

## Was ist Boden?

1	Annäherung an den Boden	18
2	Die Bedeutung des Bodens als Grundlage des Lebens	19
	2.1 Bodenfunktionen	19
	2.2 Boden im Alltag	20
	2.3 Die rechtliche Stellung des Bodens	20
3	Woraus Boden besteht	21
	3.1 Mineralische Bestandteile	22
	3.2 Organische Bestandteile	23
	3.3 Bodenkolloide	27
	3.4 Bodenwasser und Bodenluft	27
4	Wie Boden entsteht	28
	4.1 Faktoren der Bodenbildung	28
	4.2 Verwitterung als erster Schritt zur Bodenbildung	30
	4.3 Abbau organischer Substanz im Boden	30
5	Physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens	31
	5.1 Bodenreaktion und Kalkgehalt des Bodens	31
	5.2 Ionenaustausch	34
6	Bodenaufbau und Bodentypen	34
7	Die Böden Bayerns	47





## Was ist Boden?

Unsere Böden bilden ein komplexes Teilsystem der Geosphäre, in dem sich Bio-, Hydro-, Litho- und Atmosphäre in gemeinsamen Stoff- und Energiekreisläufen durchdringen. Das Zusammenwirken der einzelnen Sphären im Boden hat Einfluss auf Ausprägung und Eigenschaften der Böden, die in Zeiträumen von Jahrtausenden in großer Vielfalt entstanden sind. Bodeneigenschaften wie Wasserspeicherfähigkeit, Nährstoffversorgung, Bearbeitbarkeit und die für das Pflanzenwachstum günstige Bodenreaktion (pH-Wert der Bodenlösung) sind wichtige Kriterien zur Beurteilung der Bodenqualität in der Land- und Forstwirtschaft. Die Wirkungsgefüge im Boden zu verstehen, ist wichtige Voraussetzung dafür, den Stellenwert des Bodens nicht nur im Hinblick auf seine Nutzung durch den Menschen zu erkennen.

### 1 Annäherung an den Boden

Ein Bodenkundler wird auf die Frage „Was ist Boden?“ nur selten eine zufrieden stellende Antwort von einem Nicht-Fachmann erhalten. Das ist nicht verwunderlich, da in den meisten Fällen beide den gleichen Begriff unterschiedlich benutzen. Für den Fachmann ist spätestens seit der ersten wissenschaftlichen Betrachtung des Bodens durch Frédéric Albert Fallou 1862 mit diesem Begriff der belebte Raum unter unseren Füßen gemeint und definiert (↗ A2). Im alltäglichen Sprachgebrauch ist Boden dagegen meist die Fläche oder der feste Untergrund, auf dem man sich bewegt. Etymologisch leitet sich Boden von dem indogermanischen Wort *bhudhm[e]n* ab. Sprachverwandtschaften bestehen innerhalb der indogermanischen Sprachen zu den Wörtern *Budhnāh* (altindisch für Grund, Boden) und *fundus* (lat. Boden eines Gefäßes, Grund; vgl. Fundament). Die dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechende Bedeutung von Boden im Sinne eines festen

Untergrundes findet sich heute auch in verwandten Wörtern in anderen Sprachen, z. B. *bottom* (engl.; syn. *ground, floor*), *botten* (schwed.) oder *bodem* (niederl.). Für den Boden im Sinne des Fachmanns kennen diese Sprachen einen eigenständigen Ausdruck (*soil*, engl.; *jord*, schwed.).

Würde die eingangs genannte Frage „Was ist Erde?“ lauten, kämen sich Bodenkundler und Laie einer gemeinsamen Vorstellung über den Boden näher. Denn Erde bezeichnet in seiner ursprünglichen Bedeutung und auch im heutigen Sprachgebrauch den nasen, schwarzen Stoff, der in der Antike sogar eines der vier Elemente darstellte (Feuer, Wasser, Erde, Luft). Und auch im Gilgamesch-Epos Babyloniens, im Alten Testament und im Islam begegnet uns die Erde (Limus = Lehm). Hier bildet sie den Baustoff unserer Urahnen. In der altägyptischen Mythologie schuf der widerköpfige Gott Chnum

#### Boden im Sinne der Bodenkunde quer durch Europa

*jordbund* (dänisch)  
*soil* (englisch)  
*maa* (finnisch)  
*sol* (französisch)  
*έδαφος* (griechisch)  
*bodem* (holländisch)  
*suolo* (italienisch)  
*gleba* (polnisch)  
*solo* (portugiesisch)  
*pamant* (rumänisch)  
*jord* (schwedisch)  
*suelo* (spanisch)  
*půda* (tschechisch)  
*toprak* (türkisch)  
*föld* (ungarisch)

auf einer Töpferscheibe alle Geschöpfe aus Ton (➔ A1).

Wörter wie erdig, beerdigen, erden, Erdapfel oder Erdbeere sind Begriffe, die unzweifelhaft mit der lockeren Auflage auf dem festen Gesteinsuntergrund, eben dem Boden, verbunden sind. Synonym zu dem Begriff Erde sind allgemein verbreitet: Humus, Mutterboden oder Krume. Alle vier Bezeichnungen stehen vorwiegend für den fruchtbaren, meist vom Menschen landwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Boden. Sie kennzeichnen damit den nährstoffreichen und humushaltigen Oberboden im Sinne des Bodenkundlers, vernachlässigen jedoch das tiefere Bodenstockwerk, den Unterboden. Dieser bleibt den meisten allerdings auch weitgehend verborgen, es sei denn, Erdarbeiten schließen diesen Teil des Bodens auf.

Es bestehen bisweilen selbst unter den Fachkundigen unterschiedliche Ansichten, wie Boden zu definieren ist. Das betrifft insbesondere seine Abgrenzung in die Tiefe. Streng genommen gehört nur derjenige Teil zum Boden, der sich durch ➔ bodenbildende Prozesse und durch biologische Aktivität im Strukturbild vom Ausgangsgestein unterscheidet. Dies gilt auch dann, wenn das Ausgangsgestein durch chemische und physikalische Prozesse bereits intensiv verwittert ist (➔ Cv-Horizont). Sehr viel weitreichender hingegen definiert das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) von 1999 den Boden als „... die obere Schicht der Erdkruste, soweit sie Träger [...] von Bodenfunktionen ist, einschließlich der flüssigen [...] und der gasförmigen Bestandteile [...] ohne Grundwasser und Gewässerbetten.“ Zu den Bodenfunktionen gehört auch der Boden als Lieferant für



Rohstoffe bzw. Bodenschätze (Steine, Kies, Kohle etc.), wodurch der Begriff auch den geologischen Untergrund beinhaltet. Die vorliegende Handreichung will diesen Aspekt nicht ausklammern, doch Boden im Wesentlichen im Sinne der Definition von Schroeder (1992) betrachten: „Boden ist das mit Wasser, Luft und Lebewesen durchsetzte, unter dem Einfluss der Umweltfaktoren an der Erdoberfläche entstandene und im Ablauf der Zeit sich weiterentwickelnde Umwandlungsprodukt mineralischer und organischer Substanzen“.

**A1** | Der widerköpfige Gott Chnum des alten Ägyptens wachte auf der Insel Elephantine nahe der Stadt Assuan über die Nilfluten und kontrollierte die Überschwemmungen (ca. 3000 Jahre vor Chr.). Verehrt als der Schöpfer der Götter, Menschen und Tiere wird Chnum, der „Schöpfergott“, häufig sitzend vor einer Töpferscheibe beim Modellieren von Menschenfiguren aus Ton dargestellt. **CD**

## 2 Die Bedeutung des Bodens als Grundlage des Lebens

### 2.1 Bodenfunktionen

Boden ist, ebenso wie Wasser und Luft, ein wichtiger Bestandteil des Naturhaushalts. Am Übergang zwischen Gesteinsuntergrund und Atmosphäre, Biosphäre und Hydrosphäre nimmt er innerhalb des ökologischen Systems sogar eine zentrale und verbindende

Stellung ein. So überschneiden sich im Boden viele Stoffkreisläufe, deren Bestandteile hier verändert, gespeichert und neu verteilt werden. Neben den natürlichen Funktionen als Naturkörper (= ökologische Bodenfunktionen) kommen dem Boden weitere Funktionen zu, die er ausschließlich für den Menschen erfüllt. Diese Nutzungen, z. B. als



A2 | Bodendefinition nach Frédéric Albert Fallou.

Rohstoffquelle oder Baugrund, sind allerdings meist mit einer Inanspruchnahme verbunden, die den Boden in seiner natürlichen Funktionsfähigkeit beeinträchtigt oder auch zerstören kann. Seit dem Beginn der Industrialisierung, besonders aber seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts, werden die natürlichen Bodenfunktionen zudem durch den Eintrag von Schadstoffen aus der industriellen Produktion, dem Verkehr, der Abfallentsorgung oder dem landwirtschaftlichen Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln belastet.

CD | Definition der Bodenfunktionen.

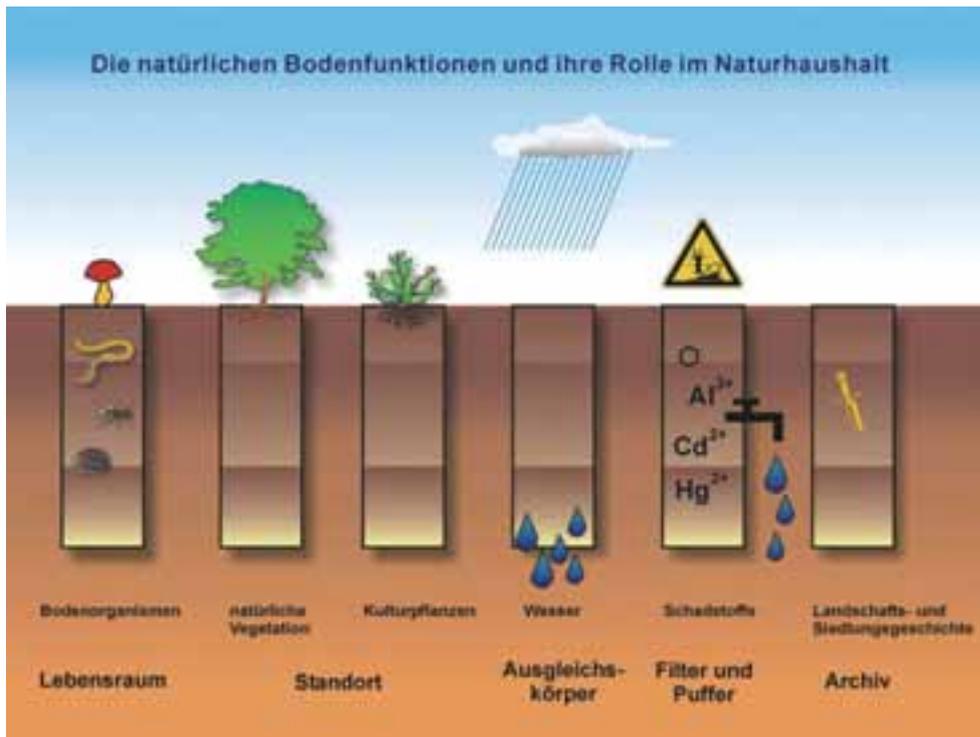
Bodenfunktionen nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG)
<p><b>Natürliche Funktionen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen</li> <li>• Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen</li> <li>• Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers</li> </ul>
<p><b>Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte</b></p>
<p><b>Nutzungsfunktionen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rohstofflagerstätte</li> <li>• Fläche für Siedlung und Erholung</li> <li>• Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung</li> <li>• Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung</li> </ul>

## 2.2 Boden im Alltag

Täglich kommen wir mit dem Boden und seinen Funktionen in Berührung. Auf ihm wird der größte Teil der Nahrungs- und Futtermittel produziert, mit seiner Hilfe haben wir sauberes Trinkwasser, unsere Gebäude stehen auf ihm, die Rohstoffe für den Bau werden dem Boden entnommen und unsere Kinder spielen auf und mit ihm. Eher unbekannt ist, dass wir Bestandteile des Bodens im medizinischen Bereich nutzen. Dazu gehört die Heilerde, beispielsweise angewandt zur Pflege der Haut (► Schüleraktivität AA9) oder als Mittel gegen Durchfall. Dabei macht man sich die Wirkungsmechanismen der → Tonminerale zunutze. Aufgrund ihres hohen Wärmespeicher- und Wasserbindungsvermögens sowie der chemischen Wirkung bei der Aufnahme durch die Haut werden Moorböden (Torf) bei Unterleibs- und rheumatischen Erkrankungen oder Erkrankungen des Bewegungsapparates angewendet. Auch im alltäglichen Gebrauch greifen wir auf Bodenbestandteile zurück. So besteht beispielsweise Porzellan u. a. aus dem Tonmineral Kaolinit (Porzellanerde) oder wird Kreide der Zahncreme als „Poliermittel“ zugesetzt.

## 2.3 Die rechtliche Stellung des Bodens

Am 01. März 1999 traten das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und am 17. Juli 1999 die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) in Kraft. Damit



A3 | Die natürlichen Bodenfunktionen. [CD](#)

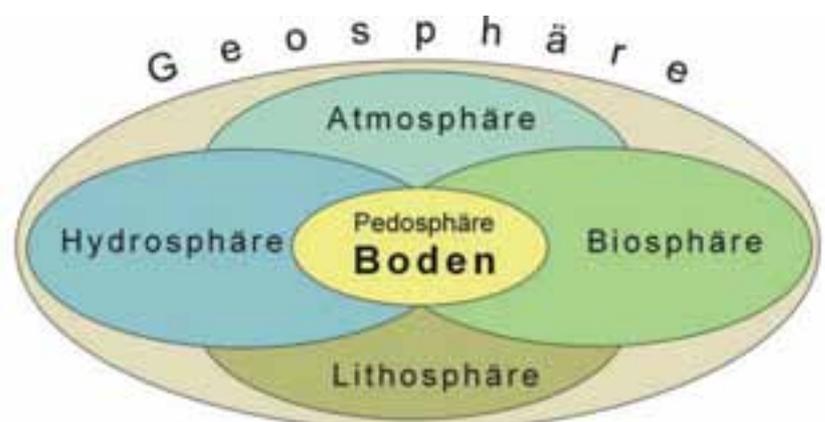
wird der Boden als elementarer Bestandteil der Natur und neben Wasser und Luft als drittes wichtiges Umweltmedium ausdrücklich geschützt. Zweck des Gesetzes ist es, die Bodenfunktionen zu sichern oder wieder herzustellen. Dazu werden Pflichten zur Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen und zur Sanierung von Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachter Gewässerverunreinigungen begründet. Die BBodSchV konkretisiert die bundeseinheitlichen Anforderungen an den Bodenschutz und die Altlastensanierung.

Die Verordnung ist für die Bodenschutzbehörden von großer Bedeutung unter anderem durch Regelungen über die maßgeblichen Schadstoffwerte (Maßnahmen-, Prüf- und Vorsorgewerte) und Untersuchungsanforderungen für den Boden. Bayern hat zeitgleich mit dem Bundesgesetz zum 01. März 1999 das Bayerische Bodenschutzgesetz (BayBodSchG) in Kraft gesetzt, das unter anderem die Zuständigkeiten der Behörden im Bodenschutz sowie die Einrichtung eines Altlastenkatasters und eines Bodeninformationssystems regelt.

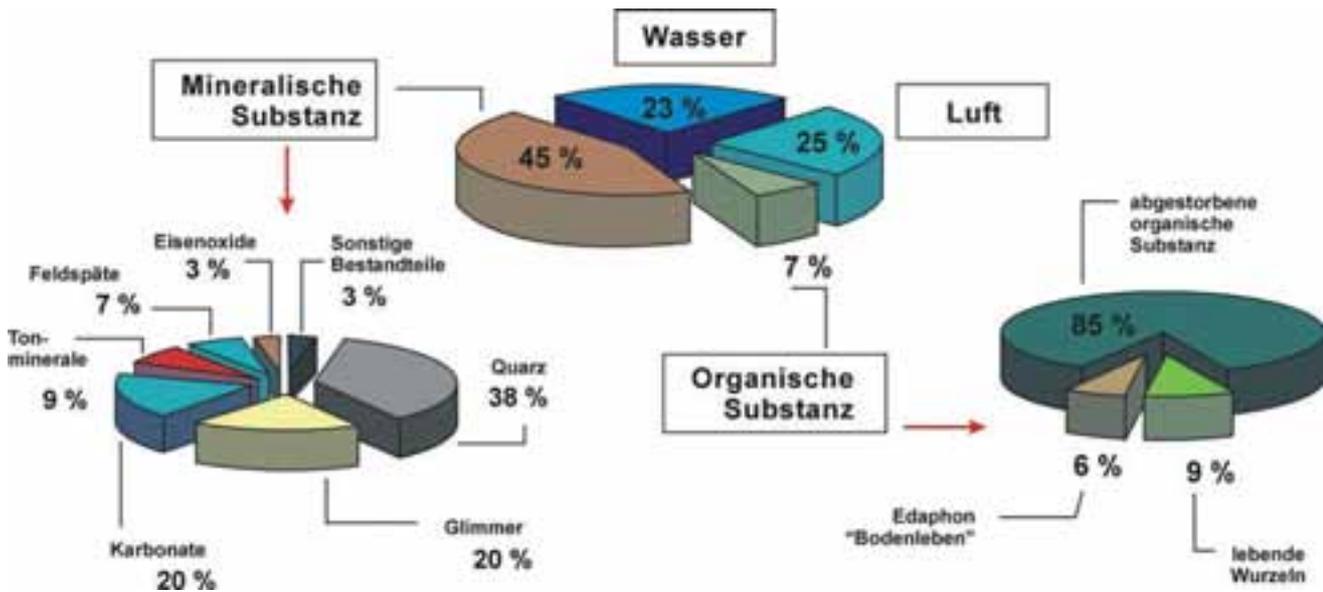
CD | Gesetzestexte

### 3 Woraus Boden besteht

In der Bodenschicht (= Pedosphäre; von pedon, griech., Boden) überschneiden sich vier Bereiche der Natur (↗ A4): die Lithosphäre (bestehend aus Mineralen und Gesteinen), die Hydrosphäre (das Wasser), die Biosphäre (lebende und abgestorbene Pflanzen und Tiere) und die Atmosphäre (die Luft). Die Bausteine dieser Sphären bilden so auch die Bestandteile des Bodens, allerdings verändern biologische Aktivitäten und chemische Umsetzungen deren Zusammensetzung. Physikalisch gesehen besteht Boden aus festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen.



A4 | Die Stellung des Bodens innerhalb der Geosphäre. [CD](#)



A5 | Die Stoffbestandteile des Bodens.

### 3.1 Mineralische Bestandteile

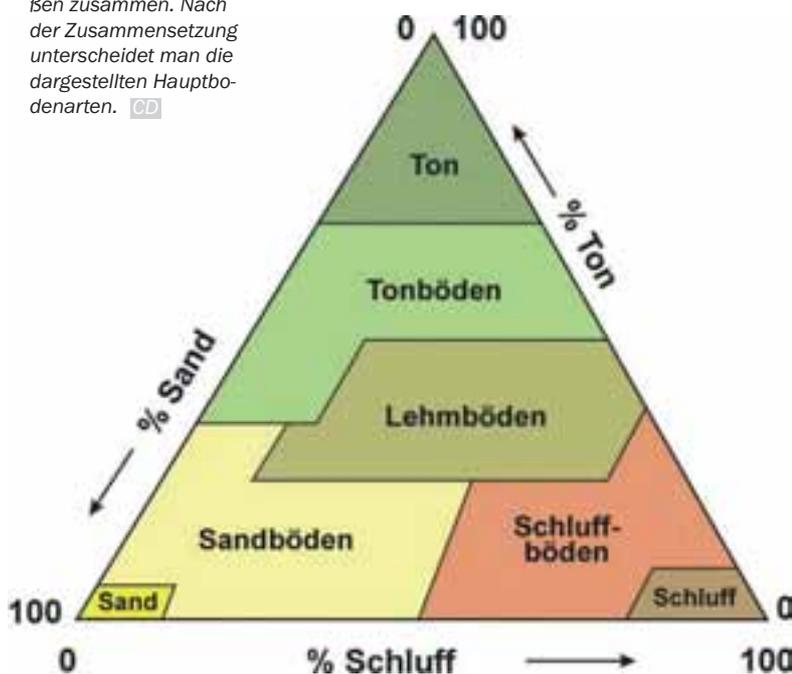
Die mineralischen Bestandteile des Bodens entstammen überwiegend den an der Erdoberfläche verwitterten festen und lockeren Gesteinen (→ Exkurs Gesteine). Durch Verwitterungsprozesse zerfallen diese in Gesteinsbruchstücke, bestehend aus Mineralaggregaten, und in die einzelnen Mineralbestandteile. Neben diesen gesteinsbürtigen (= lithogenen) Mineralen gehören aber auch die während der Bodenbildung neu gebildeten (= pedogenen) Minerale zum mineralischen Bodenkörper, wie beispielsweise die Tonminerale (→ Exkurs Tonminerale).

A6 | Der mineralische Bodenkörper setzt sich aus Gemischen unterschiedlicher Korngrößen zusammen. Nach der Zusammensetzung unterscheidet man die dargestellten Hauptbodenarten.

Die mineralischen Bestandteile liegen im Boden in unterschiedlicher Korngröße vor. Eine Charakterisierung des Bodens nach diesen Partikelgrößen gibt die so genannte → Bodenart wieder. Danach unterscheidet man zwischen drei Größenklassen bzw. Hauptbodenarten: Ton (Korndurchmesser < 0.002 mm), Schluff (0.063 – 0.002 mm) und Sand (0.063 – 2 mm). Weitere Unterteilungen erfolgen durch die Begriffe sandig, schluffig und tonig (z. B. sandiger Ton). Die mineralischen Bodenbestandteile ≤ 2 mm rechnet man zum so genannten Feinboden, die größeren Bodenbestandteile bilden den Grobboden, das so genannte Bodenskelett. In Böden kommen häufig Gemische unterschiedlicher Korngrößen vor. Beispielsweise besteht → Lehm aus Anteilen aller drei Hauptbodenarten (→ A6).

Die Bodenart kann mit Hilfe der → Fingerprobe im Feld verhältnismäßig leicht bestimmt werden (► Schüleraktivität AB2). Dabei dienen als Kriterien die Plastizität, Rollfähigkeit, Schmierfähigkeit und Rauigkeit. Im bodenkundlichen Labor erfolgt die Bestimmung der Korngrößenanteile nach DIN-Normen durch eine Kombination von Sieb- und Sedimentationsverfahren (► Schüleraktivität AB3).

Die Bodenart hat Einfluss auf die Wasserführung, Wasserspeicherfähigkeit, Durchlüftung und Bearbeitbarkeit eines Bodens (→ A7). Daher ist sie ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Bodenqualität. So be-



ruhen beispielsweise die günstigen ackerbaulichen Eigenschaften der Lehmböden auf ihrer Korngrößenzusammensetzung. Ein hoher Sandanteil im Boden bedeutet dagegen zwar eine gute Durchlüftung, Durchwurzelbarkeit, Wasserführung und leichte Bearbeitbarkeit, die Fähigkeit, Wasser zu speichern, ist hingegen gering. Bei einem hohen Tonanteil sind aufgrund der geringen Porengröße die Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit schlecht, der Nährstoffhaushalt und die Wasserspeicherung dagegen sind gut.



### 3.2 Organische Bestandteile

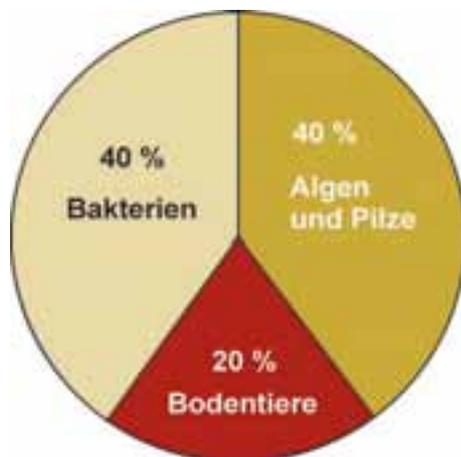
Zu den organischen Bestandteilen des Bodens gehören in erster Linie die abgestorbenen und umgewandelten Reste von Pflanzen und Tieren (= Humus; ↗ A5). Nicht von allen Autoren dagegen werden auch das Bodenleben (= Edaphon) und die lebenden Pflanzenwurzeln zur organischen Substanz des Bodens hinzugezählt. Beide sind jedoch ebenfalls wesentliche Bestandteile des Bodens (► Modul B Bodenleben).

Die abgestorbenen organischen Bestandteile des Bodens sind dem mineralischen Bodenkörper beigemischt. Der Humus des Bodens beeinflusst maßgeblich dessen Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt sowie das Angebot an lebenswichtigen Nährstoffen. Damit tragen die organischen Bestandteile wesentlich zur Bodenfruchtbarkeit bei. Da Gesteine das für Pflanzen unverzichtbare Element Stickstoff überhaupt nicht enthalten, ist Humus für die

allermeisten Pflanzen sogar der einzige Lieferant dieses Nährstoffes. Humus beeinflusst maßgeblich auch die Stabilität des Bodengefüges, z. B. des → Krümelgefüges. Dieses ist neben der Fähigkeit, Wasser zu speichern, auch für die Durchlüftung des Bodens wichtig.

A7 | Der Einfluss der Bodenart auf Eigenschaften des Bodens. [GD](#)

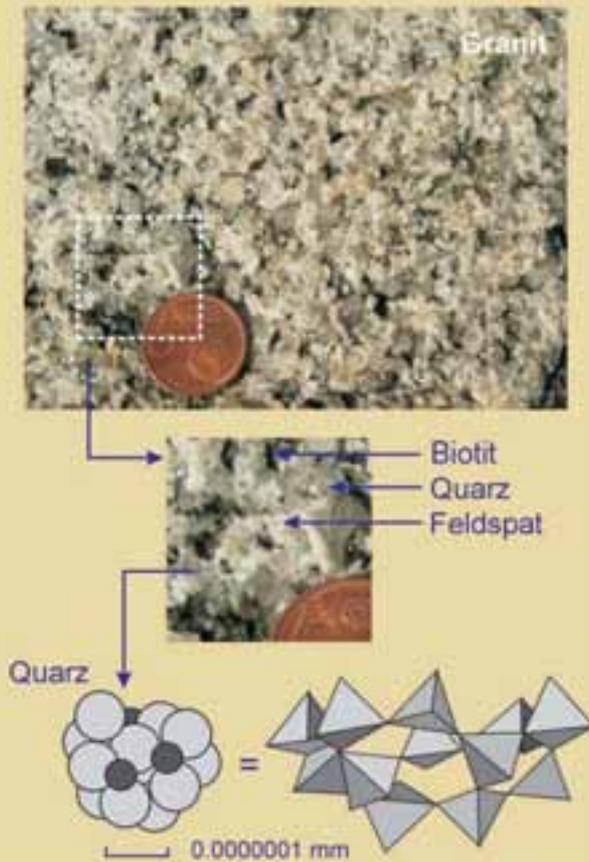
Bezeichnung des Bodens nach Gehalt an organischer Substanz	Gehalt an organischer Substanz in Gew.-%	
	Schwere Böden (lehmig/tonig)	Leichte Böden (sandig)
sehr schwach bis schwach humos	< 3 - 5	<1 - 2
mäßig humos	5 - 10	2 - 4
stark und sehr stark humos	10 - 20	4 - 15
anmoorig	20 - 35	15 - 25
Moorerde	25 - 80	25 - 60
Moor	> 80	> 60



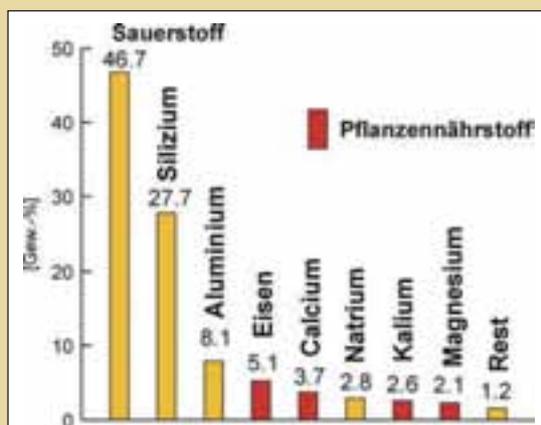
A8 | Die Zusammensetzung des Edaphons im Boden (vgl. auch ↗ A5). [GD](#)

Humus ist das Ergebnis der Verrottung bzw. komplexer biochemischer Zersetzungsprozesse der organischen Bodenstoffe. Dabei entstehen durch den Vorgang der Humifizierung hochmolekulare Abbauprodukte, die → Huminstoffe. Im Mikroskop oder mit der Lupe betrachtet ist Humus eine strukturlose (= amorphe) Substanz aus sehr kleinen Partikeln, die leicht in den Fingerrillen kleben bleiben. Seine schwarze Farbe bestimmt je nach Verteilung und Menge maßgeblich die dunkle Färbung des Oberbodens. Je nach Humusgehalt lassen sich Böden in mehr oder weniger humose Böden unterscheiden (↗ Tabelle A1).

Tabelle A1 | Abstufung des Humusgehaltes des Bodens.



A9 | Vom Gestein zum Molekül. CD



A10 | Mittlere chemische Zusammensetzung der Lithosphäre. CD

## Gesteine ...

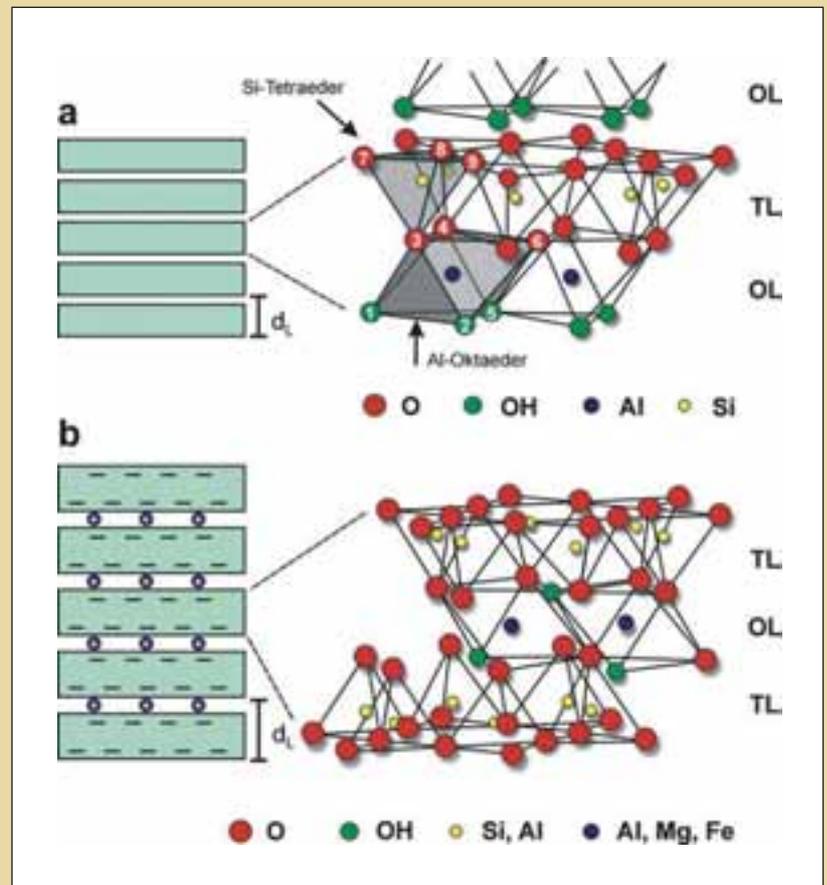
... sind ein natürlicher Verband chemisch wie physikalisch homogener Bausteine, den Mineralen. Nach ihrer Herkunft unterscheidet man drei große Gesteinsgruppen: Magmatite (Erstarrungsgesteine aus glutflüssigen Gesteinsschmelzen, dem Magma, z. B. Granit oder Basalt), Sedimentite (= Ablagerungsgesteine aus den Verwitterungsprodukten aller drei Gesteinsgruppen, z. B. Sandsteine oder Tonsteine) und Metamorphite (= unter dem Einfluss von Gebirgsbildungen entstanden, z. B. Gneise, Glimmerschiefer). Alle drei Gruppen lassen sich weiter unterteilen, z. B. die Sedimentite in die klastischen Gesteine, die aus aufgearbeiteten Komponenten des Ausgangsgesteins bestehen (z. B. Sandstein), die chemischen Sedimente, die unter Einwirkung von Organismen durch biologisch-chemische Ausfällung entstehen (z. B. Kalkstein oder Dolomit) und die organischen Gesteine, zu denen z. B. die Kohle gehört.

Gesteine sind in Abhängigkeit von ihrem Mineralbestand chemisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt. Die bei der Verwitterung aus ihnen mobilisierten Elemente prägen damit entscheidend wesentliche Merkmale der chemischen Eigenschaften der Böden und ihres Nährstoffangebotes. Allerdings sind von den 92 natürlichen Elementen nur 8 zu mehr als 1 % am Aufbau der Gesteine vertreten, wovon nur vier Pflanzennährelemente sind (Eisen, Calcium, Kalium, Magnesium).

## Tonminerale ...

... sind kleiner als 0.002 mm (2  $\mu\text{m}$ ) und gehören zur Mineralgruppe der Schichtsilikate. In diesen Mineralen sind  $\text{SiO}_4^{4-}$ -Moleküle, deren Atome sich in Form eines Tetraeders anordnen, in Ebenen (= Schichten) miteinander vernetzt. Ebenfalls zu Ebenen zusammengeschlossen sind oktaedrisch angeordnete Molekülgruppen aus Aluminiumionen ( $\text{Al}^{3+}$ ) und Hydroxidionen. Wie Verbundglas sind solche tetraedrischen  $\text{SiO}_4^{4-}$ - und oktaedrischen Aluminiumhydroxid-Schichten über Sauerstoffbrücken fest miteinander verbunden. In den so genannten **Zweischicht-Tonmineralen** sind die Tetraeder-Oktaeder-Doppelschichten über schwache Massenanziehungskräfte aneinander gelagert, sie besitzen nach außen keine Ladung. Die Abstände zwischen den Doppelschichten sind sehr klein und nicht veränderbar ( $< 1.4 \text{ nm}$ ), so dass keine Moleküle oder Ionen, also auch keine Wassermoleküle oder Nährstoffe, dazwischen eingelagert werden können. Das bekannteste Zweischicht-Tonmineral ist der Kaolinit (Kaolin, Porzellanerde). Es kommt in den Böden Mitteleuropas nur selten vor und ist typisch für chemisch intensiv verwitterte Böden, z. B. in den Tropen. Sein Vorkommen ist in unseren Breiten überwiegend an relictisch erhaltene Böden und Sedimente der geologischen Zeit des Tertiärs gebunden (z. B. die wirtschaftlich bedeutsamen Kaolinlagerstätten der Oberpfalz).

In den **Dreischicht-Tonmineralen** umschließen zwei Tetraederschichten eine Oktaederschicht. In diesem Falle besitzt der Schichtenverbund eine negative Ladung. Daher werden die „Schichtpakete“ bestehend jeweils aus Tetraeder-Oktaeder-Tetraeder-Lagen über positive Ionen (meist Kaliumionen  $\text{K}^+$ ) zusammengehalten. Diese können jedoch leicht gegen andere Ionen ausgetauscht werden. Aufgrund dieser Eigenschaft sind Böden mit einem hohen Anteil an Dreischicht-Tonmineralen sehr fruchtbar. Sie be-



sitzen darüber hinaus auch die Fähigkeit, Wassermoleküle, aber auch Schadstoffe reversibel in die Zwischenschichten einzubauen und diese damit zu speichern (► Modul F Schadstoffe). Die Wassereinlagerung bedingt ein charakteristisches Quellen der Dreischicht-Tonminerale bzw. der daraus bestehenden Tone. Beim Austrocknen der Tone entstehen durch das Verdunsten des eingelagerten Wassers typische Schrumpfrisse im Boden (Trockenrisse). Dieses Schrumpfen macht Dreischicht-Tonminerale für eine Anwendung zum Töpfern oder zur Porzellanherstellung (Brennvorgang!) im Gegensatz zu Zweischicht-Tonmineralen ungeeignet. Dreischicht-Tonminerale sind die typischen Tonminerale der Böden in Mitteleuropa (z. B. → Illit oder → Montmorillonit).

**A11 | Raumgitter von Tonmineralen.** [CD](#)  
**a (oben):** Zweischicht-Tonmineral (z. B. Kaolinit),  $d_L = \text{ca. } 0.72 \text{ nm}$ ; 1 - 6 = Ecken des Oktaeders, 3 und 7 - 9 = Ecken des Tetraeders.  
**b (unten):** Dreischicht-Tonmineral (z. B. Illit),  $d_L = \text{ca. } 1 \text{ nm}$ .  
 Ein nm (Nanometer) entspricht einem Milliardstel Meter.

**Zeichenerklärung:**  
 Al = Aluminium, Fe = Eisen, Mg = Magnesium, O = Sauerstoff, OH = Hydroxyl, Si = Silizium, TL = Tetraederlage, OL = Oktaederlage.

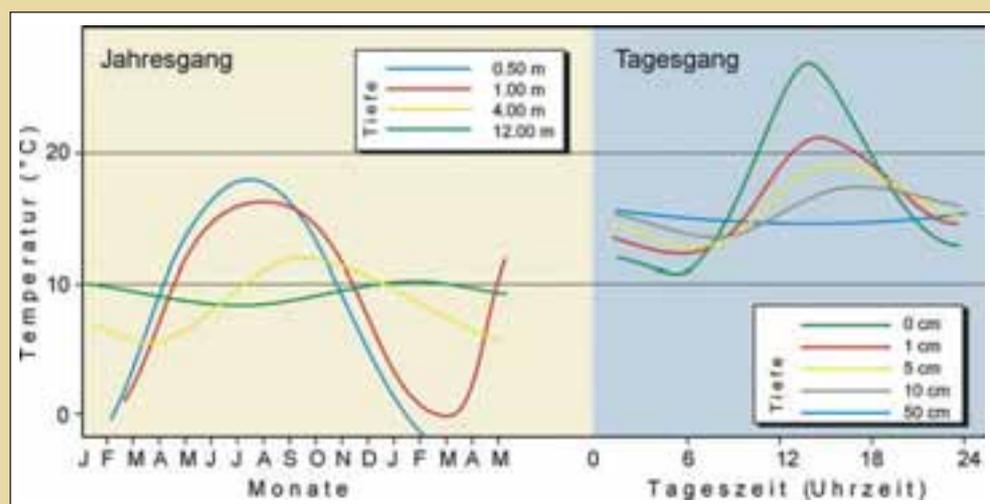
## Bodenklima

Bodenwasser und Bodenluft haben im Zusammenspiel mit der Bodentemperatur wesentlichen Einfluss auf das Bodenklima. Von diesem sind das Pflanzenwachstum, die Aktivität der Bodenorganismen und die Intensität der Verwitterung und die der weiteren bodenbildenden Prozesse abhängig. Zur Bodentemperatur trägt wesentlich die Sonneneinstrahlung bei. Somit sind geographische Lage, Hanglage und Hangneigung, Vegetationsbedeckung sowie Farbe und Beschaffenheit der Bodenoberfläche regulierende Faktoren der Erwärmung. Auch mikrobielle Zersetzungs Vorgänge können zu einem Temperaturanstieg im Boden führen. Bei einem frischen Komposthaufen kann die Erhöhung der Temperatur durch die Mikrobenaktivität gut beobachtet werden (► Schüleraktivität B7).

Die Temperatur und die Temperaturschwankungen der oberen Bodenschichten folgen in abgeschwächter Form weitgehend dem Verlauf der Lufttemperatur. Andererseits kann bei starker Sonneneinstrahlung und Wärmeabgabe durch den Boden eine Erwärmung der bodennahen Luftschichten er-

folgen. Da die festen Bodenbestandteile eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, erfolgt die Ausbreitung der Wärme im Boden nur langsam. Wasser erhöht die Wärmeleitfähigkeit, wogegen Luft als schlechter Wärmeleiter sie verringert. Trockene, gut durchlüftete (Sand-) Böden leiten die Wärme daher schlechter als nasse, dichte und luftarme (Ton-) Böden. Streu- und Humusaufgabe, besonders aber eine geschlossene Pflanzendecke wirken wärmeregulierend. Sie schützen sowohl vor zu großer Erwärmung als auch zu hoher Wärmeabgabe.

Die im Boden über die Wärme gespeicherte Energie lässt besonders in den oberflächennahen Bodenschichten das Bodenwasser verdunsten. Dies kann zu einem nach oben gerichteten Verdunstungswasserstrom führen, über den Nährsalze an die Oberfläche transportiert und dort ausgefällt werden. In ariden Gebieten führt dieser Prozess meist zur Versalzung des Bodens. Die Verdunstung des Bodenwassers entzieht dem Boden eine erhebliche Menge an Wärme und führt zu dessen Auskühlung. Dies betrifft feuchte Tonböden weit mehr als die eher trockenen Sandböden.



A12 | Bodenwärmehaushalt. Links: Jahresgang der Temperatur in verschiedenen Bodentiefen. Je tiefer im Boden, um so gedämpfter ist die Auswirkung des Ganges der Jahreslufttemperatur, um so ausgeprägter jedoch die Phasenverschiebung des Temperaturganges (z. B. wird das Temperaturminimum in 12 m Tiefe erst im Februar erreicht!). Rechts: Tagesgang der Bodentemperatur in einem Sandboden während einer Schönwetterperiode. CD

Unter Wald reichert sich im Regelfall die organische Substanz in der so genannten Humusaufgabe (= → Streu), bestehend aus dem Laub oder den Nadeln der Vegetation, an. Nach ihrem Aufbau und Zersetzungsgrad lassen sich mehrere Humusformen unterscheiden (Rohhumus, Moder und Mull; ► Modul C Waldböden).

Humuspartikel (im Sinne von Huminstoffen) besitzen trotz ihres geringen spezifischen Gewichtes ( $0.1 - 1 \text{ g/cm}^3$ ) sehr große Oberflächen:  $600 - 1000 \text{ m}^2/\text{g}$ , was bei  $100 \text{ g}$  Humus einer Oberfläche von  $80.000 \text{ m}^2$  oder einer Fläche von ca. 16 Fußballfeldern entspricht. Auf diesen großen reaktiven Oberflächen beruht die hohe Speicherfähigkeit von Humus an Nährstoffen sowie sein hohes Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen wie Schwermetallen und → polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (► Modul F Schadstoffe).

### 3.3 Bodenkolloide

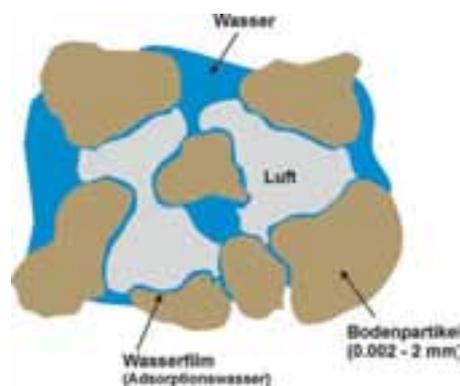
Bodenpartikel sowohl anorganischer als auch organischer Natur mit Durchmessern von  $100$  bis  $10.000 \text{ nm}$  ( $= 10^{-6} - 10^{-4} \text{ mm}$ ) werden als Bodenkolloide bezeichnet. Sie besitzen aufgrund ihrer Größe und Beschaffenheit besondere physikalisch-chemische Eigenschaften. Durch ihre gleichen Oberflächenladungen stoßen sich Bodenkolloide gegenseitig ab und halten sich so in der Bodenlösung in der Schwebe. Im Boden sind Kolloide aus Ton oder Humus negativ, Kolloide aus Aluminium- oder Eisenverbindungen positiv geladen. Bodenkolloide besitzen sehr große Oberflächen, an denen eine Vielzahl von Reaktionen ablaufen. So können an die Bodenkolloide Ionen oder Mikroorganismen angelagert werden. Besondere Bedeutung hat die Anlagerung (Adsorption) von Nährstoffionen, da diese Ionen auch wieder abgegeben werden können. Bodenkolloide wirken somit als wichtiger Nährstoffspeicher im Boden. Sie können aber ebenso Schadstoffe im Boden binden und dadurch als Filter für sauberes Grundwasser wirken.

Besonders die mineralischen Bestandteile des Bodens bilden ein locker gepacktes Gerüstwerk, das in Abhängigkeit von der Bodenart kleinere oder größere Hohlräume um-

schließt (→ A13). Zum Hohlräumensystem des Bodens gehören auch Grab- und Fraßbauten der Bodenlebewesen oder durch Schrumpfungsprozesse entstandene Risse und Spalten. Die miteinander vernetzten Hohlräume sind entweder mit Wasser oder Luft gefüllt. Sie sind Lebensraum kleinster Bodenlebewesen, der Mikroorganismen (► Modul B Bodenleben).

### 3.4 Bodenwasser und Bodenluft

Das Bodenwasser entstammt überwiegend dem Niederschlagswasser der Atmosphäre. Im Boden versorgt es die Pflanzen und die Bodenlebewesen mit dem für sie lebensnotwendigen Wasser und den darin transportierten Nährstoffen. Gleichzeitig ist es wesentliche Voraussetzung für alle Prozesse der Bodenentwicklung. Vergleichbar mit einem Schwamm ist der Boden in der Lage, Wasser zu speichern (→ Wasserkapazität). Jedoch ist aufgrund der physikalischen Bindungskräfte zwischen Wassermolekülen und Bodenpartikeln nicht das gesamte im Boden gespeicherte Wasser für die Pflanzen verfügbar (► Modul D Wasser).



**A13** | Boden besteht aus miteinander verklebten Bodenteilchen, die wasser- und luftgefüllte Hohlräume umgeben. Bodenteilchen und Hohlräume können sehr unterschiedliche Größen besitzen. Beide sind bestimmend für die Bodeneigenschaften (z. B. "schwere Böden", "leichte Böden", Wasser- und Luftdurchlässigkeit). 

Alle Teile des Porenraumes im Boden, die nicht mit Wasser gefüllt sind, enthalten Bodenluft (► Schüleraktivität AB6). Deren Anteil schwankt mit dem Wassergehalt und kann beispielsweise bei stauender Nässe im Frühjahr oder durch Bodenverdichtung sehr gering sein. Da das Vorhandensein der Bodenluft jedoch eine wichtige Voraussetzung für die Atmung der Pflanzenwurzeln

Tabelle A2 | Hauptkomponenten der Atmosphäre und der Bodenluft im Vergleich.

	Atmosphäre [Vol %]	Bodenluft [Vol %]	
		gut durchlüftet	schlecht durchlüftet
N <sub>2</sub>	79	79 – 83	
O <sub>2</sub>	20,95	18 – 21	0 – 5
CO <sub>2</sub>	0,035	1 – 2	5 – 12

und der Mikroorganismen ist, wirkt sich ein dauerhaft hoher Wassergehalt oder ein verdichteter Boden nachteilig auf die Lebensfunktionen der Bodenlebewesen aus. Die Zusammensetzung der Bodenluft wird durch die biologischen Vorgänge im Boden beein-

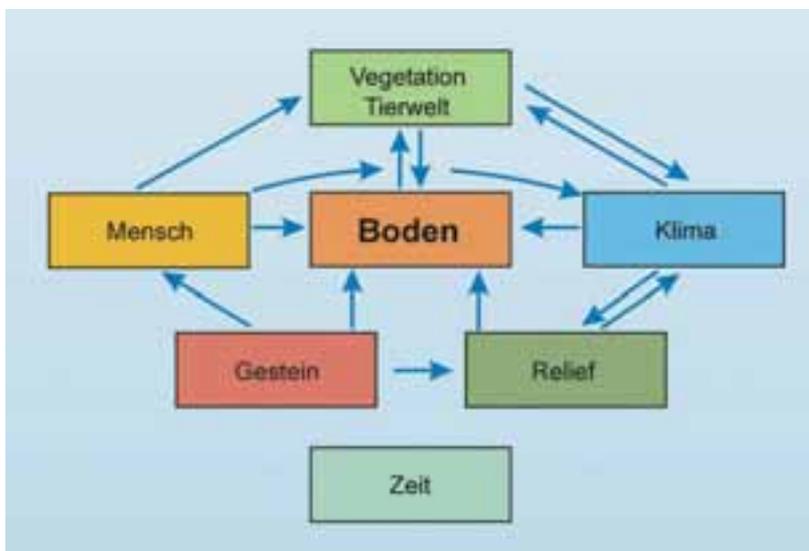
flusst und weicht daher von derjenigen der atmosphärischen Luft ab (↗ Tabelle A2). So kann aufgrund der Atmung der Mikroorganismen und der Pflanzenwurzeln der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Boden den der Atmosphäre um ein Vielfaches überschreiten.

## 4 Wie Boden entsteht

Beitrag DVD

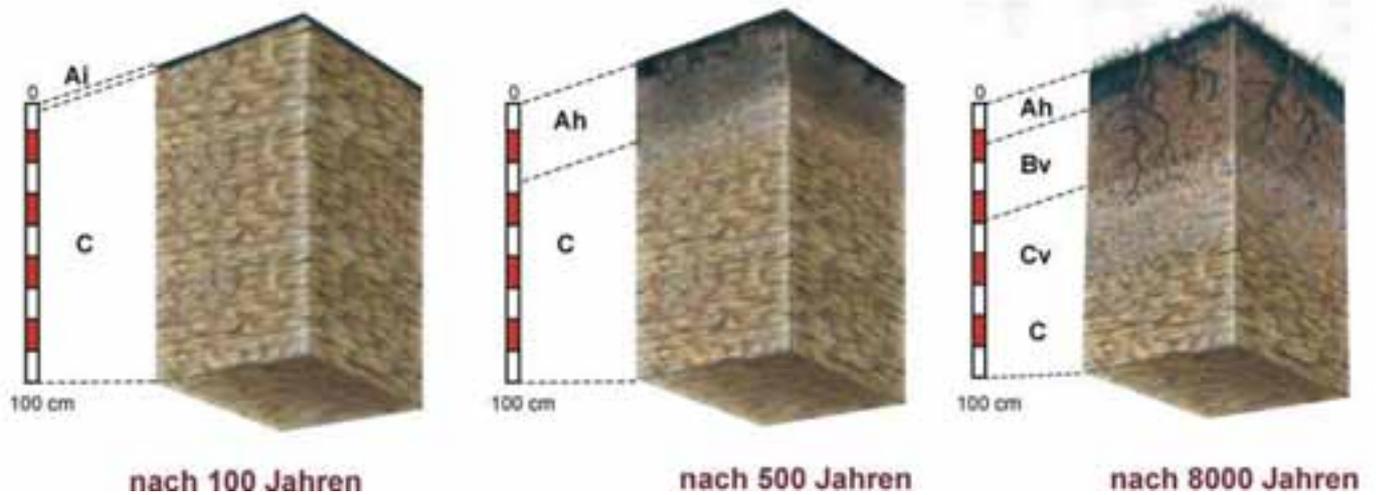
Boden entsteht und entwickelt sich in Zeiträumen, die wenige 100 Jahre bis mehrere 100.000 Jahre umfassen können (↗ A15, ↗ A16). In Mitteleuropa sind die meisten Böden jedoch nicht älter als 10.000 bis 16.000 Jahre, da durch die intensiven Abtragungsprozesse während der letzten Eiszeit ältere Böden weitgehend erodiert und umgelagert worden sind. Die zu dieser Zeit wirkende Frostverwitterung zerkleinerte das Untergrundgestein auf physikalisch-mechanischem Wege bis in 1 bis 2 m Tiefe. Aus diesem Ausgangsmaterial konnten sich mit dem Übergang in die jetzige Warmzeit, dem Holozän, unsere Böden entwickeln.

A14 | Faktoren der Bodenbildung und ihr Wirkungsgefüge. CD



### 4.1 Faktoren der Bodenbildung

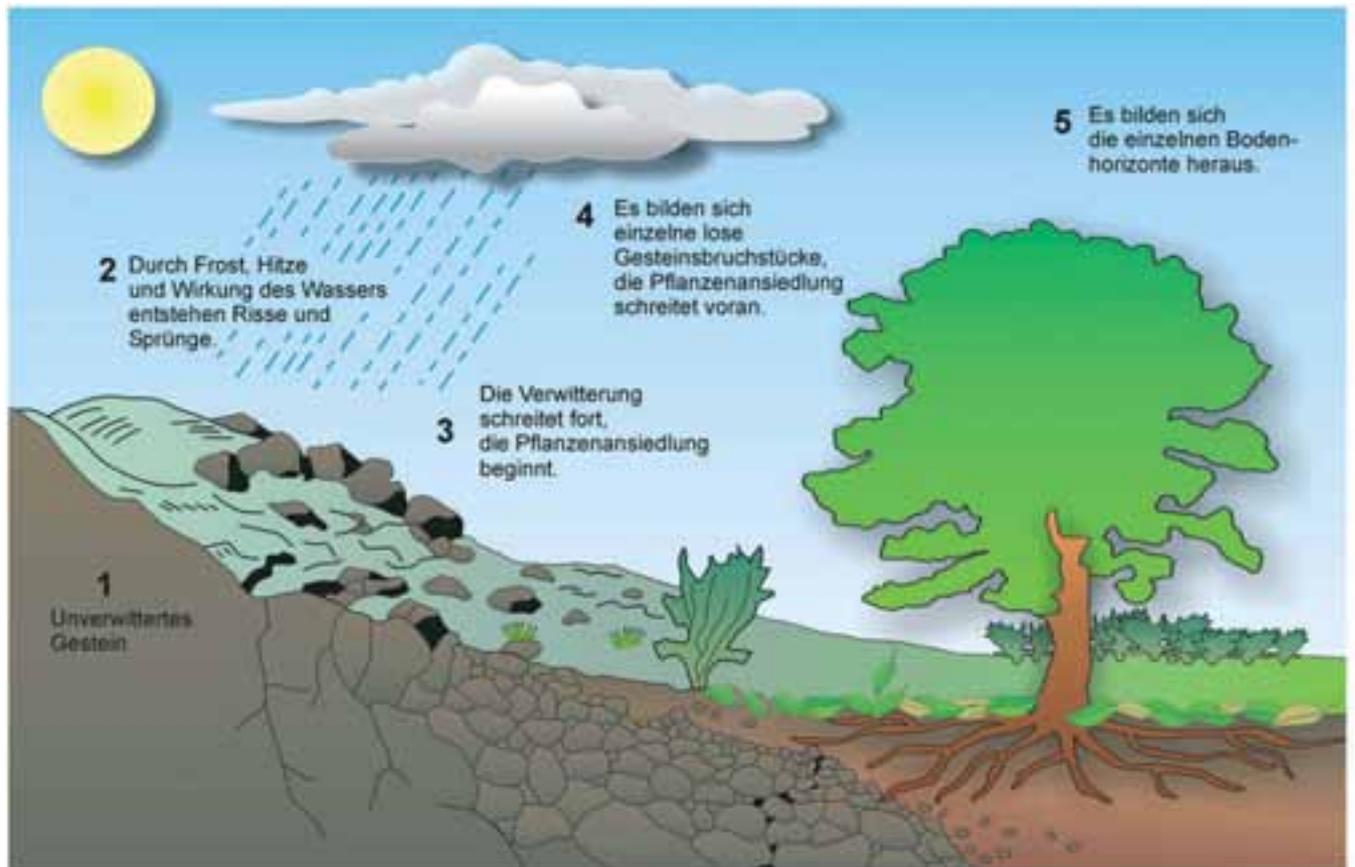
Die Eigenschaften, der Aufbau und die Entwicklung eines Bodens werden durch das Zusammenwirken einer Vielzahl von Faktoren bestimmt, die sich in einem komplexen Wirkungsgefüge wiederum gegenseitig beeinflussen (↗ A14): Das Gestein ist das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Es prägt mit seiner chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie seinem Gefüge und seiner Körnung den Boden. Bei jungen, wenig verwitterten Böden ist der mineralische Bodenkörper dem Ausgangsgestein noch sehr ähnlich. Mit fortschreitender Bodenentwicklung reichern sich die schwer verwitterbaren Minerale an, z. B. Quarz, während die leichter verwitterbaren der Um- und Neubildung unterliegen. Für die bodenbildenden Prozesse, insbesondere für die chemischen und biologischen Vorgänge, sind die Temperatur und die Verfügbarkeit von Wasser wichtige Einflussgrößen. Diese werden entscheidend vom Klima kontrolliert, doch spielen daneben lokale Gegebenheiten wie die Höhenlage oder die Lage eines Hanges zur Himmelsrichtung (Exposition) eine wichtige Rolle (Lokalklima). Die Exposition wird durch das Relief festgelegt, das zusätzlich die Lage zum Grundwasserspiegel sowie die → Bodenerosion durch Wasser und Wind bestimmt. Alle bisher genannten Faktoren sind auch Einflussgrößen auf die Vegetation, die wiederum



den Boden gegen Erosion schützt, den Wasserhaushalt reguliert und zugleich das organische Ausgangsmaterial liefert. Bodentiere sorgen für eine Durchmischung und Durchlüftung des Bodens. Durch unmittelbare Nutzung des Bodens und über den Eintrag von Schadstoffen wirkt der Mensch auf das kom-

plexe Wirkungsgefüge der bodenbildenden Faktoren ein und nimmt damit Einfluss auf die Bodenbildung. Dies ist spätestens seit dem Mittelalter deutlich erkennbar (► Modul E Landwirtschaft) und hat sich mit dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert erheblich verstärkt.

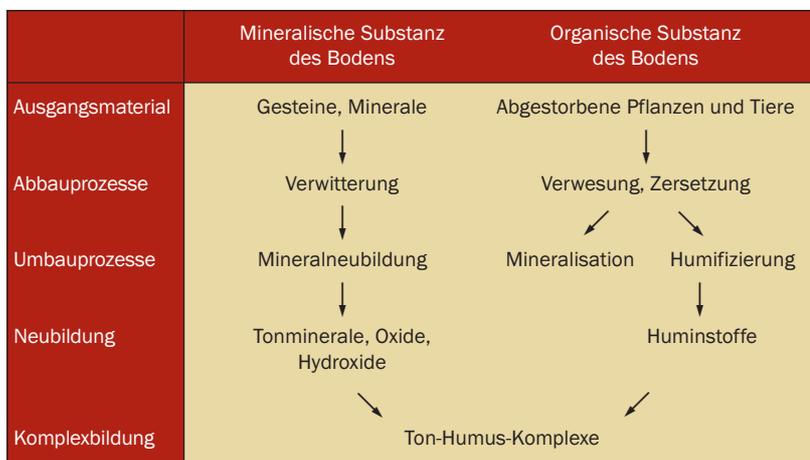
A 15 | Zeit als wichtiger Faktor der Bodenentwicklung.



A16 | Vom unverwitterten Gestein zum Boden.

## 4.2 Verwitterung als erster Schritt zur Bodenbildung

Voraussetzung für die eigentliche Bodenentwicklung ist die Verwitterung der Ausgangsgesteine, wobei man zwischen der physikalischen, chemischen und biochemischen Verwitterung unterscheidet (► Beschreibung einzelner Teilprozesse siehe Schüleraktivitäten AB7 und AB8). Je nach Härte und Mineralzusammensetzung der Ausgangsgesteine verläuft die Verwitterung rascher oder langsamer. So verwittert grobkörniges Gestein (z. B. Granit) oder poröses Gestein (z. B. Sandstein, Tuff) schneller als sehr festes Gestein (z. B. Basalt).



**Tabelle A3** | Teilprozesse des Abbaus und der Neubildung mineralischer und organischer Substanz als Voraussetzung für die Bodenbildung.

Die physikalische → Verwitterung bewirkt die mechanische Zerkleinerung des Ausgangsmaterials durch Druckentlastung, Kristallwachstum in Haarrissen (= Salzspaltung), Frostspaltung, Temperaturverwitterung oder den Wachstumsdruck von Pflanzenwurzeln in Spalten. Bei der chemischen Verwitterung erfolgt die stoffliche Umwandlung des Ausgangsgesteins. Der bedeutendste Wirkstoff (Agenzie) ist dabei das Wasser (↗ Exkurs Das Wassermolekül). Zu den wichtigsten Formen der chemischen Verwitterung gehören die Lösungsverwitterung, die → Hydrolyse, die Wirkung von Säuren und die → Oxidationsverwitterung.

Die Reaktionsstoffe der biochemischen Verwitterung stammen aus dem Stoffwechsel tierischer und pflanzlicher Organismen, insbesondere von Algen, Pilzen, Bakterien, Flechten, Moosen und höheren Pflanzen. Dazu gehören bei der Atmung freigesetztes

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) sowie Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>-Ionen), die von den Wurzeln bei der Nährstoffaufnahme im Austausch gegen Kationen abgegeben werden. Auch Schwefel- und Salpetersäure sowie organische Säuren wie Oxal-, Wein- oder Zitronensäure entstehen durch die mikrobielle Oxidation und wirken auf das Ausgangsgestein ein.

## 4.3 Abbau organischer Substanz im Boden

In Abhängigkeit von Intensität und Dauer der Verwitterung werden die Minerale der Ausgangsgesteine in Abbaustufen mehr oder weniger rasch zerstört. Es entstehen dabei Zerfallsprodukte, aus denen sich wiederum neue sekundäre Minerale bilden können (↗ Tabelle A3). Zu den wichtigsten Mineralneubildungen gehören neben den Oxiden und den Hydroxiden die Tonminerale (↗ Exkurs).

Neben der Stoffumsetzung der mineralischen Bodenbestandteile werden auch die abgestorbenen organischen Substanzen im Boden abgebaut bzw. zersetzt (↗ Tabelle A4). Diese Zersetzung geschieht im Wesentlichen durch die Mikroorganismen (Bakterien und Pilze), aber auch durch kleinere Bodentiere (z. B. Regenwürmer; ► Modul B Bodenleben). Bei der Zersetzung der organischen Substanz unterscheidet man zwischen der → Mineralisation und der → Humifizierung.

Bei der Mineralisation (oft auch als Verwesung bezeichnet) entstehen durch den mikrobiellen Abbau aus der organischen Substanz anorganische Verbindungen wie Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Wasser (H<sub>2</sub>O) oder Ammoniak (NH<sub>3</sub>). Hohe Temperaturen, mittlere



**A 17** | Organische Substanz – wichtiger Bestandteil des Bodens.

<b>Aerobe Umwandlung der Streu des Bodens durch Atmosphärrilien und Bodenorganismen (Streuabbau)</b>
<b>1 Initialphase</b>
Abbau hochpolymerer organischer Verbindungen zu niedermolekularen Stoffen (z. B. Eiweiße zu Aminosäuren)  Auswaschung wasserlöslicher Komponenten (Zucker, Peptide, Aminosäuren)
<b>2 Zerkleinerungsphase</b>
Weiche Streustoffe werden von den größeren Bodenlebewesen zerbissen, gefressen und wieder ausgeschieden  anschließend Einarbeitung in den Boden (z. B. durch Regenwürmer)
<b>3 Ab- und Umbauphase (mikrobielle Verwesung)</b>
Enzymatische Spaltung der organischen Fragmente durch mikrobielle Zersetzung unter Freisetzung von einfachen anorganischen Produkten (z.B. $\text{CO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ ) = Mineralisation  Schwer abbaubare Stoffe (z. B. Cellulose, Lignin) reichern sich an und werden von Spezialisten (z. B. Weißfäulepilzen) zu hochmolekularen Huminstoffen ab- und umgebaut = Humifizierung

Tabelle A4 | Aerober Abbau der Streu.

Feuchtigkeitsverhältnisse und eine gute Durchlüftung, das heißt ein hohes Sauerstoffangebot, begünstigen den Mineralisationsprozess. Die nur schwer zersetzbaren Bestandteile der organischen Auflage werden

durch den Prozess der Humifizierung durch die Mikroorganismen zunächst in reaktionsfähige Spaltprodukte umgewandelt, anschließend entstehen daraus hochmolekulare Verbindungen (→ Huminstoffe).

## 5 Physikalisch-chemische Eigenschaften des Bodens

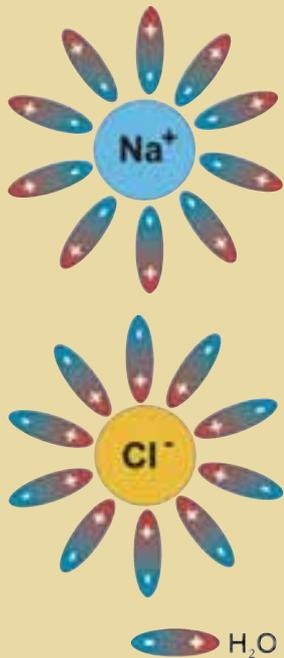
Zwischen den festen, flüssigen und gasförmigen Bestandteilen des Bodens finden vielfältige Reaktionen statt. Art und Ausmaß dieser Reaktionen hängen von den jeweiligen Standort- und Bodeneigenschaften ab und bestimmen das Verhalten vieler Stoffe im Boden. Dadurch werden entscheidend die Verfügbarkeit von Nährstoffen, die Pufferkapazität gegenüber Schadstoffen und die Richtung der Bodenentwicklung geprägt. Zu den besonders wichtigen Eigenschaften des Bodens gehören die → Bodenreaktion (pH-Wert), der Kalkgehalt und die Fähigkeit zum → Ionenaustausch. Bodenreaktion und Verfügbarkeit von Nährstoffen lassen sich oft mit Hilfe von → Zeigerpflanzen abschätzen.

### 5.1 Bodenreaktion und Kalkgehalt des Bodens

Der → pH-Wert (potentia hydrogenii) des Bodens, die → Bodenreaktion, ist ein logarithmisches Maß für die Konzentration an Wasserstoffionen ( $\text{H}^+$ ) in der Bodenlösung (↗ A19). Diese Konzentration ist entscheidend für die Verwitterung der mineralischen Bodenpartikel und für die chemischen, biologischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens (↗ A20). So steigt in sauren Böden, also Böden mit niedrigem pH-Wert, die chemische Verwitterungsrate, wogegen die biologische Aktivität im Boden sinkt. Für die meisten Nutzpflanzen und viele Boden-

## Das Wassermolekül – wichtigstes Agens<sup>1)</sup> im Boden

<sup>1)</sup> Agens [lat.] = treibende Kraft, wirksamer Stoff



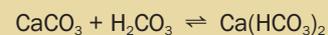
A18 | Das Wassermolekül und sein Dipolcharakter. CD

Wasser (H<sub>2</sub>O) besitzt den Charakter eines Dipols, d. h., im Molekül befinden sich eine positive und eine negative Teilladung. Wassermoleküle können sich daher als so genannte Hydrathülle um positiv oder negativ geladene Ionen legen und diese aus einem Kristallgitter herauslösen. Diesen Vorgang bezeichnet man als Hydratation. Er ist eine wesentliche Voraussetzung für die Lösung von Stoffen in Wasser und damit auch für die → Lösungsverwitterung.

Zu einem geringen Anteil sind die Wassermoleküle in Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>) und Hydroxidionen (OH<sup>-</sup>) aufgespalten (dissoziiert). Indem Wasser entweder das Wasserstoffion oder das Hydroxidion abgibt, reagiert es mit anderen Stoffen entweder als schwache Säure oder schwache Base.

Diese Eigenschaft ist Grundlage der hydrolytischen Verwitterung (→ Hydrolyse), die auch schwerlösliche Minerale, z. B. die Silikate, angreift. Dabei erfolgt ein Austausch der Kationen des Minerals, z. B. Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> gegen das Wasserstoffion des Wassers. Die Hydrolyse wird durch im Bodenwasser gelöste Säuren (insbesondere durch Huminsäuren) verstärkt.

Auch die Verwitterung von Kalkgesteinen (= Verkarstung) ist ein hydrolytischer Prozess. Die Wasserstoffionen-Konzentration im Bodenwasser (pH 4 – 6) wird hier durch die Reaktion von CO<sub>2</sub> mit dem dissoziierten Wasser zur Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) erhöht. Das schwer lösliche Kalkgestein (CaCO<sub>3</sub>) reagiert mit der Kohlensäure zum wasserlöslichen Calciumhydrogencarbonat.

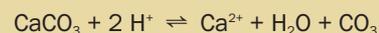


CO <sub>2</sub> -Entwicklung	Kalkgehalt	Kalkgehalt in Masse-%
keine Reaktion	karbonatfrei	0
nur hörbar	sehr karbonatarm	< 0.5

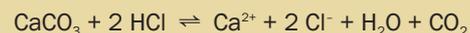
Tabelle A5 | Kriterien zur Abschätzung des Kalkgehaltes im Boden nach Zugabe von 10 %-iger Salzsäure.

## Kalkgehalt im Boden

In kalkhaltigen Böden werden Wasserstoffionen durch die Reaktion mit dem Kalk neutralisiert.



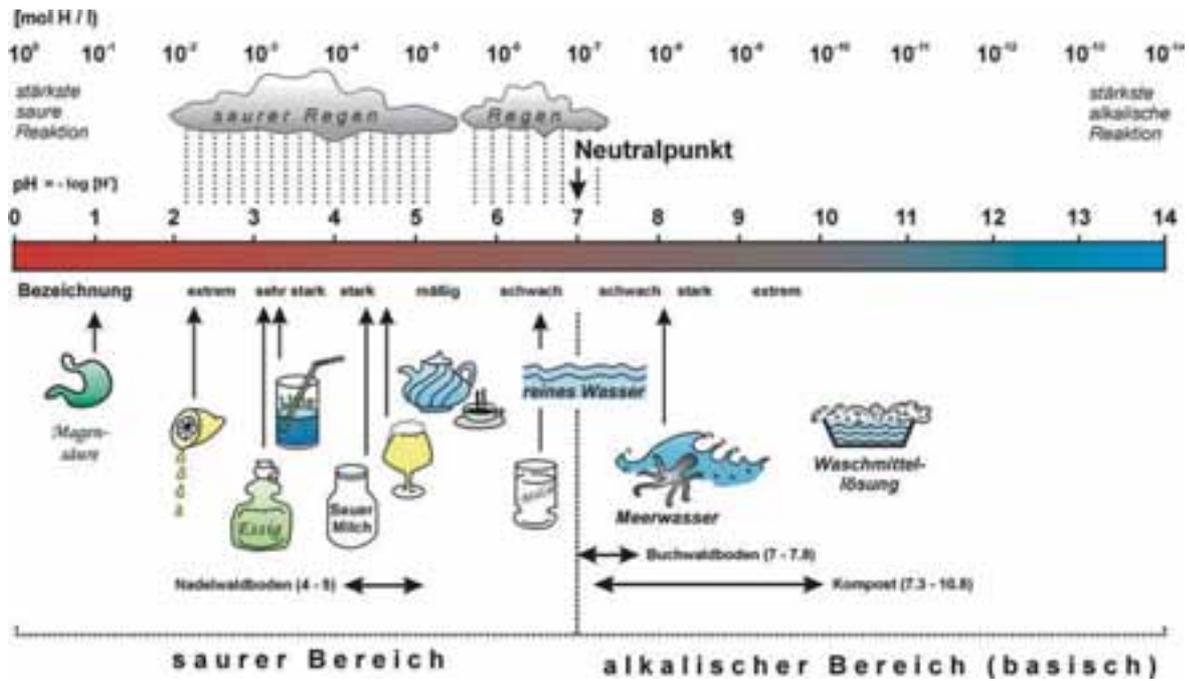
Dieser Kalkgehalt im Boden kann mit Hilfe des Salzsäuretestes nach der optisch und akustisch erkennbaren Reaktion der CO<sub>2</sub>-Entwicklung beurteilt werden:



prozesse liegt die optimale Bodenreaktion im mäßig sauren bis schwach alkalischen Bereich (► Modul E Landwirtschaft).

Besonders in humusreichen Böden bleiben die pH-Werte auch bei Zugabe von Säure re-

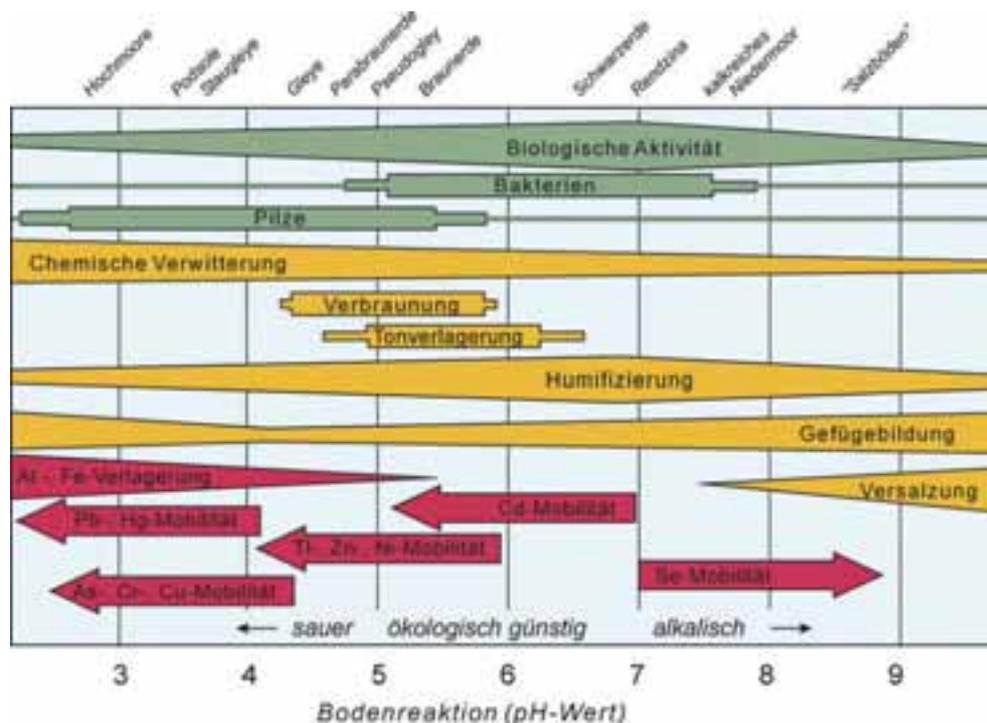
lativ lange stabil (► Schüleraktivität AB9b). Diese Säure-Pufferung liegt daran, dass die Wasserstoffionen an die Oberflächen der Bodenteilchen (besonders der → Kolloide) gebunden werden. Da die Anlagerung nur im Austausch gegen andere positiv geladene



Ionen (Kationen) erfolgt (z. B. Kalium  $K^+$ ), bedingt dies einen Nährstoffverlust im Boden. Die Nährstoffionen werden mit dem Sickerwasser ausgewaschen. Andererseits ist der Austausch reversibel, z. B. durch Zugabe kaliumhaltiger Düngemittel. Die Anlagerung von Wasserstoffionen an die Bodenpartikel mobilisiert nicht nur lebenswichtige Nährstoffe, sondern auch toxische, d. h. giftig wirkende Metallionen ( $\rightarrow$  Beispiel „Aluminiumtoxizität“  $\blacktriangleright$  Modul C Waldboden).

Solange ein Bodenabschnitt Kalk (Calciumkarbonat) enthält, sinkt sein pH-Wert nicht unter den Wert 7. Grund dafür ist die Reaktion des Kalks mit den Wasserstoffionen. Zur Beurteilung der Bodenreaktion sind daher sowohl pH-Wert als auch Kalkgehalt wichtig. Während der pH-Wert mit Lackmus- oder vergleichbaren Teststreifen bestimmt werden kann, erfolgt die Beurteilung des Kalkgehaltes vor Ort durch Zugabe von verdünnter Salzsäure (Salzsäuretest  $\blacktriangleright$  Arbeitshilfe S. 111).

A19 | pH-Wert-Skala.



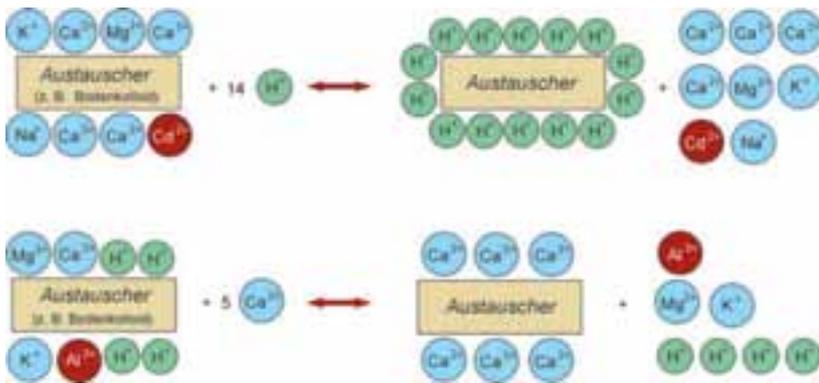
A20 | Abhängigkeit biologischer und bodenbildender Prozesse und der Elementverlagerung von der Bodenreaktion (pH-Wert).

CD | Animation Ionenaustausch.

## 5.2 Ionenaustausch

Nährstoffe liegen im Bodenwasser gelöst, d. h. dissoziiert in Kationen und Anionen vor. Die Kationen (z. B. Kalium  $K^+$ , Calcium  $Ca^{2+}$ ) können an negativ geladene, die Anionen (z. B. Nitrat  $NO_3^-$ ) an positiv geladene Bodenkolloide angelagert bzw. an diesen gespeichert werden. Verfügt der Boden durch Mineraldüngung und Kalkung über ausreichend viele Kationen, besetzen diese alle freien Ladungen der negativ geladenen Bodenkolloide. Als Folge davon stoßen sich die nun neutralen Kolloide nicht mehr gegenseitig ab, sondern flocken aus, ein Vorgang, den man als Koagulation bezeichnet. Die ausgeflockten Kolloide bilden lockere Koagulate, die zur  $\rightarrow$  Krümelstruktur des Bodens und damit wesentlich zur Verbesserung der Bo-

A21 | Das Prinzip des Ionenaustausches. CD



denqualität beitragen (z. B. durch Kalkdüngung von feinkörnigen Tonböden).

Die an die Bodenkolloide angelagerten Ionen können gegen Ionen des Bodenwassers ausgetauscht werden ( $\rightarrow$  A21), was eine große Bedeutung für die Nährstoffversorgung der Pflanzen hat. Andererseits binden insbesondere organische Bodenkolloide Schwermetallionen, die durch die  $\rightarrow$  Bodenversauerung allerdings wieder freigesetzt werden ( $\blacktriangleright$  Schüleraktivität F3;  $\blacktriangleright$  Modul F Schadstoffe). Ein Maß für die Menge an Ionen, die ein Boden oder Ton austauschen kann, ist die so genannte  $\rightarrow$  Austauschkapazität ( $\blacktriangleright$  Animation auf CD).

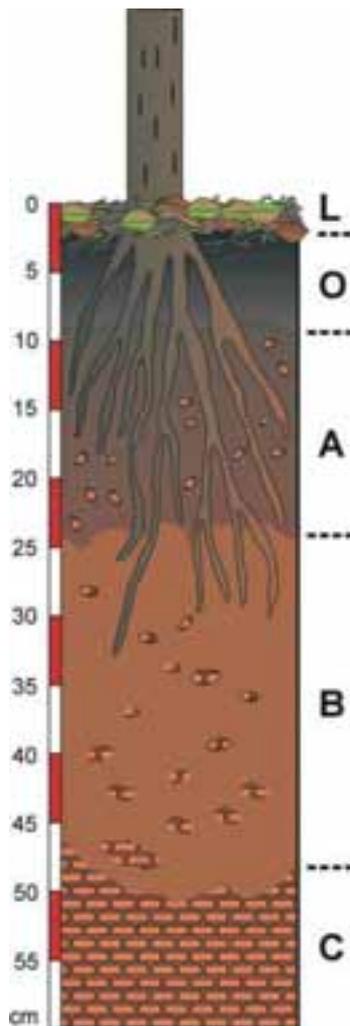
Die Ionenaustauschvorgänge an den Bodenkolloiden sind auch verantwortlich für die oben genannte Pufferwirkung des Bodens ( $\blacktriangleright$  Schüleraktivität F1;  $\blacktriangleright$  Modul F Schadstoffe). Das Puffervermögen ( $\rightarrow$  Pufferkapazität) eines Bodens ist um so höher, je größer der Anteil austauschbarer Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen an den Bodenkolloiden ist. Da diese Kationen bzw. ihr Austausch eine basische Wirkung haben, werden sie gewöhnlich auch als austauschbare Basen bezeichnet, obwohl sie selbst keine Basen sind. Ein Maß für den Anteil basisch wirkender Kationen ist die so genannte  $\rightarrow$  Basensättigung. In diesem Zusammenhang wird auch häufig von der Basenausstattung eines Bodens gesprochen.

## 6 Bodenaufbau und Bodentypen ( $\blacktriangleright$ Klapptafeln)

Unter dem Einfluss der bodenbildenden Faktoren findet im Boden neben der fortwährenden Verwitterung eine vorwiegend abwärts gerichtete Verlagerung von Substanzen, insbesondere von Ton, Eisen, Kalk und Humus statt. Durch diesen Prozess, an dem mineralische, organische und chemische Stoffumwandlungen beteiligt sind, kommt es zur Ausprägung annähernd oberflächenparalleler Lagen mit jeweils gleichen Merkmalen und Eigenschaften (Farbe, Festigkeit, pH-Wert, Eisen- und Kalkgehalt, Körnigkeit, Skelettgehalt). Wie bei der Verwitterung spielt für die Stoffumsetzung und die Stoffverlagerung die Verfügbarkeit und Verteilung des

Wassers eine große Rolle. Zu den wichtigsten bodenbildenden Prozessen gehören in Mitteleuropa die Tonverlagerung (= Lessivierung), die Verbraunung und Verlehmung, die Podsolierung, die Vergleyung, die Pseudovergleyung und die Bodendurchmischung ( $\rightarrow$  Exkurs Prozesse der Bodenentwicklung). Alle Vorgänge laufen mehr oder weniger gleichzeitig ab, wobei in Abhängigkeit von den Standortbedingungen und dem Entwicklungsstadium des Bodens der eine oder der andere Prozess dominieren kann.

Die durch die Bodenentwicklung entstandenen und meist gut voneinander abgrenzba-



**Streuschicht**, weitgehend unzersetztes organisches Ausgangsmaterial (auf Waldböden v. a. Blattwerk und Nadeln).

**Organischer Horizont**, dem Mineralboden aufliegend; in die Tiefe zunehmende Zerstörung der Struktur der organischen Substanz (Humusbildung).

Oberer mineralischer, mit organischer Substanz vermischter Horizont (= **Oberboden**). Aus dem O-Horizont wird Humus über das Sickerwasser und die Bodenorganismen eingetragen. Aus dem A-Horizont werden Stoffe durch verschiedene Prozesse in den tieferen B-Horizont abgeführt (z. B. Ton- und Eisenverlagerung).

Mineralischer Horizont, durch Ver-/Umlagerungen mit Ton, freiem Eisen (Fe), Aluminium (Al) und/oder organischer Substanz angereichert (= **Unterboden**). Eintrag von Substanzen aus dem A-Horizont. Je nach den verlagernden Prozessen entstehen unterschiedlich geprägte B-Horizonte und damit unterschiedliche Bodentypen (z. B. Toneinlagerung, Verlehmung → Parabraunerde, Eisen und Humusstoffe → Podsol).

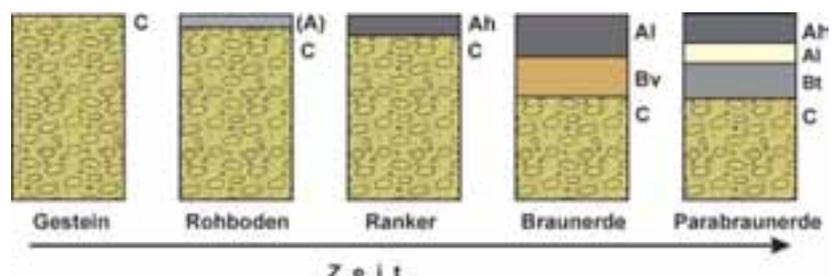
**Ausgangsgestein**, chemisch und physikalisch teilweise bereits verwittert, Gesteinsstruktur vollständig erhalten.

A22 | Die wichtigsten Merkmale des Bodenaufbaus im Überblick.

ren Lagen oder Schichten bezeichnet man als → Bodenhorizonte. Generell wird zwischen der organischen Auflage (Humusaufgabe, L- und O-Horizonte), dem mit organischer Substanz angereicherten Oberboden (A-Horizont), dem Unterboden (B-Horizont) und dem Ausgangsgestein (C-Horizont) unterschieden (↗ A22). Die Bodenhorizonte werden mit lateinischen Großbuchstaben gekennzeichnet (↗ Tabelle A6). Nachgestellte Kleinbuchstaben geben die besonderen Merkmale und Eigenschaften des Horizontes wieder, z. B. Ah für den humosen Oberboden oder Bv für den verbräunten Unterboden. Die Art, Anzahl und Anordnung der einzelnen Bodenhorizonte kennzeichnen die Zugehörigkeit eines Bodens zu einem bestimmten → Bodentyp. Je länger und ungestörter die Bodenentwicklung voranschreitet, desto weiter ist ein Boden entwickelt und desto ausgeprägter sind seine bodentypischen Merkmale.

Während seiner Entwicklung durchläuft ein Boden meist unterschiedliche Bodentypstadien (↗ A23). Durch Veränderung der Rahmenbedingungen der Bodenbildung (z. B. durch Absenkung des pH-Wertes durch den → sauren Regen oder durch die Veränderung der Vegetation) kann sich die Richtung der Bodenentwicklung allerdings auch ändern. In den vergangenen 10.000 Jahren sind daher meist sehr komplexe Böden entstanden.

A23 | Mögliche Abfolge von Bodentypstadien vom unverwitterten Gestein zur Parabraunerde.



## Prozesse der Bodenentwicklung in den wichtigsten Böden Bayerns



A24 | Oben: Parabraunerde  
Mitte: Braunerde  
Unten: Podsol CD

**Tonverlagerung (Lessivierung):** Durch das Sickerwasser werden bevorzugt Feinton-Partikel ( $< 0.2 \mu\text{m}$ ) kolloidal (d. h., die Tonpartikel schweben im festen Zustand fein verteilt im Wasser) aus den oberen Bodenschichten herausgelöst und wandern in die Tiefe. Dort lagern sie sich bei verändertem chemischem Milieu (z. B. bei steigendem Gehalt an Calciumionen  $\text{Ca}^{2+}$ ) und Abnahme der Porengröße wieder ab („chemisches und mechanisches Sieb“). Der Oberboden verarmt damit an Tonmineralen und nimmt dadurch eine fahlgraue Farbe an, während der Unterboden einen rötlich-bräunlichen Tonerreichungshorizont erhält. Die Tonverlagerung findet bevorzugt in Böden mit einer schwach sauren Bodenreaktion statt (pH-Bereich: 5 – 6.5). Typischer Bodentyp: *Parabraunerde* (► Animation auf CD).

**Verbraunung:** Viele Mineralien enthalten zweiwertige Eisenverbindungen. Bei der chemischen Verwitterung dieser wird das Eisen freigesetzt und zu Eisenhydroxiden oxidiert, die den Boden braun färben. Typischer Bodentyp: *Braunerde* (► Animation auf CD).

**Verlehmung:** Durch die Neubildung von Tonmineralen nimmt der Tonanteil im Boden zu. Für die Böden unserer Region sind → Dreischicht-Tonminerale typisch. Die Verlehmung geht mit der Verbraunung einher. Typischer Bodentyp: *Braunerde*.

**Podsolierung:** Bei stark saurer Bodenreaktion ( $\text{pH} < 4.2$ ) und einem Wasserüberschuss findet eine abwärts gerichtete Verlagerung gelöster organischer Substanz zusammen mit Aluminium, Eisen und Mangan statt. Die saure Bodenreaktion und meist niedrige Luft- und Bodentemperaturen behindern durch ihre Wirkung auf die Bodenorganismen den mikrobiellen Abbau der organischen Substanz. Unvollständig abgebaute organische Verbindungen (u. a. Huminsäuren) bilden zusammen mit Aluminium und Eisen lösliche metallorganische Komplexe, die aus dem Oberboden ausgewaschen und im Unterboden durch die Änderung des chemischen Milieus wieder ausgefällt werden. Der an Aluminium, Eisen, Mangan und Humus verarmte Oberboden wird gebleicht, wogegen die Anreicherungs-

zone im Unterboden dunkel oder rot gefärbt wird. Das in Form der Ortserde im Unterboden angereicherte Eisen kann zu festem Ortstein altern, welcher im Mittelalter zur Eisengewinnung abgebaut wurde. Typischer Bodentyp: *Podsol* (► Animation auf CD).

**Vergleyung:** Im vom Grundwasser beeinflussten Boden führt Sauerstoffmangel in Horizonten mit stehendem oder schwach fließendem Wasser zur Lösung von Eisen- und Manganverbindungen durch Reduktion. Dieser Bereich ist gräulich, grünlich oder bläulich gefärbt. Mit dem kapillar aufsteigenden Grundwasser werden die wasserlöslichen Stoffe in höhere Bodenabschnitte verlagert und fallen dort bei Zutreten dem Sauerstoff als wasserunlösliche Stoffe aus. Typisch in diesen Horizonten sind Rostflecken durch Ausfällung rotbrauner Eisenoxide und Eisenhydroxide auf den Aggregatoberflächen. Typischer Bodentyp: *Gley* (► Animation auf CD).

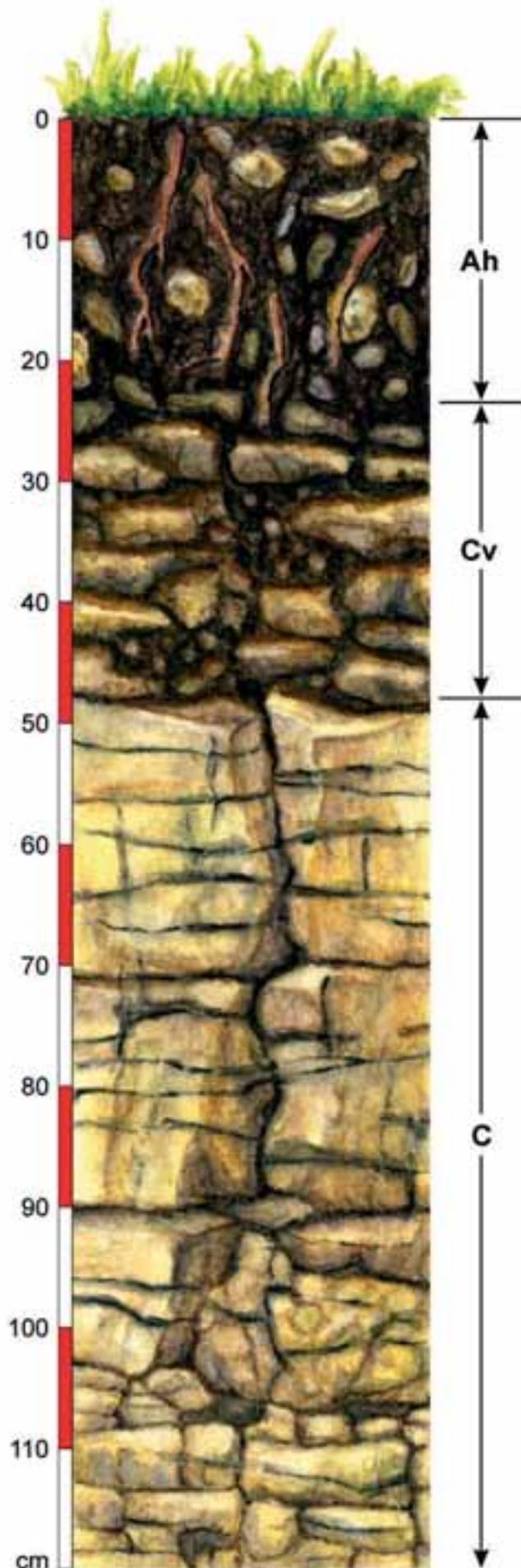
**Pseudovergleyung:** In Böden mit schwer wasserdurchlässigen Horizonten tritt zeitweilig Staunässe auf (z. B. über der Pflugsohle; ► Modul E Landwirtschaft). Die mit dem Sickerwasser vertikal und mit dem Stauwasser langsam horizontal verlagerten wasserlöslichen Humus-, Eisen- und Manganverbindungen fallen im Kontakt mit eingeschlossenem Sauerstoff bzw. nach Abtrocknen der Staunässe als wasserunlösliche Oxide und Hydroxide aus (Rostflecken, braunrote Marmorierungen). Die Oxidationsmerkmale sind im Gegensatz zur Vergleyung unregelmäßig im Boden verteilt und treten häufig im Inneren von Bodenaggregaten auf. Typischer Bodentyp: *Pseudogley*.

**Bodendurchmischung (Turbation):** Durch Mischungsprozesse, ausgelöst durch Bodentiere (Bioturbation), Quellung und Schrumpfung (Peloturbation) sowie durch Gefrier- und Auftauvorgänge (Kryoturbation) kann das Bodenmaterial eines oder verschiedener Bodenhorizonte vermischt werden. Dabei können sich die Grenzen der Horizonte verwischen. Auch der Mensch trägt auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durch das Pflügen dazu bei. Typischer Bodentyp: *Schwarzerde* (in Bayern sehr selten).

<b>O</b>	<b>Organischer Horizont</b>
L	Auflagestreue (engl.: litter), unzersetztes organisches Material (Laub- bzw. Nadelstreue)
Of	(f = „fermentation layer“): grob zersetzte, geschwärzte Streureste
Oh	(h = humos): Auflage von stark zersetzter organischer Substanz
<b>A</b>	<b>Mineralischer Oberboden</b>
Ah	humushaltig
Ae	Eluvialhorizont, gebleicht („podsoliert“). An Fe-Verbindungen verarmt, meist Einzelkorngefüge, stark sauer
Al	Lessivierungshorizont, Tonminerale ausgewaschen oder Horizont an diesen verarmt
Ap	durch Pflügen veränderter A-Horizont
<b>B</b>	<b>Mineralischer Unterboden außerhalb des Grundwasserbereichs</b>
Bv	verbraunt durch Umkrustung der Mineralteilchen mit Eisen-(III)-hydroxid; verlehmt, entkalkt
Bt	Tonanreicherung durch Einwaschung, oft Wandbeläge bildend
Bh	Humusanreicherung durch Einwaschung
Bs	mit Aluminium- und Eisenverbindungen (Sesquioxiden) angereichert; rötlich-braun
P	Tonanteil im mineralischen Unterboden > 45 % (von <i>Pelos</i> , griech., Ton)
<b>C</b>	<b>Mineralisches Ausgangsgestein außerhalb des Grundwasserbereichs</b>
Cv	verwitterter oberer Abschnitt des C-Horizontes mit erhaltenen Strukturen des Ausgangsgesteins
<b>G</b>	<b>Mineralbodenhorizonte mit Grundwassereinfluss</b>
Go	(G = Gley), oxidiertes Teil des G-Horizontes, rostbraune Eiseneinlagerungen, oft entlang von Wurzelbahnen; fleckig
Gr	reduzierter Teil des G-Horizontes, blaugraue bis grünliche Farben; Eisenverbindungen im O <sub>2</sub> -armen Grundwassermilieu reduziert
<b>S</b>	<b>Mineralbodenhorizonte mit Stauwassereinfluss</b>
Sw	Stauwasserhorizont
Sd	wasserstauer, dichter Horizont; rostfleckig, marmoriert

Tabelle A6 | Bezeichnung der wichtigsten Bodenhorizonte.

A25 | Oben: Gley  
Mitte: Pseudogley  
Unten: Schwarzerde CD



## Rendzina

Profilfolge:

Ah – C

Entstehung:

Durch physikalische und insbesondere chemische Verwitterung des Ausgangsgesteins (Kalklösung); Ton als Lösungsrückstand.

Kennzeichen der Horizonte:

Humusreicher, krümeliger Ah-Horizont mit starker Bioturbation.

Ausgangsgesteine:

Lockere oder feste Kalk- und Dolomitgesteine, Gips- oder Anhydridgesteine.

Verbreitung in Bayern:

Häufig auf karbonathaltigen Gesteinen des Paläozoikums, des Mesozoikums und des Tertiärs. In Bayern trifft dies vor allem für den Muschelkalk in Unterfranken, die Hochflächen der Fränkischen Alb und das Kalkalpin zwischen Pfronten und Berchtesgaden zu.

Name:

Polnischer Bauernname, der das „Rauschen“ der vielen Steine am Streichblech des Pfluges kennzeichnen soll.

Bodeneigenschaften:

Großes Porenvolumen mit günstigem Lufthaushalt und hoher Austauschkapazität; meist sehr flachgründig.

Nutzung:

Oft als Trockenrasen oder für Weide- und Forstwirtschaft; für eine landwirtschaftliche Nutzung meist zu flachgründig und zu trocken.

## Pelosol

Profilfolge:

L – O – Ah – P – C

Entstehung:

Aus tonreichen Gesteinen durch Auflösung des Schichtgefüges des Ausgangsgesteins.

Kennzeichen der Horizonte:

Einem meist humosen, feinkörnigen A-Horizont folgt ein sehr tonreicher P-Horizont (Tonanteil > 45 %).

Ausgangsgesteine:

Mesozoische Tone und Tonmergel.

Verbreitung in Bayern:

Vorwiegend im Albvorland auf Tonen des Lias und (Gips-)Keupers.

Name:

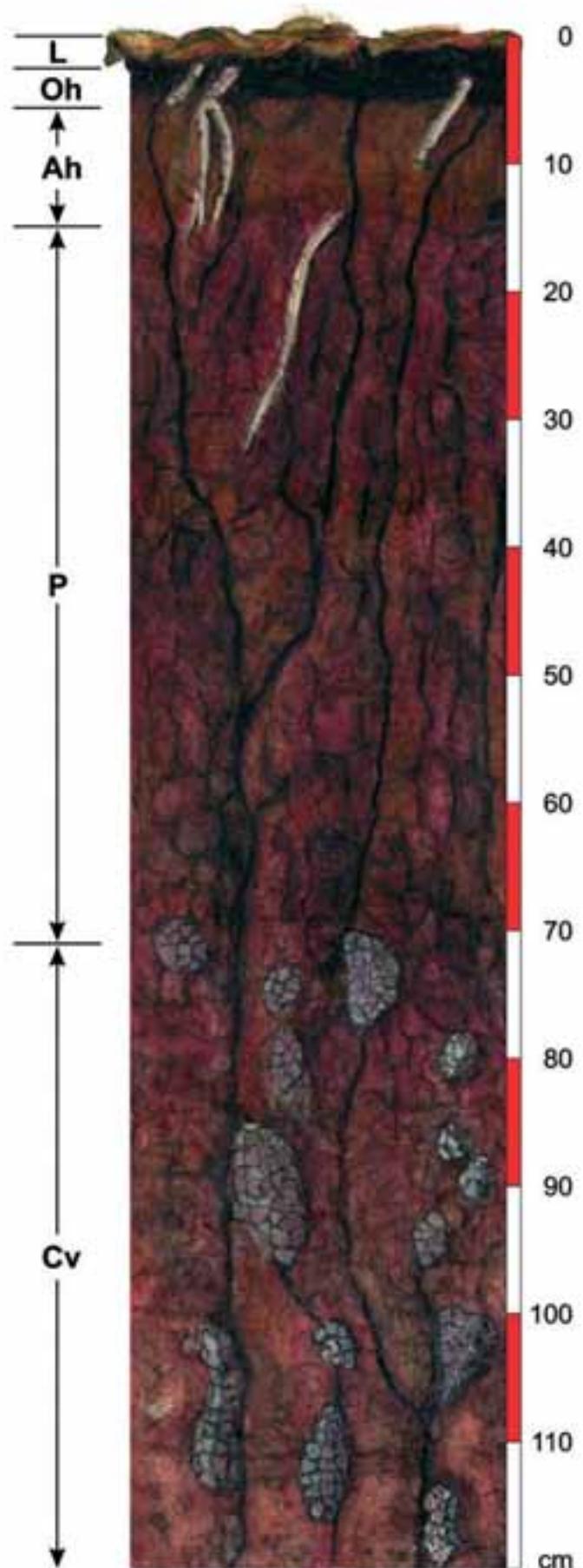
Pelosol leitet sich aus dem griechischen Pelos (= Ton) ab, daher Horizontsymbol P.

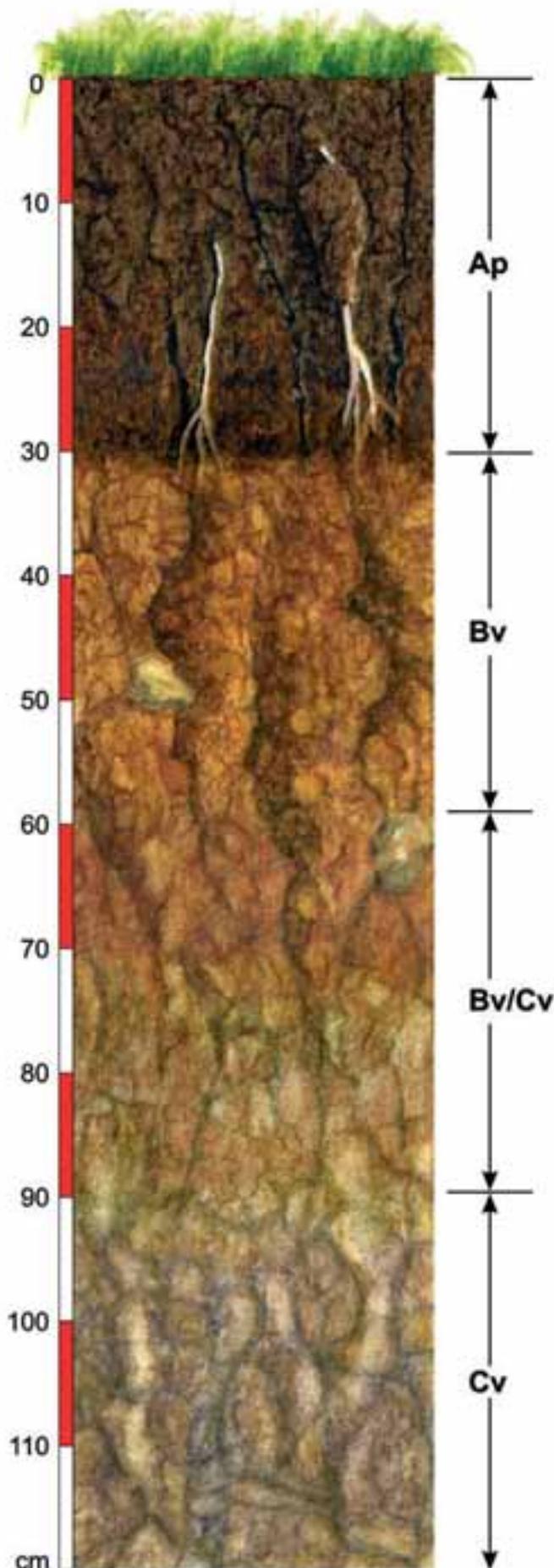
Bodeneigenschaften:

In der Regel sehr nährstoffreiche Böden. Aufgrund des hohen Tongehaltes kommt es zu ausgeprägten Quellungs- ( $O_2$ -Mangel) und Schrumpfungsprozessen (Wassermangel). Typisch sind bis mehr als 1 m tiefe Trockenrisse im Sommer.

Nutzung:

Pelosole werden trotz ihres guten Nährstoffangebotes aufgrund der schlechten Durchwurzelbarkeit oft nur als Grünland oder Wald genutzt.





## Braunerde

Profilfolge:

Ah\* – Bv – C

Entstehung:

Aus → Ranker durch fortschreitende Bodenentwicklung (Verbraunung, Verlehmung).

Kennzeichen der Horizonte:

Ah-Horizont meist nur mit geringer Mächtigkeit (meist ca. 20 cm); Bv-Horizont 20 – 150 cm mächtig. Anreicherung von Eisenverbindungen (v. a. Hydroxide) und Ton.

Ausgangsgesteine:

Saure kristalline Gesteine, Sandsteine, eiszeitliche Lösslehme, Moränenmaterial.

Verbreitung in Bayern:

Die Braunerde ist der in Mitteleuropa am häufigsten vorkommende Bodentyp. In Bayern ist sie flächenhaft überall zu finden. Vorzugsweise tritt sie auf sandigen Standorten und in Gebieten mit Lössbeimengungen in den oberen Bodenhorizonten auf.

Name:

Von der charakteristischen Farbe des B-Horizontes.

Bodeneigenschaften:

Nährstoffgehalt sehr unterschiedlich und abhängig von der Bodenart, dem Ausgangsgestein und der Vegetation; hoher Nährstoffgehalt auf kalkhaltigen Ausgangsgesteinen.

Nutzung:

Landwirtschaft; auf sehr sauren Ausgangsgesteinen vorwiegend Forstwirtschaft, da bei landwirtschaftlicher Nutzung trotz Düngung und Kalkung nur geringe Erträge möglich sind.

\* | Im dargestellten Profil aufgrund landwirtschaftlicher Bearbeitung als Ap ausgebildet.

## Parabraunerde (auch Lessivé, Fahlerde)

Profilfolge:

Ah\* – Al – Bt – C

Entstehung:

Aus Braunerden durch Tonverlagerung (→ Lessivierung) aus dem Ah- in den Bt-Horizont; gleichzeitige Verlagerung von Eisen und Huminstoffen. Voraussetzung ist die Entkalkung des Oberbodens, wodurch der pH-Wert abfällt und Ton verlagert wird. Das im Unterboden vorhandene Karbonat ist dort für einen höheren pH-Wert und das Wiederausfällen des Tons verantwortlich.

Kennzeichen der Horizonte:

Infolge der Tonverarmung fahler Al-Horizont; Tonanreicherung im Bt-Horizont mit Tonhäuten und Tongefüge.

Ausgangsgesteine:

Karbonathaltige Silikatgesteine wie Löss oder Geschiebemergel.

Verbreitung in Bayern:

Mit die am weitesten verbreiteten Böden der humiden Klimagebiete. In Bayern kommen sie vor allem in den Gäugegenden (mächtige Lössanwehungen) bei Würzburg und Straubing vor.

Name:

Durch nahe ökologische Verwandtschaft mit nährstoffreichen Braunerden.

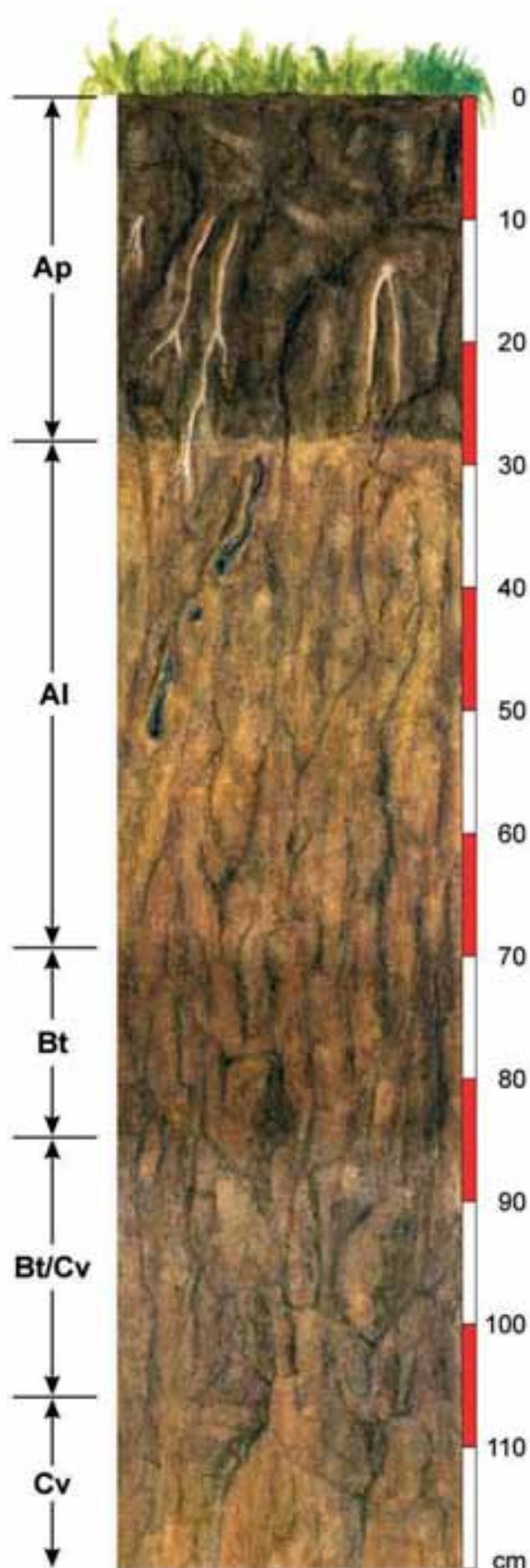
Bodeneigenschaften:

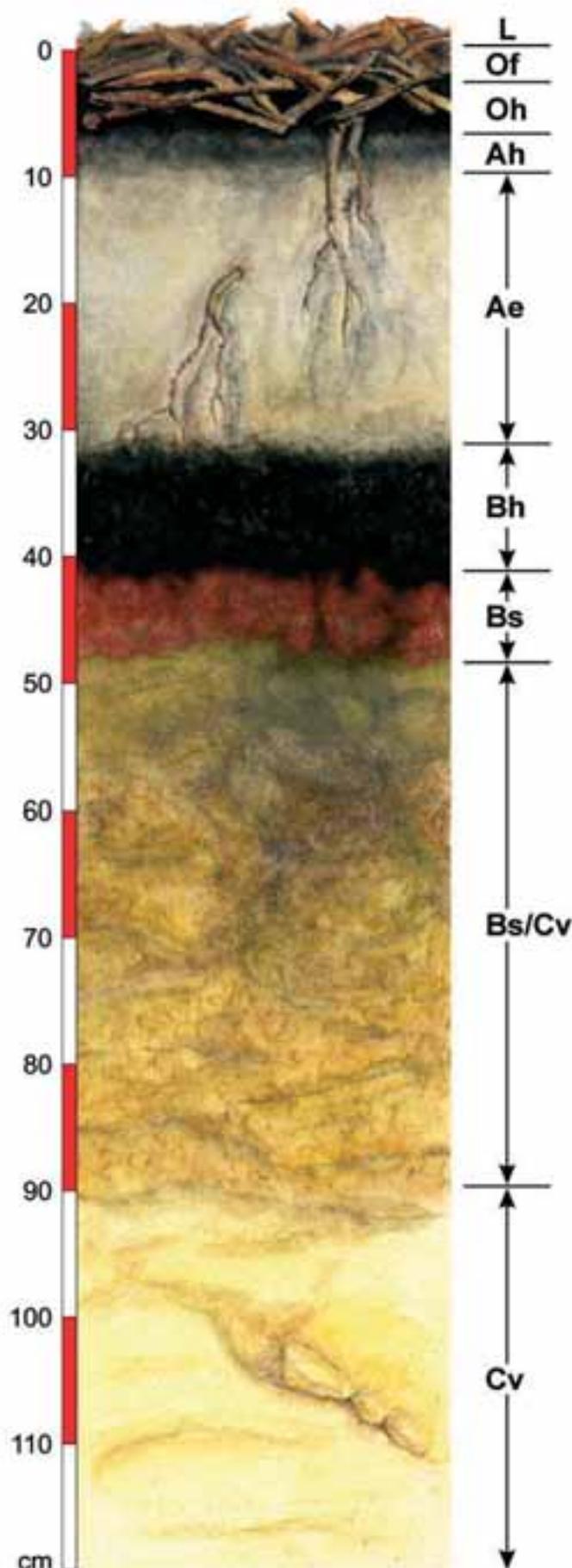
Häufige Staunässe durch Tonanreicherung im Bt-Horizont; hohe Erosionsanfälligkeit bei stärkerer Hangneigung und Löss als Ausgangsmaterial.

Nutzung:

Fruchtbare Ackerböden mit hohen Nährstoffvorräten, günstigem Wasserhaushalt und guter Sauerstoffversorgung.

\* | Im dargestellten Profil aufgrund landwirtschaftlicher Bearbeitung als Ap ausgebildet.





## Podsol

Profilfolge:

L – O – Ah – Ae – Bh – Bs – C(v)

Entstehung:

Aus Braunerden und Parabraunerden bei hohen Niederschlägen, saurem, wasserundurchlässigem Gestein und nährstoffarmen Vegetationsrückständen.

Kennzeichen der Horizonte:

Rohhumus als typische Humusform; geringmächtiger Ah-Horizont; aschgrauer Ae-Horizont durch Auswaschung von organischer Substanz sowie von Eisen (Fe), Aluminium (Al) und Mangan (Mn); brauner bis rostbrauner, z. T. verfestigter B-Horizont infolge Ausfällung der aus dem A-Horizont ausgewaschenen Stoffe.

Ausgangsgesteine:

Sandsteine, Granite.

Verbreitung in Bayern:

Vorherrschend in kalthumiden Klimazonen und der nördlichen Nadelwaldzone. Die am schönsten ausgeprägten Podsole Bayerns sind in den Flugsanden bei Neumarkt/Opf. zu finden. Ansonsten kommen sie auch in nährstoffarmen Sandgebieten des Raumes Bamberg-Nürnberg und im ostbayerischen Grundgebirge vor. In Südbayern sind Podsole nur sehr selten zu finden.

Name:

Russisch für aschefarbiger Boden.

Bodeneigenschaften:

Stark saurer, nährstoffarmer Boden; häufiges Auftreten von Ortstein oder Orterde durch Verfestigung des B-Horizonts.

Nutzung:

Vorwiegend Forstwirtschaft; relativ ungünstige Böden durch geringe Wasserspeicherleistung und niedrige Nährstoffausstattung.

## Schwarzerde (auch Tschernosem)

Profilfolge:

Ah\* - C

Entstehung:

Aus → Pararendzinen unter dem Einfluss eines kontinentalen, semiariden bis semihumiden Klimas, einer grasreichen Vegetation und starker Bioturbation.

Kennzeichen der Horizonte:

Ah-Horizont bis zu 80 cm mächtig, mit hohem Ton- und Humusgehalt; im Ah-Horizont häufig Grabgänge von Bodentieren (→ Krotowinen).

Ausgangsgesteine:

Mineral- und kalkreicher Löss.

Verbreitung:

In Deutschland im Raum Erfurt-Halle-Magdeburg (Magdeburger Börde); in den Waldsteppen Russlands und des Balkans. Auf bayerischem Gebiet treten lediglich schwarzerde-ähnliche Böden auf. Vereinzelt sind sie in den Lössgebieten des Nördlinger Rieses und in Südbayern anzutreffen.

Name:

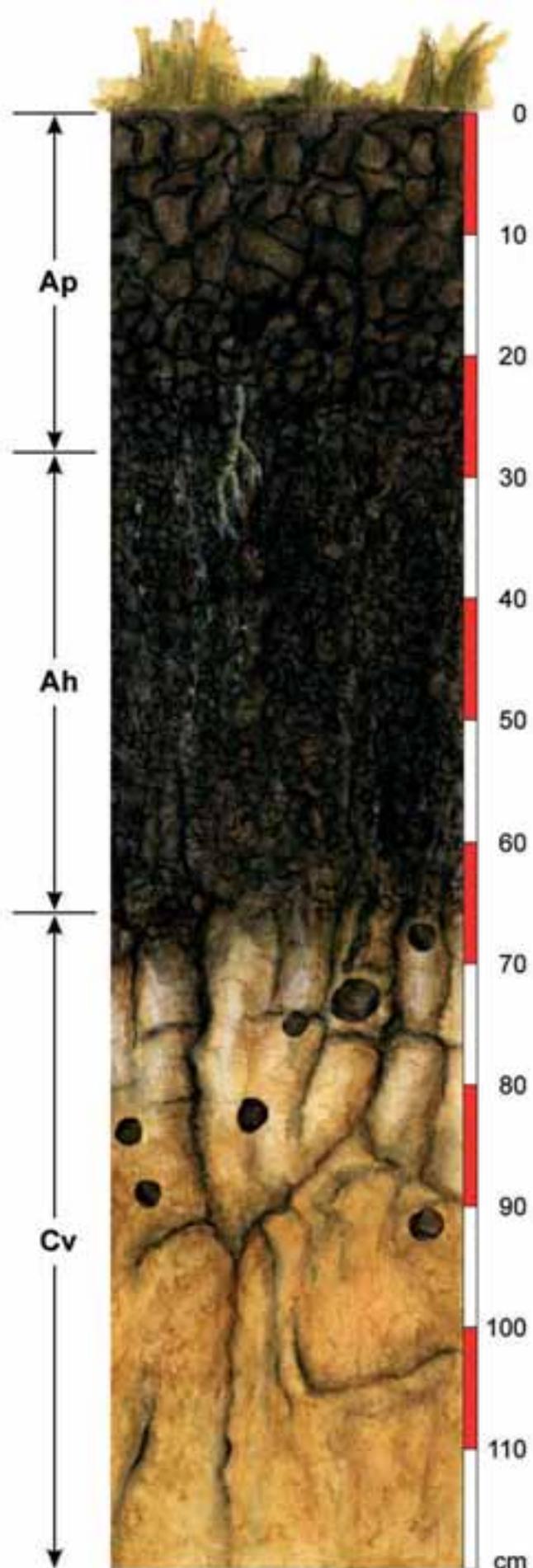
Tschernosem ist der russische Name für Schwarzerde.

Bodeneigenschaften:

Sehr günstiger pH-Wert mit hoher Nährstoffverfügbarkeit; sehr guter Luft- und Wasserhaushalt durch großes Porenvolumen.

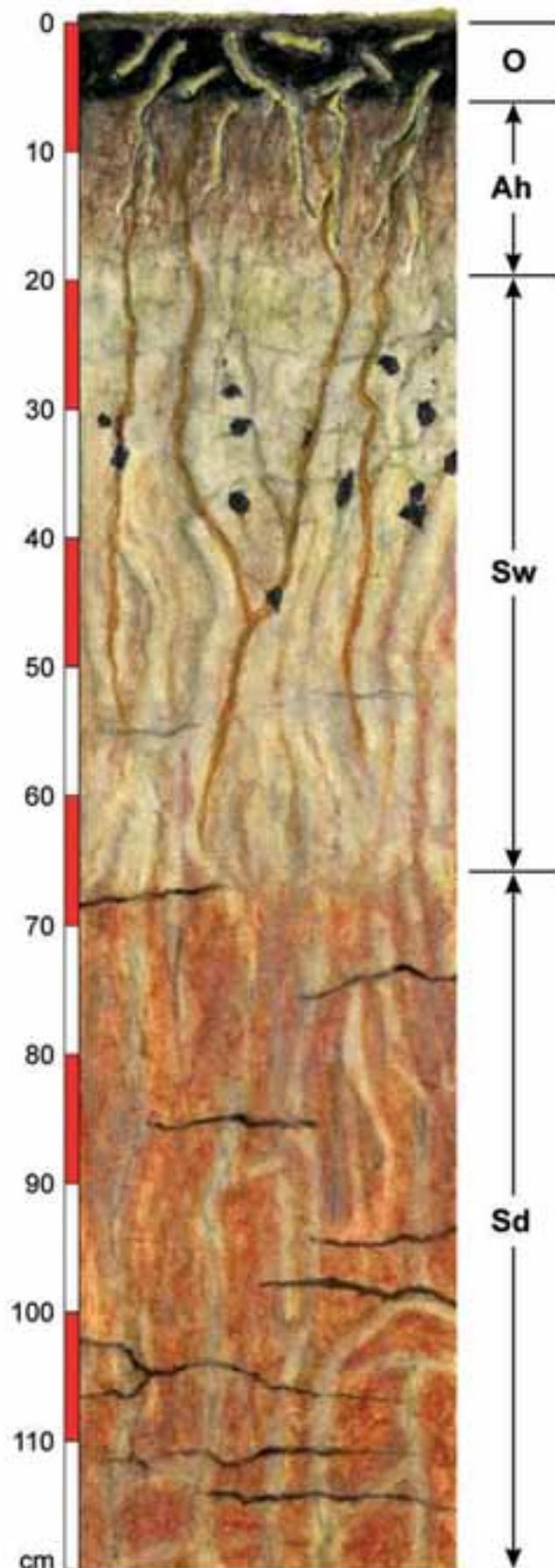
Nutzung:

Landwirtschaft; durch viele positive Eigenschaften die fruchtbarsten Böden der Außer-tropen.



\* | Im dargestellten Profil aufgrund landwirtschaftlicher Bearbeitung als Ap ausgebildet.

## Pseudogley (Stauwasserboden)



Profilfolge:

O – Ah – Sw – Sd

Entstehung:

Primäre Pseudogleye entstehen aus tonreichen Gesteinen mit geringer Wasserleitfähigkeit und können geschichtet sein (z. B. Flugsand oder Lösslehm über Ton). Sekundäre Pseudogleye entwickeln sich häufig aus Parabraunerden (Bt-Horizont wirkt als Wasserstauer).

Kennzeichen der Horizonte:

Durch den sprunghaften Wechsel der Wasserleitfähigkeit im Boden kommt es an tonreichen Horizonten (Sd) zum Wasserstau. Im darüber liegenden tonärmeren Horizont (Sw) führt dies zur Ausbildung von mit Eisen angereicherten und verarmten Zonen.

Ausgangsgesteine:

Aus geschichteten Substraten wie Löss über Ton oder (Flug-) Sand über Ton (primäre Pseudogleye); durch Weiterentwicklung aus Parabraunerden (sekundärer Pseudogley).

Verbreitung in Bayern:

In Ton-, Löss- und Geschiebemergellandschaften mit Niederschlägen > 700 mm/Jahr.

Name:

Der Name Pseudogley wurde gewählt, weil dieser Boden in einer Reihe von Eigenschaften dem → Gley ähnlich ist.

Bodeneigenschaften:

Staunasser Boden, typisch für Standorte mit Wechselfeuchte, d. h. saisonaler Trockenheit bzw. Vernässung (temporär luftarm); Ausbildung von Trockenrissen im Sommer.

Nutzung:

Vielfach gute Wald- und Wiesenstandorte; wegen saisonaler Vernässung v. a. im Frühjahr (O<sub>2</sub>-Mangel) nicht befahrbar; als Ackerstandorte sehr oft nur bedingt geeignet.

## Vega (Brauner Auenboden)

Profilfolge:

aAh – aM – aG \*

Entstehung:

Aus jungen Auenböden durch tiefgreifende Verwitterung vor Ort.

Kennzeichen der Horizonte:

aM-Horizonte entstanden aus umgelagertem Bodenmaterial; aG-Horizont unterliegt dem Einfluss des Grundwassers (vgl. Merkmale des Gleyes).

Ausgangsgesteine:

Sedimente in den Flussauen und Bächen mit z. T. periodischer Überflutung und stark schwankendem Grundwasser.

Verbreitung in Bayern:

In den Flussauen.

Name:

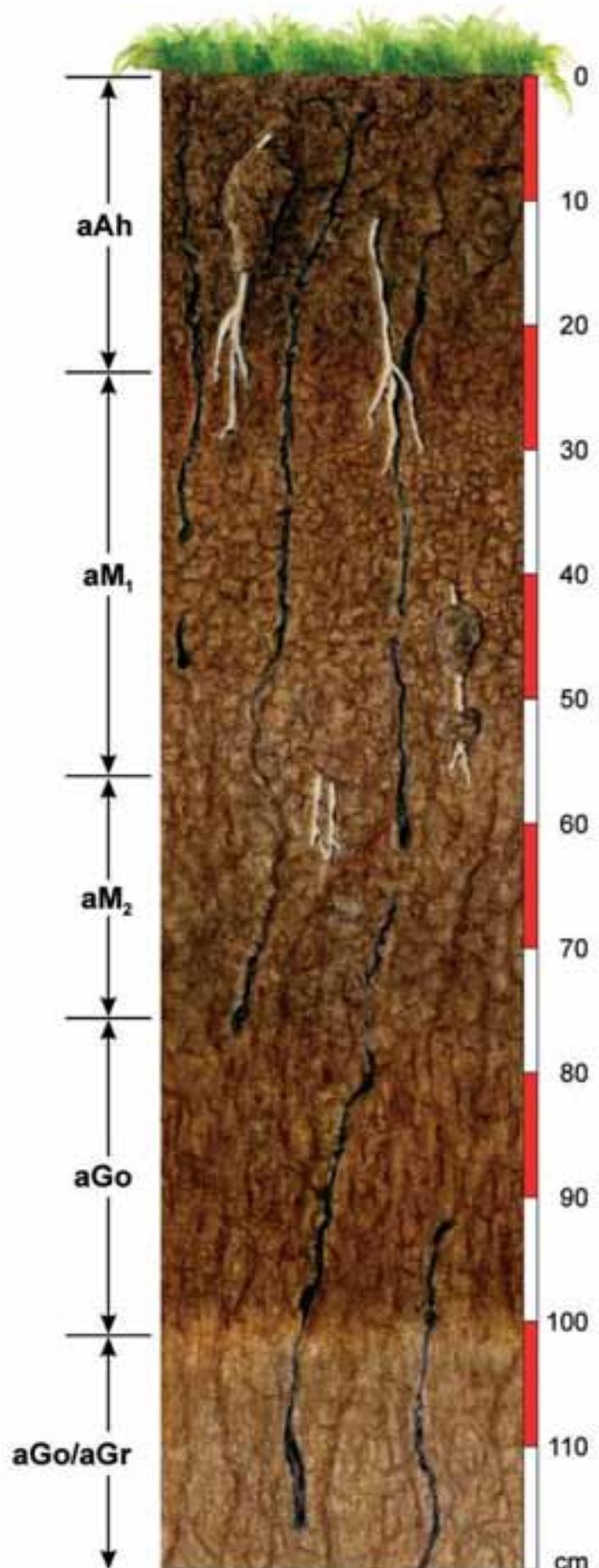
Spanisch „Vega“ = Flachland, Aue, Ebene.

Bodeneigenschaften:

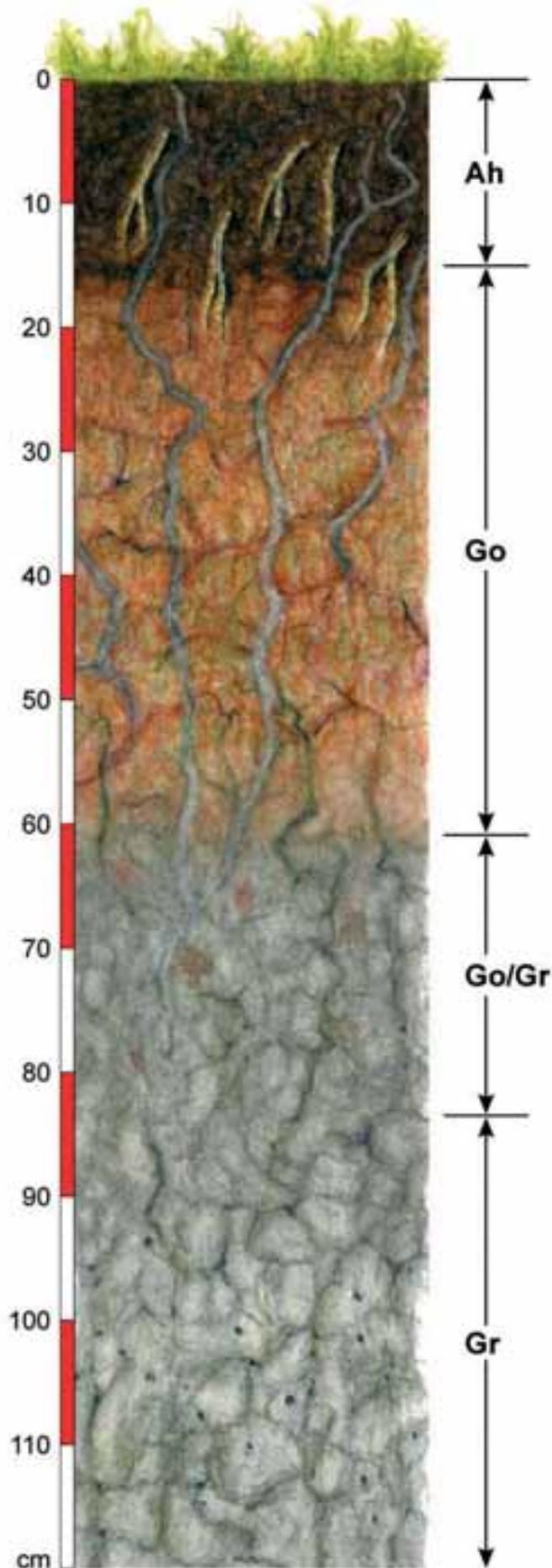
Vegen sind meist stark humose, feinkörnige, nährstoffreiche und aufgrund der Grundwassernähe als frisch zu bezeichnende Standorte.

Nutzung:

Landwirtschaft, evtl. Brache; aufgrund ihrer Lage im Überschwemmungsbereich der Flüsse eignen sich Vegen weniger zum Ackerbau, meist Grünlandnutzung (Wiese).



\* | „a“ bezeichnet die Prägung durch periodisch schwankenden Grundwasserstand.



## Gley

Profilfolge:  
Ah – Go – Gr

Entstehung:  
Unter reduzierenden Bedingungen des sauerstoffarmen Grundwassers (Vergleyung).

Kennzeichen der Horizonte:  
Stark humoser Ah-Horizont über Go-Horizont mit rostartigen, fleckigen Bändern durch Mn- und Fe-Hydroxide; Gr-Horizont gleichmäßig grün-blau-grau durch reduzierte Mn- und Fe-Verbindungen.

Ausgangsgesteine:  
Vorwiegend quartäre und holozäne Lockersedimente.

Verbreitung in Bayern:  
Vorwiegend in Talauen und Niederungen sowie im Einflussbereich von Quellaustritten.

Name:  
Aus dem Russischen = „schlammige Bodenmasse“.

Bodeneigenschaften:  
Meist gute Nährstoffausstattung durch ständige Zufuhr von Grundwasser.

Nutzung:  
Forstliche Nutzung von Baumarten mit hohem Wasserverbrauch; bei niedrigem Grundwasserstand als Wiesen und Weiden.

## 7 Die Böden Bayerns

Die Vielfalt der Gesteine im geologischen Untergrund Bayerns (► Klapptafel 1) und ihre unterschiedliche mineralogische und chemische Zusammensetzung prägen die Variabilität der Böden und deren Eigenschaften. Dies spiegelt sich besonders in den regionalen Unterschieden im Auftreten der Bodentypen (► Klapptafel 2), in der Bodenqualität, der Bodenfruchtbarkeit und der Erosionsanfälligkeit wider (► Karte zur Bodenerosion, ► Modul E Landwirtschaft).

Böden, die einen hohen Sandanteil haben, kommen vor allem im Buntsandsteinareal des Spessarts und in den Granitgebieten des Ostbayerischen Grundgebirges vor. Im engen Wechsel mit tonigen Sedimenten herrschen solche meist nährstoffarmen Böden (saure Braunerden, Podsol-Braunerden) aber auch in der Keuperlandschaft Nordbayerns und im Tertiären Hügelland Südbayerns vor. Die nährstoffärmsten Böden sind in den Flugsand- und Terrassensandarealen im Regnitz-Main-Flusssystem zu finden. Ihre Filterwirkung gegenüber immittierten Schadstoffen ist äußerst gering.

Auf größeren Flächen verbreitet sind tonreiche Böden (Pelosole) im Gipskeuper Frankens und im Vorland der Fränkischen Alb. In nahezu allen anderen Regionen Bayerns kommen diese dichten, vielfach nährstoffreichen, aber schwer zu bearbeitenden tonigen Böden kleinflächig im stetigen Wechsel mit sandigen, schluffigen oder karbonatreichen Böden vor.

Die Hauptgebiete in Bayern, in denen karbonatische Böden vorherrschen, sind die Muschelkalkregion um Würzburg, die Fränkische Alb und die Kalkalpen Südbayerns. Wegen des geringen Säuregehaltes in diesen Böden haben sich überwiegend nur → Rohböden und Böden mit A-C-Profilen ausgebildet (→ Syrosemi, → Rendzinen, → Pararendzinen). Skelettreiche Böden treten vor allem in Gebieten mit harten Gesteinen wie Graniten, Gneisen, Dolomiten und Kalken auf, die Erhebungen in der Landschaft bilden. Doch auch die eiszeitlich entstandenen Moränensedimente und Schotterebenen des Alpenvorlandes haben in ihren Bodensubstraten einen großen Anteil an



A26 | Bodenübersichtskarte von Bayern (als Klapptafel 2 im Kartenteil dieses Moduls).

mehr oder minder stark gerundetem Gesteins skelett. Auf den überwiegend sandig-kiesigen Moränen haben sich vor allem Braunerden, auf den vorwiegend karbonatischen Schotterflächen Rendzinen und Pararendzinen entwickelt.

Überdeckt werden die im Erdmittelalter (Mesozoikum) und in der Erdneuzeit (Tertiär) entstandenen Gesteinseinheiten Bayerns weiträumig durch vom Wind aufgewehte Lösssedimente. Diese nährstoffreichen und bodenphysikalisch günstig wirkenden Substrate haben ihre Hauptverbreitungsräume in den Gäulandschaften Unterfrankens und Niederbayerns. Meist haben sich Braunerden und Parabraunerden auf diesen lockeren Bodensubstraten entwickelt.

Abhängig von der Geländeform, dem Klima und dem Untergrundgestein ist der Wasserhaushalt der Böden in Bayern sehr unterschiedlich. Moore gibt es vor allem in den Moränengebieten Südbayerns. Grundwasserböden (→ Gleye) treten bevorzugt in Tälern und an Quellaustritten mit sandiger Auflage und tonigem Untergrund auf. Stauwasserböden (→ Pseudogleye) sind vor allem auf Hochflächen mit geringem Wasserabfluss zu finden.

## Weiterführende Literatur (Auswahl):

Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., 438 S., Hannover/Stuttgart (Schweizerbart).

Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) (1998): Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998 Teil I, Nr. 16 (► [www.bmu.de/bodenschutz](http://www.bmu.de/bodenschutz)).

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (1999): Bundesgesetzblatt Jahrgang 1999 Teil I, Nr. 36 (► [www.bmu.de/bodenschutz](http://www.bmu.de/bodenschutz)).

Bayerisches Bodenschutzgesetz (BayBodSchG) (1999): Bayerisches Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 5/1999.

Eitel, B. (1999): Bodengeographie. – 244 S., Braunschweig (Westermann).

EU-Kommission (2002): Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie. – Mitteilung der EU-Kommission (KOM (2002), 179).

Grill, A. (1997): Was macht den Boden zum Boden? – In: GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Hrsg.): Böden – verletzliches Fundament. – mensch + umwelt, 11. Ausgabe: S. 6 – 13, Neuherberg.

Hintermaier-Erhard, G., Zech, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. – 338 S., Stuttgart (Enke-Verlag).

Scheffer, F., Schachtschabel, P. (2002)(Hrsg.): Lehrbuch der Bodenkunde. – 15. Aufl., 528 S., Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).

Schroeder, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten. – 5. Aufl., bearb. von W. E. H. Blum, Berlin, 175 S., Stuttgart (Ferdinand Hirt).

Mückenhausen, E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen und petrologischen Grundlagen. – 4. Aufl., Frankfurt.

## Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)  
Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)