erkennst einen Gley.

Du kennst die Prozesse der Vergleyung.



Der Name Gley stammt aus dem Russischen und heisst Matsch. Es bezeichnet also Böden die fast das ganze Jahr über im Grundwasser "stehen".

Gleye bilden sich in Senken und Mulden oder Hängen mit Wasseraustritt, in denen das Grundwasser bzw. Hangwasser das Bodenprofil beeinflussen kann.

Die Nutzung der Gleye ist von der Tiefe des Grundwasserspiegels abhängig. Stark vernässte Standorte sind landwirtschaftlich nur bedingt nutzbar, z. B. als Streuwiesen (Riede).

Zudem kann die biologische Tätigkeit gehemmt sein, so dass das organische Material nur teilweise oder unvollständig abgebaut wird.

Natürlicherweise wachsen an nassen Standorten Erlen, Pappeln, Eschen.

### 21.2 Die Entstehung eines Gley

Hier strömt Grundwasser von den benachbarten Hängen in dieser Geländemulde zusammen. Der unterste Bodenbereich liegt dauernd im Wasser. Im Schwankungsbereich des Grundwassers kommt es zur Vergleyung.

#### Vergleyung

Beim Ansteigen des Grundwasserspiegels ist im vernässten Bereich kein Sauerstoff mehr vorhanden. Unter sauerstofflosen Bedingungen wird wie beim Pseudogley Eisenoxid  $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$  zu Eisenionen  $[\text{Fe}^{2+}]$  reduziert und im Wasser gelöst.

Sinkt später das Wasser wieder ab, dringt durch die grossen Poren Luft in den Boden. Das gelöste Eisen oxidiert und fällt wieder als Eisenoxid aus, in Form von rostigen Belägen an den Porenwänden. Hellgraue Bereiche kennzeichnen die eisenarmen Zonen.

### 21.3 Das Profil des Gley

Das Profil des Gley ist so nass, dass es nach seiner Freilegung schon bald wieder in sich zusammenfällt. Ein einfaches Profil kann aber mit dem Edelmann-Bohrstock ausgelegt werden (Abbildung 3.5).

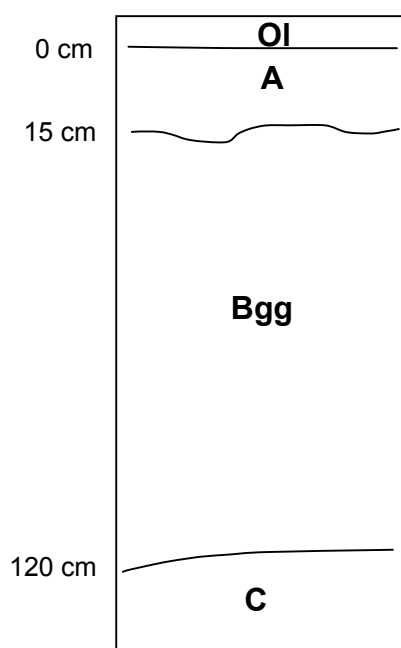


Aufgabe 3.15

Dazu müsst ihr mit dem Edelmann nacheinander etwa 15 cm Boden entnehmen und auf der Bodenoberfläche aneinanderreihen. Ihr setzt also den Edelmann auf der Bodenoberfläche auf und dreht ihn, bis der Zwischenraum zwischen den beiden Flügeln mit Boden gefüllt ist. Diese 15 cm Boden stost ihr mit einem Stück Holz heraus und legt es auf den Boden. Dann setzt ihr den Edelmann in das vorher gebohrte Loch und entnehmt die nächsten 15 cm Boden. Dies wiederholt ihr, bis ihr etwa 1,5 m Boden aneinandergereiht habt. An diesem einfachen Profil könnt ihr nun die verschiedenen Schichten und Vergleichungsmerkmale betrachten.



Abbildung 3.5: Edelmann-Bohrstock und ausgelegtes Bodenprofil [aus: LBL (1993) Bodenbeurteilung]



**Auflage (O-Horizont):** Streuschicht (**OI**-Horizont)

**Oberboden (A-Horizont):** Hohe Humusstoffanreicherung, weil der Boden periodisch bis zur Oberfläche vernässt und dadurch der Abbau der organischen Substanz verlangsamt ist.

Stark vernässter **Unterboden (Bgg-Horizont):** Sauerstoffmangel im vernässten Unterboden führt zu einer gelblich-grauen Verfärbung, da Eisen gelöst wird. Während Trockenperioden verbessert sich die Sauerstoffversorgung und es bilden sich rötliche Eisenoxidanreicherungen an den Porenwänden grösserer Poren.

**Ausgangsgestein (C-Horizont):** dauernd grundwassergesättigtes Lockersediment

Abbildung 3.6: Profil des Gley



Aufgabe 3.16

Dieser Gley ist auf kalihaltigem Ausgangsgestein entstanden. Kalk in einem Boden oder Gestein kann man mit Salzsäure einfach nachweisen. Du brauchst dafür eine Tropfflasche mit 10%-iger Salzsäure.

Versetze nun das Profil von oben nach unten an verschiedenen Stellen mit einigen Tropfen Salzsäure. Die Dauer und Heftigkeit des Aufbrausens weist auf den Kalkgehalt hin:

Kein sicht- oder hörbares Aufbrausen	kein Kalk
Kein sichtbares Aufbrausen, dicht am Ohr ein hörbares Zischen	< 1 % Kalk
Schwaches nicht anhaltendes Aufbrausen	1 – 2 % Kalk
Deutliches nicht anhaltendes Aufbrausen	2 – 4 % Kalk
Starkes, lang anhaltendes Aufbrausen	> 5 % Kalk

a) Wie hoch ist der Kalkgehalt bei etwa 50 cm und bei 1,5 m?

b) Kannst Du das Ergebnis erklären?



Lernkontrolle

#### 21.4 Lernkontrolle

- 3.17 Weshalb ist hier ein Gley entstanden?
- 3.18 Woran erkennst Du am Profil, dass dies hier ein Gley ist?
- 3.19 Erkläre den Prozess der Vergleyung?
- 3.20 Was denkst Du, wäre dieser Standort geeignet für Ackerbau?

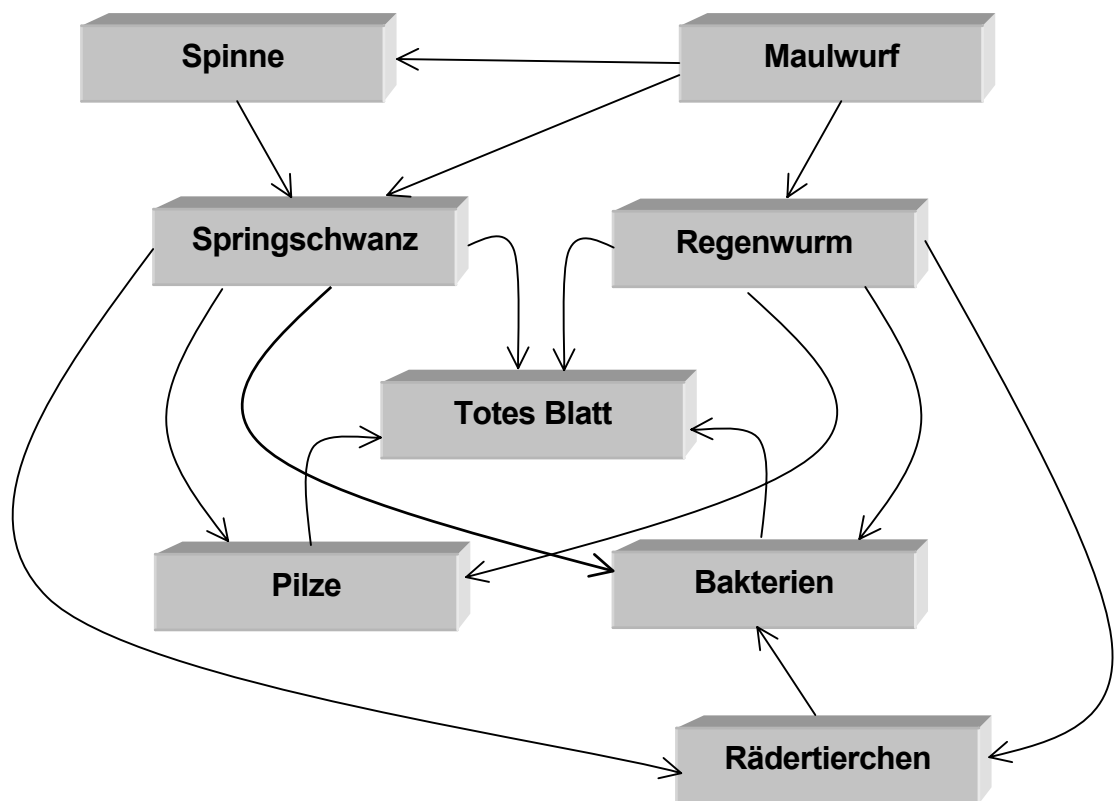


## 22 Lösungen zu Teil 3



3.1 Diese Frage müsst Ihr Euch selbst beantworten. Bei Problemen, diskutiert die Lösung in der Gruppe. Oder fragt eure Lehrerin bzw. euren Lehrer.

3.2



3.3 Abbau von abgestorbenen Pflanzenteilen und toten Tieren; Verbesserung der Bodenstruktur.

3.4 Er durchmischt den Boden, seine Gänge verbessern den Wasser- und Lufthaushalt, er frisst Pflanzenschädlinge.

3.5 Kleine, von Auge sichtbare Tiere wie Regenwürmer, Insektenlarven, Springschwänze, Asseln, Hundertfüßler, Spinnen usw. Sie zerlegen die abgestorbenen Pflanzenteile. Einige sind Räuber.

3.6 Sie zersetzen die zerkleinerten Pflanzenteile chemisch zu Nährstoffen Wasser und Kohlendioxid oder bauen sie zu Huminstoffen um.

3.7 Bodenstruktur, Nährstoffhaushalt, Wasserhaushalt, Lufthaushalt, Bodenfruchtbarkeit

3.8 Sie verbessern die Bodenfruchtbarkeit.

3.9 Organisches Material als Nahrung zurücklassen (Ernterückstände, Mist)

- 3.10 Pilze und Pflanzenwurzeln leben zusammen. Die Pilzfäden helfen der Pflanze bei der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen. Der Pilz bekommt von der Pflanze Zucker.
- 3.11 An den Wurzeln von Hülsenfrüchten leben Knöllchenbakterien. Diese wandeln den Stickstoff aus der Luft in Ammonium um, welches von Pflanzen als Nährstoff genutzt werden kann. Dadurch wird dem Boden Stickstoff zugeführt, d. h. er wird mit Stickstoff gedüngt.
- 3.12 Aushub bezeichnet das mineralische Ausgangsmaterial. Boden, bestehend aus dem Ober- und Unterboden, ist über Jahrtausende gewachsen, geschichtet aufgebaut und belebt.
- 3.13 Versuchen, es als Boden an einem anderen Standort zu verwenden oder als Boden weiter zu vermitteln.
- 3.14 An einem aufgerissenen Standort wird Ober- und Unterboden zugeführt und wieder neu als Boden aufgebaut, damit er wieder genutzt werden kann.
- 3.16 a) Bei 50 cm ist kein Kalk vorhanden, bei 1,5 m ist viel ( $> 5\%$ ) Kalk vorhanden.  
b) Während der Bodenbildung ist das Kalk im oberen Teil des Profil mit dem Bodenwasser gelöst und entfernt worden. Das Ausgangsmaterial in 1,5 m Tiefe ist kalkhaltig.
- 3.17 Der Standort ist sehr nass, da das Wasser von den Hängen in dieser Mulde zusammenfließt.
- 3.18 Der vernässte Unterboden ist gelblichgrau gefärbt. An den Porenwänden findet man rostrote Eisenoxid-Krusten.
- 3.19 Wenn der Wasserspiegel steigt, wird unter sauerstofflosen Bedingungen Eisenoxid gelöst. Wenn der Wasserspiegel wieder sinkt und Sauerstoff in den Boden eindringt, fällt das Eisenoxid an den grösseren Porenwänden wieder aus.
- 3.20 Eher nicht, es ist zu nass.

# DER BODEN LEBT

Leitprogramm für Mittelschulen zum Bodenlehrpfad Meggerwald

## Standort 4

<b>23 Einführung zu Standort 4 .....</b>	<b>55</b>
<b>24 Das organische Material eines Bodens .....</b>	<b>56</b>
24.1 Lernziele .....	56
24.2 Humus .....	56
24.3 Die Funktionen von Humus.....	57
24.4 Die Humusformen .....	57
24.5 Lernkontrolle .....	59
<b>25 Die Bodenversauerung .....</b>	<b>60</b>
25.1 Lernziele .....	60
25.2 Wie gelangen Säuren in den Boden? .....	61
25.3 Der saure Regen .....	61
25.4 Die Bodenversauerung durch die Landwirtschaft.....	61
25.5 Wie reagiert der Boden auf Säuren? .....	62
25.6 Die ökologische Bedeutung des pH-Wertes.....	63
25.7 Zeigerpflanzen .....	64
25.8 Lernkontrolle .....	64
<b>26 Schadstoffe .....</b>	<b>65</b>
26.1 Lernziele .....	65
26.2 Schwermetalle .....	65
26.3 Saurer Regen und Waldschäden.....	66
26.4 Lernkontrolle .....	66
<b>27 Der Podsol .....</b>	<b>67</b>
27.1 Lernziele .....	67
27.2 Die Entstehung eines Podsol .....	67
27.3 Das Profil des Podsol .....	69
27.4 Lernkontrolle .....	69
<b>28 Lösungen zu Teil 4 .....</b>	<b>70</b>



## 23 Einführung zu Standort 4

Bei diesem Standort seht ihr einen *Podsol*. Dieser Bodentyp entwickelt sich bei sehr sauren Bedingungen.

Hier lernt ihr etwas über das tote organische Material eines Bodens, den Humus. Organisches Material findet man vor allem im Oberboden und in der Auflage. Die Auflage ist ebenfalls in Horizonte unterteilt. Je nach ihrer Horizontierung unterscheidet man die Humusformen Rohhumus, Moder und Mull.

Ein sehr wichtiges Merkmal eines Bodens ist der pH. Er sagt aus, wie sauer ein Boden ist. Viele Prozesse im Boden sind direkt oder indirekt vom pH abhängig.

So gibt es einige Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, die erst bei tiefen pH-Werten löslich und damit wirksam sind.

### Themen am Standort 4

Organisches Material des Bodens

Humus und Humusformen

Bodenversauerung

Schadstoffe

Bodentyp Podsol

## 24 Das organische Material eines Bodens

### 24.1 Lernziele

Du kennst die Bedeutung von Humus im Boden.

Du kennst die Herkunft und Funktionen von Humusstoffen.

Du kannst drei verschiedene Humusformen unterscheiden.



Theorie

Das organische Material eines Bodens setzt sich aus Humus, Pflanzenwurzeln und Bodenlebewesen zusammen. Humus ist das gesamte tote organische Material.

Von der Auflage her wird das organische Material in den Boden eingetragen und kommt deshalb auch im Oberboden vor. Die mengenmässige Zusammensetzung des organischen Materials ist in Abbildung 4.1 ersichtlich.

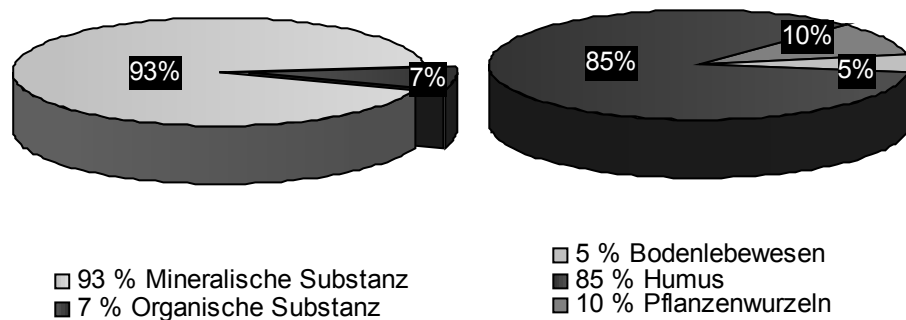


Abbildung 4.1: Anteil und Zusammensetzung des organischen Materials im Boden

### 24.2 Humus

Humus, das tote organische Material, macht mengenmässig den grössten Anteil, nämlich 85 % des organischen Materials im Boden aus. Wenn die Bodenorganismen die abgestorbenen Pflanzenteile abbauen, wird ein Teil direkt mineralisiert, das heisst in die Ausgangsstoffe Wasser, Kohlendioxid und Nährstoffe zerlegt. Der andere Teil der abgestorbenen und abgebauten Biomasse wird in Humusstoffe umgewandelt, die schwarze Substanz im Boden. Auch die Humusstoffe werden schlussendlich mineralisiert, jedoch nur sehr langsam. Deshalb

stellt sich im Oberboden ein Gleichgewicht zwischen Humusneubildung und Humusabbau ein, woraus ein für einen Boden charakteristischer Humusgehalt resultiert.

Der Humus-Gehalt ist beispielsweise in Böden im allgemeinen niedriger, je wärmer die Jahresmitteltemperatur ist, da mit höherer Temperatur der Abbau stärker gefördert wird. Viel Niederschlag wirkt abbauhemmend, womit der Humusgehalt wieder ansteigt.

### 24.3 Die Funktionen von Humus

Humus ist ein wichtiger Bestandteil für die Bodenfruchtbarkeit:

Humusstoffe verbinden sich wie eine Kittsubstanz mit mineralischen Bodenbestandteilen zu Krümeln, wodurch eine stabile krümelige Bodenstruktur entsteht.

Das vielfältige Hohlräumssystem in der krümeligen Bodenstruktur ergibt eine gute Wasserspeicherung im Boden.

Da die Humusstoffe nur langsam weiter abgebaut werden, wirken sie als langfristige Nährstoffquelle für Pflanzen und Mikroorganismen.

Humusstoffe sind bei neutralen pH-Verhältnissen negativ geladen. Positiv geladene Nährstoffe lagern sich an und werden so im Boden festgehalten und gespeichert.

### 24.4 Die Humusformen

Wie der Mineralboden, ist auch das organische Material in Schichten angeordnet. Je nach organischem Ausgangsmaterial und Umweltbedingungen wird das organische Material schneller oder langsamer abgebaut. Deshalb hat jeder Boden eine ganz bestimmte Humusform. Die Humusform ergibt sich aus der Menge und Schichtung des organischen Materials. Folgende Schichten werden unterschieden (Abbildung 4.2):

- |                      |   |
|----------------------|---|
| Streuschicht:        | Die Blätter und Nadeln liegen lose angehäuft auf der Oberfläche. Die Blätter sind erst wenig angefressen.                                     |
| Vermoderungsschicht: | Die Blätter und Nadeln dieser Schicht sind schon halb zerfallen und lagig verfilzt. Die Vermoderungsschicht riecht ausgeprägt nach Waldboden. |
| Humusstoffschicht:   | Blattrückstände sind nicht mehr erkennbar. Diese Schicht ist schwarz gefärbt, schmierig und geruchlos.  |

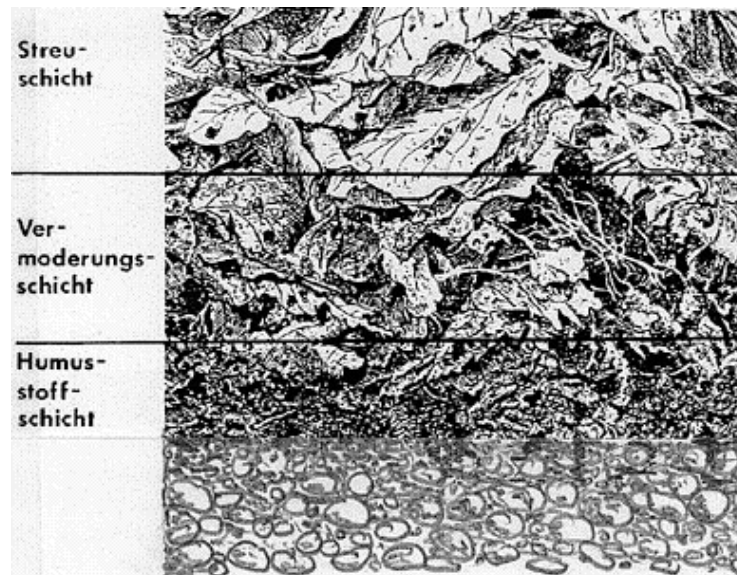


Abbildung 4.2: Die Schichten des organischen Materials [aus: Brauns, A. (1968) *Praktische Bodenbiologie*]

Je nach der Abfolge der Horizonte kann man drei verschiedene Humusformen unterscheiden:

### Rohhumus

Alle drei Auflagehorizonte sind deutlich erkennbar und klar voneinander abgegrenzt, der Oberboden fehlt. Ein Rohhumus entsteht, wenn die Standortbedingungen ungünstig sind für einen schnellen Abbau der organischen Substanz. Also beispielsweise bei schwer abbaubarer Streu (Nadeln), niedrigen Temperaturen, viel Niederschlag und sauren Bodenverhältnissen. Da ein Rohhumus nährstoffarm ist, ist er für land- und gartenbauliche Nutzung schlecht geeignet.

### Mull

Die Streuschicht ist lediglich in der Zeit unmittelbar nach dem Streuabfall vorhanden, die Vermoderungsschicht fehlt in den meisten Fällen. Die Streu wird rasch in einen gut durchmischten Oberboden umgewandelt. Ein Mull entsteht, wenn die Standortbedingungen günstig sind für einen schnellen Abbau des organischen Materials, vor allem unter Laubwäldern und bei vielen Wiesen und Äckern. Mull ist aufgrund der Vermischung des Humus mit dem mineralischen Unterboden krümelig und daher ideal für Garten- und Ackerbau.

### Moder

Moder ist eine Zwischenform. Die Schichten der Auflage sind weniger mächtig als beim Rohhumus aber ausgeprägter als beim Mull. Ein Oberboden ist nur schwach entwickelt.





Untersuche in der Umgebung des Profiles den Aufbau der Auflage mit ihren Humushorizonten.

Dazu musst Du die Auflage mit den Händen zerteilen, die Farbe und Zusammensetzung beobachten und an den unterschiedlichen Schichten riechen.

a) Welche Schichtabfolge kannst Du erkennen? Beschreibe alle Schichten mit ihren Mächtigkeiten und Übergängen in die Tabelle 4.1.

Beschreibung der Horizonte [Bestandteile, Farbe, Geruch]	Horizontname	Horizontübergang [abrupt/fliessend]
-----	-----	-----
-----	-----	-----
-----	-----	-----

Tabelle 4.1: Humusform Aufgabe 4.1

b) Schliesse aufgrund der Lösungen der drei ersten Spalten auf die Humusform dieses Standortes.



## 24.5 Lernkontrolle

- 4.2 Was ist Humus?
- 4.3 Inwiefern ist Humus aus ökologischer Sicht von Bedeutung?
- 4.4 Welche Bedingungen hemmen den Humusabbau?
- 4.5 Welche Humusformen gibt es? Beschreibe die Unterschiede.

## 25 Die Bodenversauerung

### 25.1 Lernziele

Du weisst, weshalb ein Boden mit der Zeit auch natürlicherweise saurer wird.

Du kennst die Reaktion eines Bodens auf Säuren.

Du kennst die ökologische Bedeutung des pH-Wertes eines Bodens.

Du kennst die Herkunft und die Gefahr von menschengemachter Bodenversauerung.



Theorie

Der Säuregehalt eines Bodens ist abhängig vom Vorkommen von  $H^+$ -Ionen (=Protonen). Je mehr Protonen in einer Lösung vorhanden sind, um so saurer ist sie.

#### Definition pH

Um den Säuregehalt eines Bodens zu bestimmen, misst man den pH. Er gibt die Protonenkonzentration (genauer  $H_3O^+$ -Ionen) an und ist definiert als der negative Logarithmus der Protonenkonzentration: pH kleiner als 7 ist sauer und pH grösser als 7 ist basisch

Der pH-Wert eines Bodens ist jedoch keine stabile Grösse. In unserer Klimaregion versauern die Böden im Laufe der Zeit, da  $H^+$ -Ionen ständig nachgeliefert werden, basisch wirkende Ionen hingegen als Pflanzennährstoffe aus dem Bodensystem entfernt werden.



Aufgabe 4.6

Misst den pH dieses Bodens. Dazu braucht ihr ein Boden-Pehameter von Hellige.

Ihr nehmt etwas feines Material von der Bodenaufgabe, legt es in die Vertiefung beim pH-Meter und gebt einen Tropfen der Indikatorlösung dazu. Die Lösung verfärbt sich je nach pH:

Rot:	pH = 4	olivgrün:	pH = 7
orangerot:	pH = 5	grün:	pH = 8
gelb:	pH = 6	blaugrün:	pH = 9

Welche Farbe seht ihr bzw. welches ist der pH dieses Bodens?

## 25.2 Wie gelangen Säuren in den Boden?

Es gibt verschiedene natürliche Prozesse, bei der Säuren oder Protonen entstehen, was mit der Zeit zu einer allmählichen Versauerung eines Bodens führt:

Bei der Atmung der Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln geben diese, wie wir auch, Kohlendioxid  $[\text{CO}_2]$  ab. Löst sich das Kohlendioxid im Bodenwasser entsteht Kohlensäure  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ .

Beim Abbau der organischen Substanzen entstehen starke organische und anorganische Säuren.

Wenn Pflanzenwurzeln positiv geladene Nährstoffe wie Magnesium  $[\text{Mg}^+]$ , Kalium  $[\text{K}^+]$ , Natrium  $[\text{Na}^+]$  oder Ammonium  $[\text{NH}_4^+]$  aufnehmen, geben sie zum Ladungs- ausgleich Protonen  $[\text{H}^+]$  an die Bodenlösung ab.

## 25.3 Der saure Regen

Protonen gelangen aber nicht nur als Folge natürlicher Prozesse in den Boden, sie können über den Regen auch von aussen zugeführt werden. Man spricht dann von saurem Regen.

Saurer Regen entsteht dadurch, dass gewisse Luftschadstoffe in Säuren umgewandelt werden und dann zusammen mit dem Regen auf die Böden fallen. Verursacher des sauren Regens sind vor allem der Verkehr und Verbrennungsprozesse bei Industrie und Haushaltungen.

Über die Abgase des Verkehrs gelangen zum Beispiel grosse Mengen an Stickoxiden  $[\text{NO}_x]$  in die Luft. Diese reagieren mit der Luftfeuchte zu Salpetersäure  $[\text{HNO}_3]$ . Bei Verbrennungsprozessen in der Industrie oder bei Hausfeuerungen entstehen zusätzlich Schwefeldioxide  $[\text{SO}_2]$ , welche sich zu Schwefelsäure  $[\text{H}_2\text{SO}_4]$  umwandeln.

## 25.4 Die Bodenversauerung durch die Landwirtschaft

Die grossen Bestände an Kühen und Schweinen in der intensiven Landwirtschaft setzen mit ihrem Harn Ammoniak  $[\text{NH}_3]$  frei, welches direkt, beim Güllen oder über die Luft in auf die Böden gelangt. Ammoniak wird im Boden über mehrere Stufen zu Salpetersäure umgewandelt.

Mit Kalkzugaben kann die Versauerung des Bodens ausgeglichen werden.

### 25.5 Wie reagiert der Boden auf Säuren?

Der Boden ist mit einem natürlichen Puffersystem ausgestattet. Das bedeutet, dass Säuren mit im Boden vorhandenen Basen reagieren und somit neutralisiert werden. Solange noch solche Basen im Boden vorhanden sind, verändert sich der pH-Wert nicht. In Böden existieren mehrere solche Puffersysteme, die jeweils in einem anderen pH-Bereich aktiv sind.

Ein wichtiges Puffersystem des Bodens ist der Kalkpuffer. Der Kalk  $[\text{CaCO}_3]$  wirkt als Base. Solange im Boden noch Kalk enthalten ist, versauert er nicht, sein pH liegt dann zwischen 8 und 6,2. Bei der Reaktion mit der Säure  $[\text{H}^+]$  wird Kalk gelöst, wobei Kalziumionen, Wasser und Kohlendioxid entstehen. Erst wenn kein Kalk mehr vorhanden ist, beginnt der pH im Boden unter 6,2 zu sinken. In Abbildung 4.3 ist der zeitliche Verlauf der pH-Abnahme in einem kalkhaltigen Boden graphisch dargestellt.

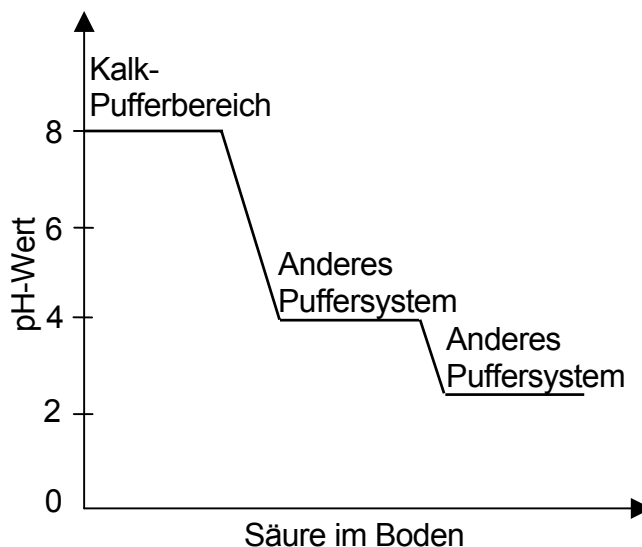
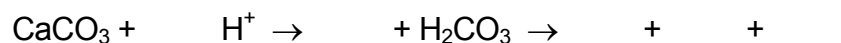


Abbildung 4.3: Verlauf der pH-Kurve im Boden, bei Zugabe von Säure.



- a) Welche chemische Reaktion spielt sich im Boden bei Zugabe von Säure  $[\text{H}^+]$  ab, solange noch Kalk  $[\text{CaCO}_3]$  vorhanden ist? Versuche die untenstehende chemische Gleichung zu vervollständigen.



- b) Was passiert, wenn aller Kalk gelöst ist und weitere Säure in den Boden gelangt?

## 25.6 Die ökologische Bedeutung des pH-Wertes

Der pH-Wert eines Bodens ist von zentraler Bedeutung. Er beeinflusst verschiedene Bodeneigenschaften und das Bodenleben.

Der pH-Wert beeinflusst die Verwitterung. Silikatgesteine zum Beispiel verwittern erst bei leicht sauren Bedingungen, wenn kein Kalk mehr vorhanden ist.

Die Verfügbarkeit von Nährstoffen für Pflanzen ist abhängig vom pH im Boden. Unter stark basischen oder stark sauren Bedingungen sind nicht mehr alle Nährstoffe verfügbar. Bei sauren Bedingungen werden Protonen  $[H^+]$  an die negativ geladenen Bodenteilchen wie Tonmineralien oder Humusstoffen angelagert, so dass die positiv geladenen Nährstoffe leichter ausgewaschen werden. Die Pflanzen leiden dann unter Nährstoffmangel.

Die Aktivität von Bodenlebewesen nimmt bei saurem pH ab. Viele wandern aus, wenn es zu sauer wird.

Die Löslichkeit einiger Schadstoffe, insbesondere der Schwermetalle, ist bei sauren pH-Verhältnissen grösser. Sie werden dann von den Pflanzen aufgenommen und gelangen in den Nahrungskreislauf oder sie können ins Grundwasser verlagert werden.



Aufgabe 4.8

Welche natürlichen und welche menschlich verursachten Säurequellen spielen bei der Bodenversauerung eine Rolle? Fülle das folgende Schema von Abbildung 4.4 aus.

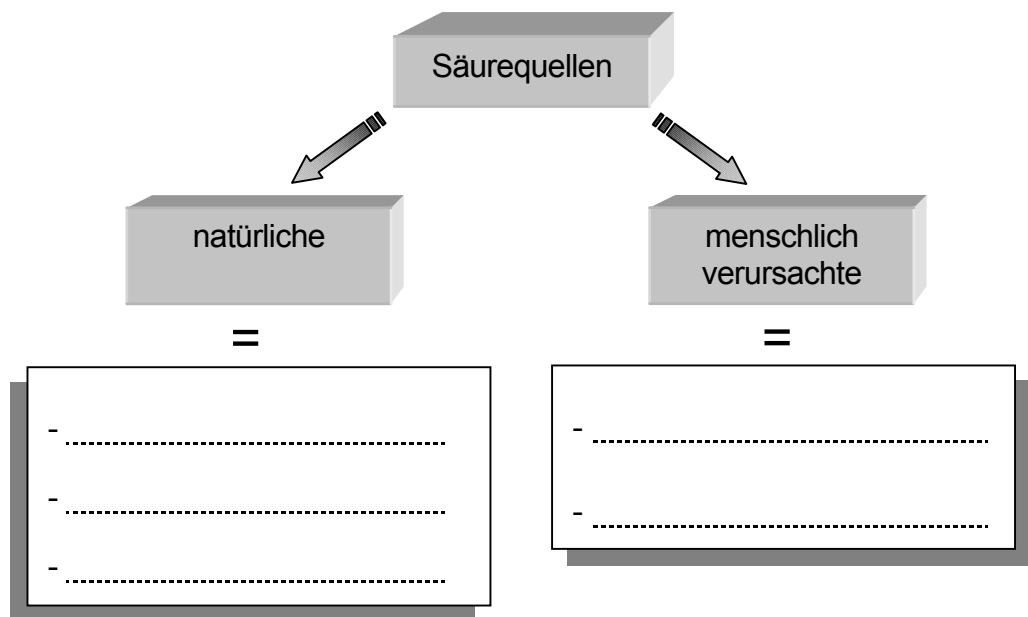


Abbildung 4.4: Natürliche und von Menschen verursachte Bodenversauerung.



## 25.7 Zeigerpflanzen

Mit  $\text{pH} = 2.7$  ist der Oberboden dieses Standortes extrem sauer. Im Vergleich dazu liegt der durchschnittliche  $\text{pH}$ -Wert von Waldböden im Schweizerischen Mittelland bei ca. 4.5. Ackerstandorte weisen meist einen  $\text{pH}$  von über 5.5 auf.

Pflanzen reagieren unterschiedlich auf den  $\text{pH}$ -Wert. Gewisse Pflanzen bevorzugen saure Standorte, andere dagegen brauchen neutrale oder basische Böden, um ideal gedeihen zu können. Im Laufe der Evolution entwickelten sich Spezialisten - Pflanzen, die auch an extremen Standorten wachsen können. Diese Spezialisierung kann sich auch auf andere Standortverhältnisse wie Trockenheit, Nährstoffangebot usw. beziehen.

Das Auftreten solcher Spezialisten an einem Standort weist auf die dort herrschenden Bodenverhältnisse hin, weshalb man solche Spezialisten „Zeigerpflanzen“ nennt.



Aufgabe 4.9

Wir haben oben festgestellt, dass der Boden hier extrem sauer ist. Es könnte also sein, dass auf diesem Standort eine Zeigerpflanze für saure Standorte gedeiht.

Untersuche die Gegend rund um dieses Profil. Siehst Du eine Dir sicherlich bekannte Pflanze, die sonst nicht so häufig ist im Meggerwald? Du findest diese Pflanze sonst eher in etwas höheren Lagen, wo Du im Sommer sicher schon ihre Beeren gesammelt hast. Sie ist eine Zeigerpflanze für saure Böden. Wie heisst die Pflanze?



Lernkontrolle

## 25.8 Lernkontrolle

- 4.10 Weshalb trägt die Atmung von Bodenlebewesen zu einer langsamen Versauerung eines Bodens bei?
- 4.11 Inwiefern beeinflusst die intensive Landwirtschaft die Bodenversauerung?
- 4.12 Weshalb verändert sich der  $\text{pH}$ -Wert eines Bodens sprunghaft?
- 4.13 Welche wichtigen Eigenschaften eines Bodens werden bei einer starken Versauerung verändert bzw. beeinträchtigt?
- 4.14 Was ist eine Zeigerpflanze?

## 26 Schadstoffe

### 26.1 Lernziele

Du gewinnst einen Einblick in die Problematik von Schadstoffen in Böden.

Du kennst die Auswirkungen von saurem Regen auf Pflanzen.

Du kennst den Zusammenhang zwischen Bodenversauerung und der Verfügbarkeit bzw. Wirksamkeit von Schwermetallen



Wasser und Luft kann man reinigen - Boden kann man nicht reinigen, ohne seine über Jahrtausende gewachsene Struktur zu zerstören.

Da Boden gegenüber Schadstoffen als Filter wirkt, werden viele Schadstoffe im Boden angereichert (z. B. Schwermetalle). Ab einer gewissen Konzentration sind sie für die Bodenlebewesen schädlich. Die Erneuerung der Bodenstruktur ist dann nicht mehr gewährleistet und die Bodenfruchtbarkeit nimmt ab.

Einige Schadstoffe werden auch von Pflanzen aufgenommen und schädigen sie. Oder sie gelangen in den Nahrungskreislauf und können bei Tieren und Menschen Schädigungen hervorrufen.

### 26.2 Schwermetalle

Schwermetalle gelangen über Industrie- und Gewerbe, den Verkehr und die Landwirtschaft in die Umwelt. Die grössten Bodenbelastungen kommen vom Blei, Kupfer und Cadmium.

Unter normalen Bedingungen ist nur ein kleiner Teil der Schwermetalle pflanzenverfügbar. Bei sauren Bodenverhältnissen nimmt die Löslichkeit der Schwermetalle jedoch zu. Liegen die Schwermetalle in gelöster Form vor, können sie von den Pflanzen aufgenommen werden oder sich ins Grundwasser verlagern.



Aufgabe 4.15

Überlege Dir, welche Gefahr lösliche Schwermetalle für uns darstellen?

.....

.....

### 26.3 Saurer Regen und Waldschäden

Vor bald 20 Jahren sprach man von einem Waldsterben. Heute betrachtet man das Problem der Kronenverlichtung von Waldbäumen differenzierter.

Dennoch, der Anteil betroffener Bäume hat sich seit den 80er Jahren verdoppelt. Schuld daran ist das Zusammenspiel verschiedener Faktoren wie Alter der Bäume, Trockenperioden, höhere Ozonbelastung.

Auch die Bodenversauerung durch sauren Regen kann den Gesundheitszustand von Bäumen schwächen. Langfristig könnte dieser Faktor sogar noch an Bedeutung gewinnen.

Denn in stark sauren Böden werden Magnesium und Kalzium verstärkt ausgewaschen. Sie fehlen den Pflanzen als Nährstoffe.

Aluminium geht vermehrt in Lösung. Es hemmt die Nährstoffaufnahme durch die Wurzeln und wirkt giftig auf das Wurzelwachstum.

Dadurch leiden die Bäume unter Nährstoffmangel und werden anfällig gegenüber Krankheiten und Schädlingen.

### 26.4 Lernkontrolle



- 4.16 Weshalb sollte man eine Belastung von Böden mit Schadstoffen unbedingt vermeiden?
- 4.17 Weshalb können Wälder bei einer starken Versauerung der Böden langfristig Schaden erleiden?
- 4.18 Welchen Zusammenhang gibt es zwischen der Bodenversauerung und der Giftigkeit von Schwermetallen?



## 27 Der Podsol

### 27.1 Lernziele

Du erkennst einen Podsol an seinem Profil

Du lernst die Bedingungen für eine Podsolierung kennen

Du kennst die Prozesse der Podsolierung



Theorie

Podsole entstehen bei sehr sauren Bedingungen. Sie kommen bei uns vor allem in höheren Lagen auf kalkarmen Gesteinen unter Nadelbäumen vor.

### 27.2 Die Entstehung eines Podsol

An Standorten mit schlecht abbaubarer Streu (viele Nadeln, wenig Laub), kalkarmem Ausgangsgestein und kühlfeuchtem Klima sind die Bedingungen für eine biologische Aktivität schlecht. Die Bodenbedingungen sind sehr sauer. Es bildet sich ein Rohhumus.

#### Podsolierung

Beim Abbau des organischen Materials entstehen kleine starke organische Säuren (Fulvosäuren), die sich leicht an Wasser binden und mit ihm in die Tiefe verlagert werden. Gebunden an diese organischen Säuren verlagert sich auch Eisen in die Tiefe. Dadurch entsteht die für einen Podsol typische Horizontierung.

Aus dem sogenannten Auswaschungshorizont sind fast alle Substanzen von der sauren Bodenlösung in die Tiefe verlagert worden, so dass dort praktisch nur noch verwitterungsresistenter Quarz enthalten ist. Durch den Quarz ist diese Schicht grau gefärbt. Wenn Du genau hinschaust, kannst Du kleine Quarzkörner entdecken.

Im Unterboden werden Humus und Eisen in zwei Anreicherungshorizonten wieder abgelagert. Der schwarze Streifen enthält den Humus und der darunterliegende rostrote Streifen das Eisen als Eisenoxid.



Dieser Standort hier ist kein typischer Standort für einen Podsol. Normalerweise findet man Podsole in etwas höheren Lagen, wo die Temperaturen kühler sind. Solche Bedingungen findet man in der Schweiz vor allem in den Alpen und Vor-alpen, wo Podsole weit verbreitet sind.

Es gibt aber andere Bedingungen an diesem Standort, die eine Podsolierung begünstigen. Überlege Dir zwei andere Voraussetzungen für eine Podsolierung, die hier zutreffen.

-----

-----



Erkläre den Verlauf der Kurven von Abbildung 4.5 in zwei bis drei Sätzen. Sie stellen den Eisengehalt [Fe] und den Gehalt an organischer Substanz [C] dar.

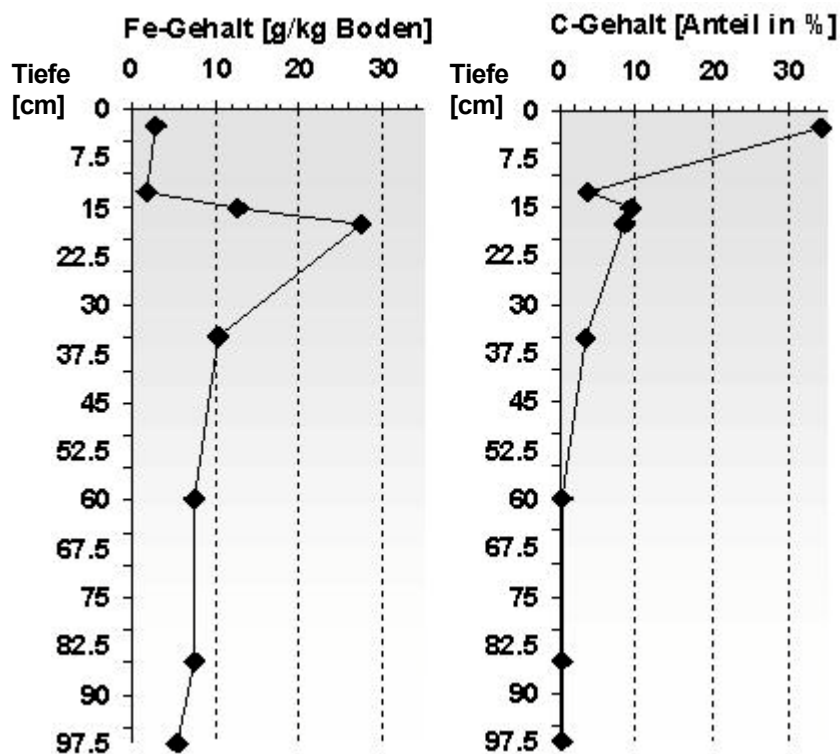


Abbildung 4.5: Eisen (Fe)- und Kohlenstoff (C)-Gehalt im Profil des Podsol

### 27.3 Das Profil des Podsol

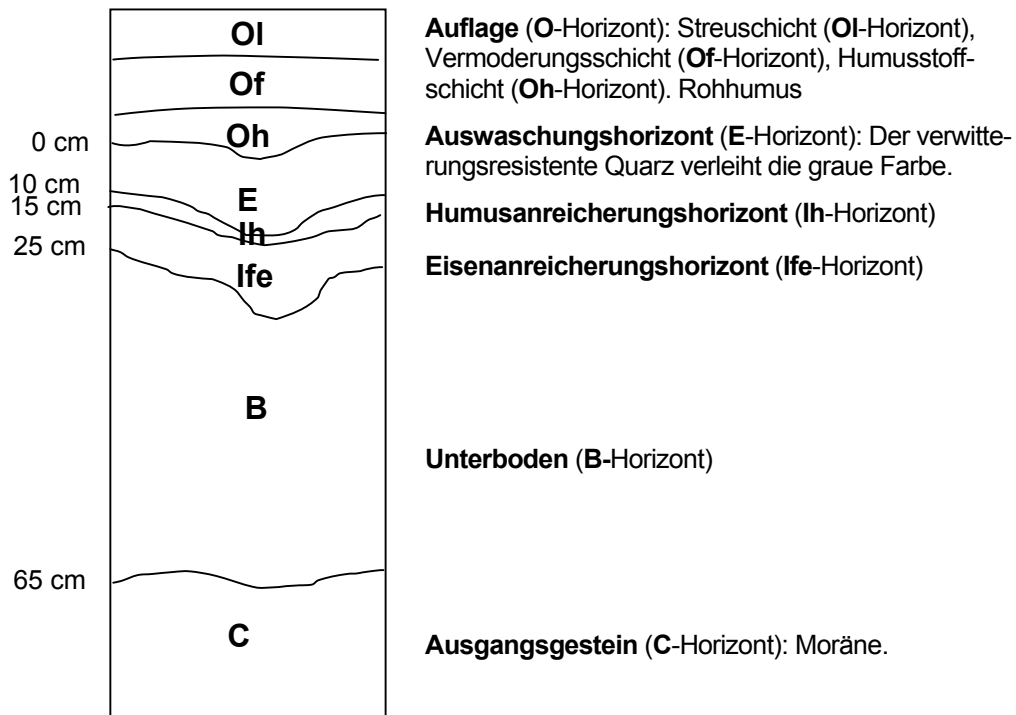


Abbildung 4.6: Profil des Podsol

### 27.4 Lernkontrolle



- 4.21 Woran erkennst Du einen Podsol?
- 4.22 Erkläre den Prozess der Podsolierung

## 28 Lösungen zu Teil 4



Lösungen

4.1

a)

Beschreibung der Horizonte [Bestandteile, Farbe, Geruch]	Horizontname	Horizontübergang [abrupt/fließend]
Blätter, Nadeln, Samen usw.	Streuschicht	abrupt
halb zerfallenes, lagig verfilztes organisches Material (Streu); dunkelbraun; riecht nach Waldboden	Vermoderungsschicht	abrupt
Schwarze strukturlose Substanz; geruchslos	Humusstoffschicht	abrupt

b) Humusform = **Rohhumus**

4.2 Totes organisches Material (Pflanzen und Tiere)

4.3 Humus ist ein wichtiger Bestandteil im Boden für die Bodenfruchtbarkeit. Er wirkt als langfristige Nährstoffquelle, verbessert die Bodenstruktur sowie die Wasser- und Nährstoffspeicherung

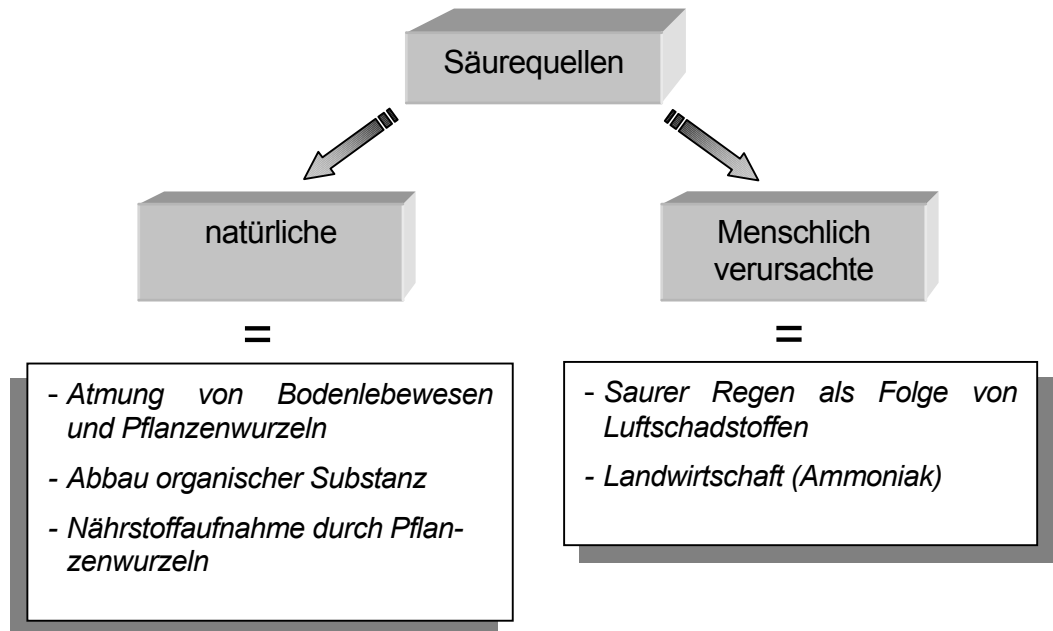
4.4 Tiefe Temperaturen, viel Niederschlag

4.5 Rohhumus, Mull, Moder. Unterschiede siehe Beschreibung im Kapitel Humusformen

4.6 Die Farbe ist rot, dies entspricht pH 4 auf der Skala. Tatsächlich ist der pH aber noch saurer, nämlich ca. 2,7.

4.7 a)  $\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \underline{\text{Ca}^{2+}} + \underline{\text{H}_2\text{O}} + \underline{\text{CO}_2}$   
b) Der pH sinkt unter 6,2

4.8



- 4.9 Heidelbeere
- 4.10 Bei der Atmung wird Kohlendioxid frei, welches sich im Bodenwasser zu Kohlensäure umwandelt.
- 4.11 Ammoniak aus dem Harn von Kühen und Schweinen wird im Boden zu Salpetersäure umgewandelt.
- 4.12 Im Boden sind Puffersysteme vorhanden, z. B. Kalk. Solange Kalk vorhanden ist, wird dieser von der sauren Bodenlösung aufgelöst, ohne dass der pH im Boden sinkt. Erst wenn kein Kalk mehr vorhanden ist, sinkt der pH ab.
- 4.13 Nährstoffe werden verlagert und sind für Pflanzen nicht mehr verfügbar., Bodenlebewesen wandern aus, einige Schadstoffe, z. B. Schwermetalle werden wirksam.
- 4.14 Eine Pflanze, die bei ganz bestimmten Umweltbedingungen wächst.
- 4.15 Sie können uns schädigen bzw. in unserem Körper angereichert werden durch die Pflanzen, die wir essen oder durch Fleisch und Milch von Tieren, die Pflanzen mit erhöhten Schwermetallgehalten gegessen haben oder durch schwermetallbelastetes Trinkwasser.
- 4.16 Schadstoffe reichern sich in den Böden an und können die Bodenlebewesen oder die Pflanzen schädigen und in den Nahrungskreislauf gelangen. Böden können nicht gereinigt werden.

- 4.17 Da bei stark sauren Bedingungen weniger Nährstoffe verfügbar sind, leiden die Bäume längerfristig an Nährstoffmangel und werden dadurch anfälliger für Krankheiten.
- 4.18 Schwermetalle werden bei sauren Bedingungen löslich und können dann von den Pflanzen aufgenommen oder ins Grundwasser verlagert werden. Dadurch gelangen sie in den Nahrungskreislauf.
- 4.19 Kalkarmes Ausgangsgestein, schwer abbaubare Streu (viele Nadeln)
- 4.20 Beide Kurven haben ein Minimum auf 12.5 cm und darunter ein Maximum (C auf 15 cm; Fe auf 17.5). Das Minimum fällt in den Auswaschungshorizont, da dieser bei der Podsolierung sowohl an Eisen und organischer Substanz verarmt. Erhöhte Gehalte von C und Eisen findet man in den Anreicherungshorizonten für Humus und Eisen.
- 4.21 Rohhumus, Auswaschungshorizont, Anreicherungshorizonte von Humus und Eisen.
- 4.22 Bei stark sauren Bedingungen wird Eisen zusammen mit den sehr starken organischen Säuren in die Tiefe verlagert und weiter unten wieder abgelagert.