

## Boden – Was ist das eigentlich?

	Didaktische Hinweise	82
1	Woraus Boden besteht	83
	<i>Schüleraktivität AB1: Woraus besteht mein Boden?</i>	84
2	Sand, Schluff oder Ton (I) – Fingerprobe	86
	<i>Schüleraktivität AB2: Wie feinkörnig ist mein Boden?</i>	87
3	Sand, Schluff oder Ton (II) – Schlämmanalyse	89
	<i>Schüleraktivität AB3: Bodenteilchen auf dem Weg nach unten</i>	91
4	Bodenprofil – Das eigene Bodenprofil aus dem Gelände	93
	<i>Schüleraktivität AB4a: Bodenprofil (I) – Meine Bodenaufnahme</i>	94
	<i>Schüleraktivität AB4b: Bodenprofil (II) – Arbeitsblatt</i>	95
5	Humusgehalt in Böden	96
	<i>Schüleraktivität AB5: Wie viel Humus enthält meine Bodenprobe?</i>	97
6	Bodenluft	98
	<i>Schüleraktivität AB6: Wie viel Luft steckt in meiner Bodenprobe?</i>	99
7	Physikalische Verwitterung	100
	<i>Schüleraktivität AB7a: Väterchen Frost als Sprengmeister</i>	102
	<i>Schüleraktivität AB7b: Heiß und kalt</i>	103
	<i>Schüleraktivität AB7c: Kleine Sprengmeister</i>	103
8	Chemische Verwitterung	104
	<i>Schüleraktivität AB8: Chemielabor Boden</i>	105
9	pH-Wert von Böden	106
	<i>Schüleraktivität AB9a: Welchen pH-Wert hat mein Boden?</i>	108
	<i>Schüleraktivität AB9b: Wer puffert die Säure und Lauge?</i>	109
	Arbeitshilfen zur Bestimmung wichtiger Bodeneigenschaften	110



## Boden – Was ist das eigentlich?

### Didaktische Hinweise

CD | Alle Grafiken der Arbeitsblätter.

Die Schüleraktivitäten AA beschäftigen sich mit dem Boden unter dem Aspekt des „Erlebens und Erfahrens mit allen Sinnen“, wohingegen es das Ziel der Schülerübungen AB ist, Grundlagen für das Thema durch eigenes Forschen und naturwissenschaftliches Untersuchen zu schaffen.

Am Anfang (AB1) steht die unmittelbare/originäre Begegnung mit dem Boden, wobei die Schüler versuchen sollen, sich möglichst genau mit dem vorhandenen Boden auseinanderzusetzen. Die zweite Aktivität (AB2) beschäftigt sich mit der Korngrößenzusammensetzung von Böden und bringt diese in eine Systematik. Eine vorgegebene Schautafel (Arbeitshilfe) soll als eine Art „Kochrezept“ unterstützend wirken, sich an die richtige Bodenart mit Hilfe der „Fingerprobe“ heranzutasten. Mit der Schlämmanalyse (AB3) wird dem Schüler verdeutlicht, wie verschieden unterschiedliche Korngrößen sedimentieren und dass sich der mineralische Anteil des Bodens aus einem Korngrößengemisch zusammensetzt.

Die eigene Aufnahme eines Bodenprofils (AB4) soll dem Schüler den lagigen Aufbau des Bodens näher bringen. Die Entnahme eigenen Probenmaterials für eventuell anschließende Detailuntersuchungen (z. B. Schlämmanalyse, Humusgehalt) fördert das Interesse des Schülers und ermöglicht es ihm, spätere Experimente und Ergebnisse im Zusammenhang mit dem „Boden unter seinen Füßen“ zu sehen. Die nur im Gelände durchführbare Schüleraktivität muss vom Fachlehrer im Vorfeld gut geplant und erkundet werden. Es sollten weder zu viele Proben genommen werden noch sollten sich die Proben zu ähnlich sein.

In der Aktivität „Humusgehalt in Böden“ (AB5) wird über das Ausglühen der Humusgehalt des Bodens bestimmt. Die Schüleraktivität fördert genaues naturwissenschaftliches Arbeiten, erfordert vom Schüler jedoch bereits ein Verständnis für die Umwandlung des Kohlenstoffs des Humus in  $\text{CO}_2$  durch den Verbrennungsprozess. Die Schüleraktivität „Bodenluft“ (AB6) soll dem Schüler vermitteln,

dass Boden nicht nur aus Feststoffen besteht, sondern auch aus einem System miteinander in Verbindung stehender Hohlräume, die mit Luft oder Wasser gefüllt sein können.

Bei den Versuchen zur physikalischen und chemischen Verwitterung (AB7 und AB8) erfährt der Schüler etwas über die physikalischen und chemischen Prozesse, die auf Gesteine einwirken und damit Grundlage für die Bodenbildung sind. Für Schüler sind diese Übungen leicht durchführbar, jedoch müssen bei diesen Versuchen die Sicherheitshinweise besonders beachtet werden!

Die Bestimmung des pH-Wertes verschiedener Böden (AB9a) vermittelt dem Schüler, dass dieser Wert eine der grundlegenden (chemischen) Eigenschaft eines Bodens wiedergibt. Die Bedeutung des pH-Wertes kann insbesondere in Bezug auf das Pflanzenwachstum problematisiert werden (dazu auch ► Sachinformation Modul E Landwirtschaft, Exkurs „Kalken von Böden“). Die Bestimmung des pH-Wertes mittels Indikatorpapier ist für den Schüler meist schon aus dem Chemieunterricht bekannt und sollte nur als vertiefte Anwendung verstanden werden. Soweit keine Kenntnisse vorhanden sind, sollte der Fachlehrer zumindest in Grundzügen diese für ein besseres Verständnis erklären. Dazu ist Abbildung A21 in der Sachinformation Modul A „Was ist Boden?“ hilfreich.

Die Schüleraktivität AB9b demonstriert die unterschiedliche Pufferkapazität von Böden. Für das Verständnis dieser Aufgabe sollte den Schülern die chemische Bedeutung von Säuren und Laugen bereits vertraut sein.

Die „Arbeitshilfen“ auf den Seiten 110/111 fassen die wichtigsten (Gelände-)Untersuchungsmethoden zusammen (teilweise vereinfacht). Sie können insbesondere in der Schüleraktivität AB4 eingesetzt werden, dürfen aber auch in anderen Schülerübungen (auch anderer Module) hilfreich sein, bei denen die Kenngrößen „Bodenart“, „pH-Wert“, „Kalkgehalt“ oder „Krümelstruktur“ bestimmt werden sollen.

## AB1 Woraus Boden besteht

Mit der Schüleraktivität wird der Boden dem Schüler vertraut gemacht. Im ersten Teil stehen die sinnliche Wahrnehmung, das Empfinden von Boden, im zweiten Teil das genaue Beobachten und erstes „Analysieren“ des Bodens im Vordergrund.

Als Antworten auf die Frage „Was ist Boden?“ sind Äußerungen wie „Dreck“, „Pampe“ oder „schmierig“ zu erwarten. Zur Erarbeitung der Antwort bietet sich an, die Schülerbeobachtungen strukturiert an die Tafel zu schreiben. Die im Beispiel grau hinterlegten Felder mit Oberbegriffen (z. B. Pflanzen, Tiere, organische Bestandteile) können zu Beginn leer bleiben und im Verlauf der Unterrichtseinheit zusammen mit den Schülern entwickelt werden. In der Sekundarstufe I sind hierzu größere Hilfestellungen notwendig. In den höheren Klassen ist die Nennung einzelner Bodenfunktionen zu erwarten, z. B. Nährstofflieferant, Filter, Puffer. Sie sind daher im beigefügten Beispiel aufgeführt.






A29 | Betrachtung von Boden durch das Mikroskop.

Organische Bestandteile		Anorganische Bestandteile		Flüssige/gasförmige Bestandteile	Bodenfunktionen
<i>Pflanzen</i>	<i>Tiere</i>	<i>Minerale</i>	<i>Gesteine</i>		
Wurzeln	Regenwürmer, Würmer	Ton	Steine	Wasser	Lebensraum für Tiere, Pflanzen
Blätter	Maulwurf	Sand	Dreck	Luft	Nährstofflieferant Nährgrund
Humus	Ameisen	Quarz	Felsen	verschiedene Stoffe	Wasserspeicher
Nadeln	Bakterien	Korngrößen	Kalkstein		Mineralienspeicher
Äste	Mäuse	Glimmer	Granit		Filter
Kompost, Zerfall von Lebensmitteln	Dachs	Gesteinszersatz	Erde		Puffer
verweste, zersetzte Pflanzen	Käfer	Nährstoffe			Fundament für Gebäude, Tiere, Pflanzen
Pflanzen	verweste, verrottete Tiere	Lehm			Kreislauf von Leben und Tod
Gras					Nahrung
					Alles unter meinen Füßen


Tabelle | Beispiel Tafelanschrift: „Was ist Boden?“

# Woraus besteht mein Boden?

## Materialien

-  (Papier-)Unterlage, Handtuch
-  Lupe, evtl. Binokular oder Mikroskop
-  Bodenprobe von zu Hause; wenn nicht verfügbar, dann Waldboden vom Lehrer

## Durchführung

-  Untersuche deinen Boden. Benutze dazu besonders deine Hände, indem du die Bodenmaterialien zwischen deinen Fingern fühlst. Schaue dir deinen Boden auch mit der Lupe an. Was kannst du jetzt erkennen?





---




---



---

-  Streiche in der nachfolgenden Liste an, was für deinen Boden zutrifft oder ergänze die Beschreibungen. Notiere auch, was dir außerdem an deinem Boden aufgefallen ist. Vergleiche deinen Bodensteckbrief mit anderen Bodensteckbriefen.



-  Diskutiert zunächst in der Gruppe und anschließend mit eurem Lehrer darüber, woraus Boden besteht und versucht, eine Antwort auf die Frage „Was ist Boden?“ zu finden.

# Mein Bodensteckbrief

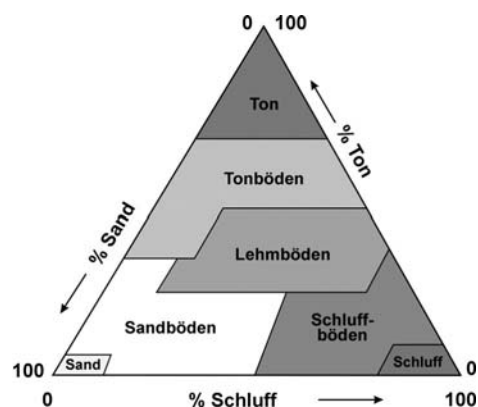
<p><b>Welche Farbe hat mein Boden?</b></p> <p>?</p>	<table> <tr> <td><input type="checkbox"/> schwarz</td> <td><input type="checkbox"/> weiß</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> rot</td> <td><input type="checkbox"/> _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> braun</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> gelb</td> <td>_____</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> schwarz	<input type="checkbox"/> weiß	<input type="checkbox"/> rot	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> braun	_____	<input type="checkbox"/> gelb	_____		
<input type="checkbox"/> schwarz	<input type="checkbox"/> weiß										
<input type="checkbox"/> rot	<input type="checkbox"/> _____										
<input type="checkbox"/> braun	_____										
<input type="checkbox"/> gelb	_____										
<p><b>Wie fühlt sich mein Boden an?</b></p> <p>?</p>	<table> <tr> <td><input type="checkbox"/> matschig</td> <td><input type="checkbox"/> bröselig</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> körnig</td> <td><input type="checkbox"/> mehlig</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> schmierig</td> <td><input type="checkbox"/> knetgummiartig</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> samtig</td> <td><input type="checkbox"/> _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> glitschig</td> <td>_____</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> matschig	<input type="checkbox"/> bröselig	<input type="checkbox"/> körnig	<input type="checkbox"/> mehlig	<input type="checkbox"/> schmierig	<input type="checkbox"/> knetgummiartig	<input type="checkbox"/> samtig	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> glitschig	_____
<input type="checkbox"/> matschig	<input type="checkbox"/> bröselig										
<input type="checkbox"/> körnig	<input type="checkbox"/> mehlig										
<input type="checkbox"/> schmierig	<input type="checkbox"/> knetgummiartig										
<input type="checkbox"/> samtig	<input type="checkbox"/> _____										
<input type="checkbox"/> glitschig	_____										
<p><b>Wie ist mein Boden?</b></p> <p>?</p>	<table> <tr> <td><input type="checkbox"/> nass</td> <td><input type="checkbox"/> sandig</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> trocken</td> <td><input type="checkbox"/> _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> feucht</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> steinig</td> <td>_____</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> nass	<input type="checkbox"/> sandig	<input type="checkbox"/> trocken	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> feucht	_____	<input type="checkbox"/> steinig	_____		
<input type="checkbox"/> nass	<input type="checkbox"/> sandig										
<input type="checkbox"/> trocken	<input type="checkbox"/> _____										
<input type="checkbox"/> feucht	_____										
<input type="checkbox"/> steinig	_____										
<p><b>Wie riecht mein Boden?</b></p> <p>?</p>	<table> <tr> <td><input type="checkbox"/> modrig</td> <td><input type="checkbox"/> erdig</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> verfault</td> <td><input type="checkbox"/> nach nichts</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> pilzig</td> <td><input type="checkbox"/> _____</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> schlammig</td> <td>_____</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> modrig	<input type="checkbox"/> erdig	<input type="checkbox"/> verfault	<input type="checkbox"/> nach nichts	<input type="checkbox"/> pilzig	<input type="checkbox"/> _____	<input type="checkbox"/> schlammig	_____		
<input type="checkbox"/> modrig	<input type="checkbox"/> erdig										
<input type="checkbox"/> verfault	<input type="checkbox"/> nach nichts										
<input type="checkbox"/> pilzig	<input type="checkbox"/> _____										
<input type="checkbox"/> schlammig	_____										
<p><b>Lebt mein Boden?</b></p> <p>?</p>	<table> <tr> <td><input type="checkbox"/> ja</td> <td><input type="checkbox"/> nein</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein								
<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein										
<p><b>Das ist mir noch aufgefallen!</b></p> <p>!</p>	<p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>										

## AB2 Sand, Schluff oder Ton (I) – Bestimmung der Bodenart mit Hilfe der Fingerprobe

### Hintergrund

Viele physikalische und chemische Eigenschaften des Bodens (z. B. Wasser- und Lufthaushalt, Bearbeitbarkeit) werden durch die Körnung bestimmt.

Die einzelnen Körner werden nach ihrer Größe charakterisiert, die Korngrößen in Fraktionen (= Hauptbodenarten) eingeteilt (↗ Tabelle). Die drei Hauptbodenarten im Feinboden sind Sand (S), Schluff (U) und Ton (T). Der relative Anteil der Korngrößengruppen variiert dabei stark zwischen verschiedenen Böden. Größere Bestandteile (> 2 mm) im Boden wie Kies oder Steine werden als Grobboden oder Skelett bezeichnet.



A30 | Das Dreieckdiagramm der Bodenarten.

Korngrößenklassen Bezeichnung	Klassengrenzen Durchmesser in mm	Korngrößenklassen Bezeichnung	Klassengrenzen Durchmesser in mm
<b>Feinboden</b>	<b>&lt; 2 mm</b>	<b>Grobboden</b>	<b>&gt; 2 mm</b>
<b>Ton</b>	<b>&lt; 0,002 = 2 µm</b>	<b>Grus, Kies</b>	<b>2 – 63</b>
Feinton	0,063 – 0,2 µm	Feingrus, Feinkies	2 – 6,3
Mittelton	0,2 – 0,63 µm	Mittelgrus, Mittelkies	6,3 – 20
Gropton	0,63 – 2 µm	Grobgrus, Grobkies	20 – 63
<b>Schluff</b>	<b>0,002 – 0,063</b>	<b>Steine</b>	<b>&gt; 63</b>
Feinschluff	0,002 – 0,0063		
Mittelschluff	0,0063 – 0,02		
Grobschluff	0,02 – 0,063		
<b>Sand</b>	<b>0,063 – 2,0</b>		
Feinsand	0,063 – 0,2		
Mittelsand	0,2 – 0,63		
Grobsand	0,63 – 2,0		

Tabelle | Körnerklassen (Bodenarten) und deren Größen.

Die Bodenart benennt die relativen Anteile der verschiedenen Korngrößengruppen in einem Boden. Die nach dem Massenanteil vorherrschende Körnungsart bestimmt den Namen der Bodenart: Sand (S), Schluff (U), Ton (T) oder Lehm (L), wobei Lehm ein Gemisch aus Sand, Schluff und Ton ist. Durch die Beifügung sandig, schluffig, tonig, lehmig lassen sich die Bodenarten weiter differenzieren, z. B. schluffiger Sand oder lehmiger Sand.

### Zur Durchführung





Bei der „Fingerprobe“ im Gelände wird das Bodenmaterial vorsichtig angefeuchtet, so dass der Boden gut knetbar ist. Zu trockene Proben werden leicht größer, zu nasse leicht feinkörniger angesprochen. Der feuchte Boden wird zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben und geknetet und mit Hilfe der Kriterien Plastizität, Rollfähigkeit, Schmierfähigkeit und Rauigkeit wird die Körnung bestimmt.

Je nach Jahrgangsstufe können unterschiedliche Kriterien und Abstufungen der Klassifizierung verwendet werden (↗ Arbeitshilfen). Bodenproben aus Ton sind gut formbar. Durch bei der Fingerprobe freigesprengtes Wasser besitzen sie eine glänzende Schmierfläche, durch die Einregelung der Tonteilchen ist diese zusätzlich glatt. Schluff ist weniger gut formbar und mehlig, seine Schmierfläche ist im Gegensatz zur Tonfraktion rau und wirkt daher stumpf. Im Gegensatz zu den anderen beiden Fraktionen setzt sich Schluff sehr gut in den Fingerrillen fest. Sand ist äußerst schlecht formbar, seine Körnigkeit ist meist deutlich fühl-, sichtbar und hörbar (Knirschen).




Sollten einheitliche Bodenproben für alle Schüler verwendet werden, kann die richtige „Lösung“ zum Beispiel auf einer Karteikarte „deponiert“ werden und nach der Meinungsbildung aufgedeckt werden. Die Bildung von Gruppen aus mehreren Schülern fördert die Diskussion und zwingt den Schüler, den ermittelten Boden zu beschreiben.

# Sand, Schluff oder Ton – Wie feinkörnig ist mein Boden?

## Materialien

-  (Papier-)Unterlage, Papierhandtücher
-  mehrere Bodenproben mit unterschiedlicher Körnung
-  Spritzflasche mit Wasser
-  Anleitung „Fingerprobe“

## Durchführung

-  Feuchte die Bodenprobe mit einigen Tropfen Wasser aus der Spritzflasche vorsichtig an, der Boden darf aber nicht zu nass sein. Feinkörniger Boden verträgt dabei mehr Wasser als grobkörniger Boden.
-  Vermische und knete Boden und Wasser miteinander. Ist der Boden zu nass, gib noch etwas Bodenmaterial dazu. Ist er zu trocken, feuchte ihn mit noch etwas Wasser an.
-  Bestimme mit Hilfe der Anleitung („Fingerprobe“) die Bodenart der Proben. Diskutiere mit deinen Mitschülern deine Meinung.

**Notiere als Ergebnis die jeweiligen Bodenarten:**



Probe 1 \_\_\_\_\_

Probe 2 \_\_\_\_\_


Probe 3 \_\_\_\_\_



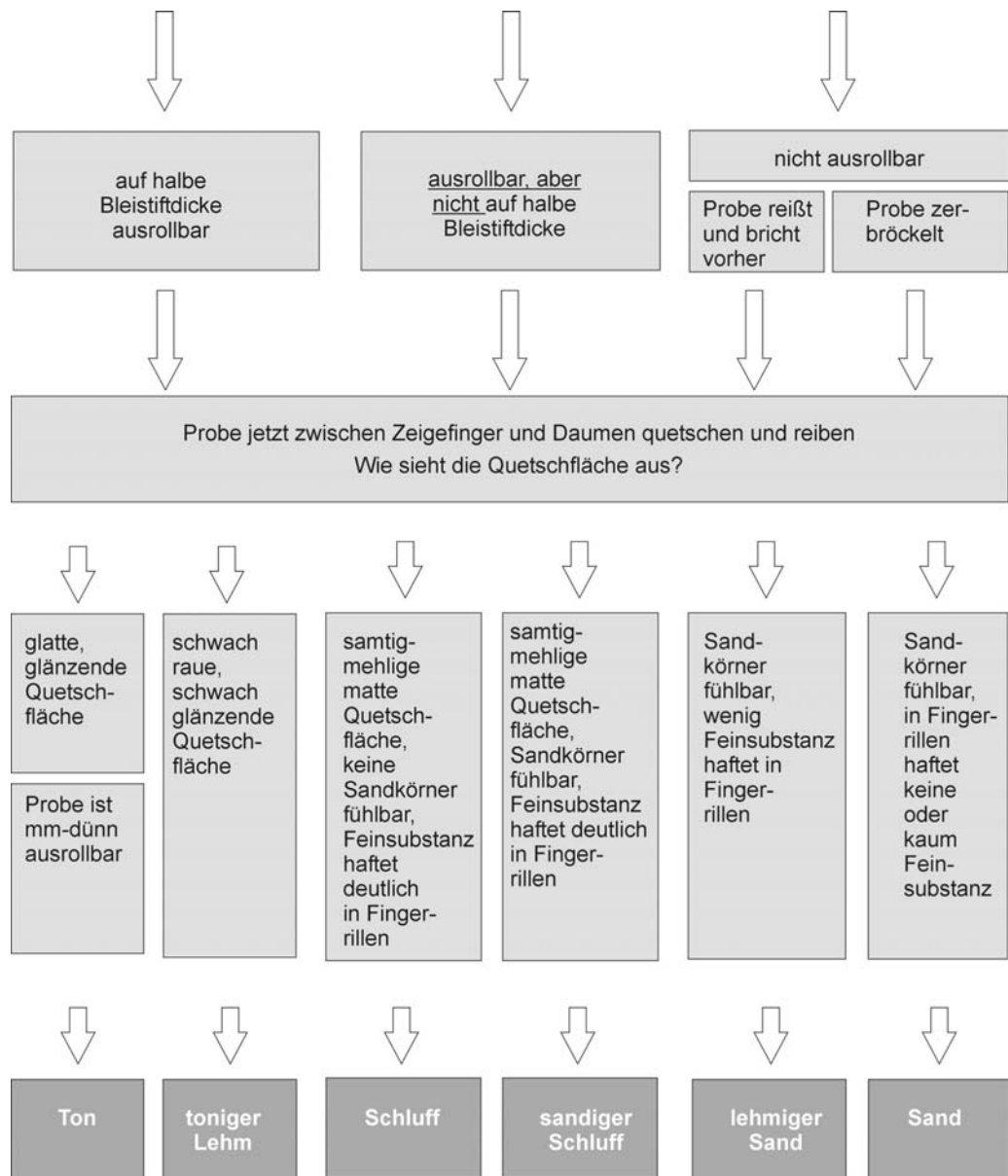
**Kannst du dir erklären, warum zwischen den Fingern gequetschter Ton eine glänzende Oberfläche zeigt?**

Arbeitshilfe

# So finde ich mit der Fingerprobe die richtige Bodenart

 Versuche die Bodenprobe zwischen den Handtellern auf halbe Bleistiftstärke auszurollen. Gib evtl. etwas Wasser dazu, damit die Probe feucht ist.

  **Vergleiche und bestimme das Ergebnis anhand des unten stehenden Schemas!**

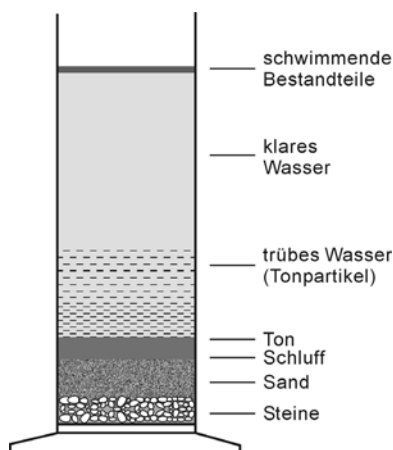




## AB3 Sand, Schluff oder Ton (II) – Bestimmung der Bodenart mit Hilfe der Schlämmanalyse

### Hintergrund

Die Schlämmprobe demonstriert eindrucksvoll, dass Boden ein Korngrößengemisch darstellt. Für die Erklärung des Prinzips der Durchführung bietet sich besonders ungewaschener Sand an, der aus verschiedenen Anteilen an Grob- bis Feinsand sowie einem größeren Schluffanteil zusammengesetzt ist. Feinschluff- und Tonanteile lassen sich im Regelfall mit dem hier dargestellten vereinfachten Verfahren nicht voneinander abgrenzen. Da stark tonige und lehmige Proben im Wasser rasch verklumpen, sollte auf deren Verwendung verzichtet werden. Um das Verklumpen zu verhindern, können Dispersionsmittel (z. B.  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) der Schlämmprobe zugesetzt werden. Humusreiche Proben aus dem Oberboden sind ebenfalls ungeeignet, da sie das Wasser stark trüben und das Zerreiben im Mörser eher zum Verschmieren der Probe führt. Bei der Schlämmanalyse wird in einem hohen Glaszylinder oder einem ähnlichen Gefäß (z. B. verschraubbare Milchflasche) eine Frischbodenprobe mit Wasser kräftig aufgeschüttelt und dann wieder hingestellt. Entsprechend ihrer Korngröße bzw. ihres spezifischen Gewichtes setzen sich die Bodenpartikel unterschiedlich schnell ab und lagern sich schichtweise am Grund des Gefäßes an. Bei den Tonpartikeln kann dies mehrere Stunden oder sogar Tage dauern. Da Humus- und andere Pflanzenbestandteile im Regelfall in der Wassersäule aufschwimmen, sollte organisches Material vor der Schlämmanalyse aus der Bodenprobe entfernt werden.



Die Sinkgeschwindigkeit der Bodenbestandteile kann zur Bestimmung der genauen Bodenart herangezogen werden. Die verschiedenen Korngrößen können dabei getrennt werden, weil auf Grundlage des STOKES'SCHEN Gesetzes der Fall kleiner Teilchen in einer Flüssigkeit gleichförmig und ihre Geschwindigkeit eine Funktion des Gewichtes ist:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_w) \cdot g \cdot r^2}{\eta}$$

- $v$  = Fallgeschwindigkeit [cm/s]
- $r$  = Teilchenradius [cm]
- $\rho_p$  = Teilchendichte [g/cm<sup>3</sup>]
- $\rho_w$  = Wasserdichte [g/cm<sup>3</sup>]
- $g$  = Erdbeschleunigung [cm/s<sup>2</sup>]
- $\eta$  = Wasserviskosität [g/cm \* s].

Die Dichte und die Wasserviskosität sind temperaturabhängige Größen, was zur Vereinfachung des Versuchs jedoch vernachlässigt werden kann.

Für Wasser als Suspendierungsmittel bei einer Temperatur von 20 °C und einer Dichte für Quarz von  $r_p = 2,65 \text{ g/cm}^3$  gilt vereinfacht:

$$v = \frac{36000}{\text{cm} \cdot \text{s}} \cdot r^2$$

Partikel mit einem Äquivalentdurchmesser von 0,002 mm (entspricht der Größe von Tonpartikeln) brauchen somit für eine Fallstrecke von 10 cm

$$t = \frac{10 \text{ cm} \cdot \text{cm} \cdot \text{s}}{3600 \cdot (0,0001 \text{ cm})^2} = 27777 \text{ s} = 7 \text{ h } 43 \text{ min}$$

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Versuchsanordnung möglichst lange stehen zu lassen ist, damit sich auch kleinste Tonpartikel absetzen können. Es bietet sich an, eine erste Messung des Bodensatzes nach einer Schulstunde (45 min.) und die nächste nach meh-



renen Tagen oder sogar erst nach einer Woche durchzuführen, um die Veränderungen zu dokumentieren. Dies gilt insbesondere für Bodenproben mit einem hohen Anteil an Schluff und Ton.

Die Berechnung des prozentualen Anteils jeder Korngröße am Gesamtboden erfolgt durch Messung der Dicke der einzelnen abgelagerten Schichten im Verhältnis zur Gesamtmächtigkeit.

### Erweiterung der Aufgaben

Mit den über die Schichtdicken ermittelten Prozentanteilen der einzelnen Korngrößen lässt sich die Bodenart des aufgeschlämmten Bodens ermitteln. Hierzu werden mit Hilfe des Bodenartendreiecks die verschiedenen Korngrößenfraktionen zur Bodenart zusammengefasst, z. B. 35 % Ton, 35 % Schluff, 30 % Sand ergeben die Bodenart Lehm. Den Schülern muss ggf. der Umgang mit einem Dreiecksdiagramm erläutert werden.



### Erweiterung

Durch die Zugabe von Kochsalz ( $\text{NaCl}$ ) zur Schlämmprobe werden Feinboden und Tonpartikel besser verteilt (dispergiert). Die Tonanteile „schweben“ länger im Wasser, wodurch eine schärfere Trennung erfolgt. Der Effekt kann durch Zugabe von etwas Waschlauge verstärkt werden. Die Wassertrübung kann bei entsprechendem Feintongehalt unter Umständen monatelang anhalten.






Bei Zugabe von  $\text{CaCl}_2$  ziehen sich die Tonminerale gegenseitig an und bilden ausflockende Aggregate. Die Sedimentation der Bodenpartikel wird beschleunigt.


A32 | Oben und Mitte: Zerkleinerung der Bodenprobe als Vorbereitung zur Schlämmanalyse. Unten: Resultate der Schlämmanalyse nach 5 Minuten Absetzzeit.


# Bodenteilchen auf dem Weg nach unten – Wir bestimmen die Bodenart mit Hilfe der Schlämmanalyse

## Materialien


-  je Bodenprobe 1 hohes, verschließbares Glasgefäß (z. B. 0,5 Liter Milchflasche)
-  Lineal, Folienstift, evtl. Mörser
-  verschiedene Bodenproben, Wasser

## Durchführung


 Entferne aus deiner Bodenprobe Steine, Wurzeln oder andere Fremdkörper. Zerkleinere verklumpte Bodenteilchen vorsichtig mit dem Mörser. Führe dies allerdings nur an trockenen Bodenproben durch, damit nicht alles verschmiert.

 Gib eine Bodenprobe in das Glasgefäß, fülle dieses mit Wasser auf und verschließe es. Schüttle das Glasgefäß, so dass ein möglichst homogenes Gemisch entsteht („Bodenshake“). Stelle das Glasgefäß auf einem Tisch ab, so dass sich die Bodenpartikel ruhig absetzen können.



 Beobachte von Zeit zu Zeit (nach wenigen Minuten bis mehreren Stunden) und notiere.



 Lasse das Gefäß mindestens eine Woche stehen, damit sich auch kleinste Bodenpartikel absetzen können. Beobachte und notiere.



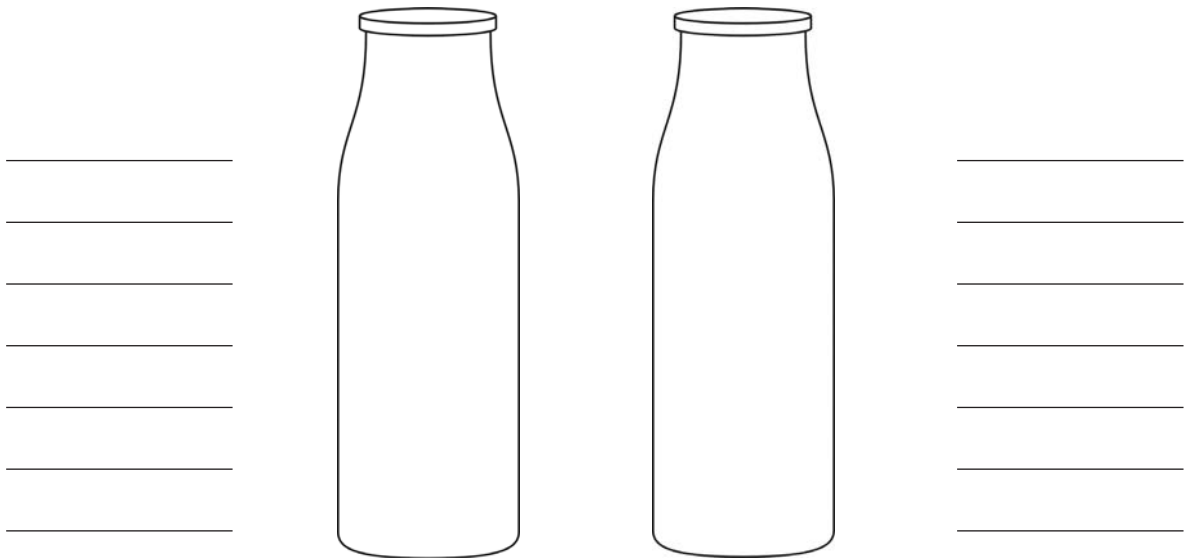
Miss mit dem Lineal die Dicke der einzelnen „Bodenschichten“ in den Glasgefäßen. Vorsicht, die Gefäße nicht schütteln!



Errechne aus den Schichtdicken die Prozentanteile der jeweiligen Korngrößen am Gesamtboden.



**Hat sich alles abgesetzt? Ist das Wasser klar?  
Wenn nein, was befindet sich noch in der Schwebel?**



Zeichne nach einer Schulstunde im linken und nach einer Woche im rechten Glas ein, wie sich die Bodenpartikel im Glas verteilt haben!

Sieh dir die Schichten genau an und versuche diese zu beschriften (Sand, Feinsand, Schluff, Ton, Tontrübe).

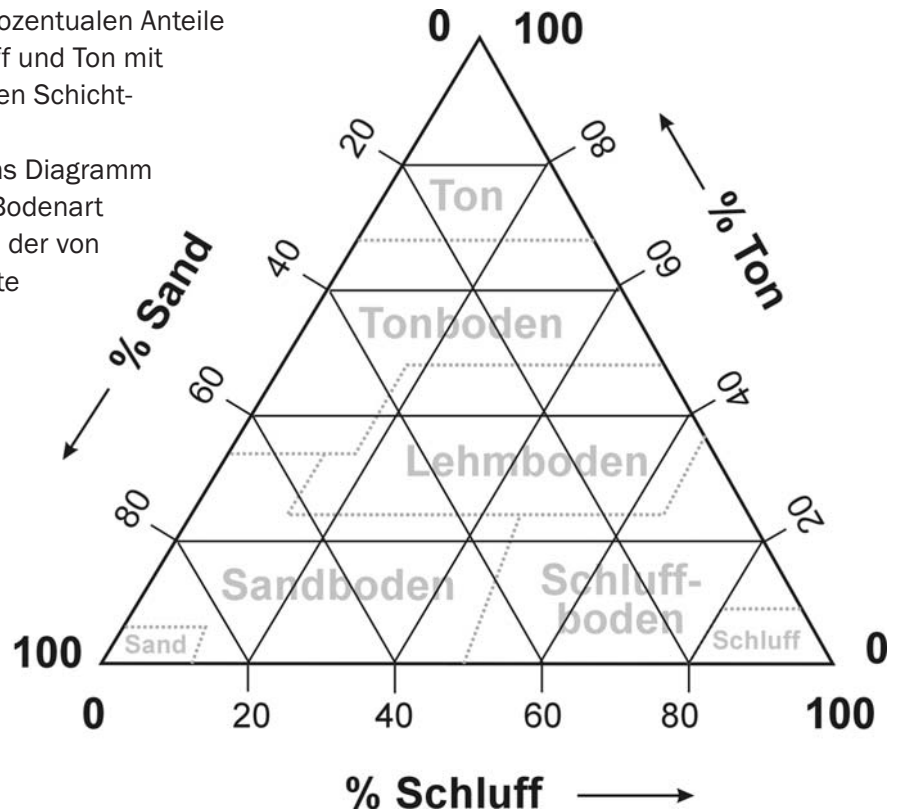
## Bestimme die Bodenart deiner Bodenprobe mit Hilfe des Dreieckdiagramms



Bestimme die prozentualen Anteile von Sand, Schluff und Ton mit Hilfe der jeweiligen Schichtdicken. Trage diese in das Diagramm ein und lies die Bodenart ab, in deren Feld der von dir eingezeichnete Punkt fällt.



Notiere dein Ergebnis!



## AB4 Bodenprofil – Das eigene Bodenprofil aus dem Gelände

### Hintergrund

Die Untersuchung von Böden im Gelände erfolgt in der Regel an einem Bodenprofil (bis 1 m Aufschlusstiefe) oder alternativ an einem Spatenaushub (30–40 cm Tiefe sind meist ausreichend). Alternativ kann auch ein Bohrstock verwendet werden (Pürckhauer-Bohrstock), mit dessen Hilfe Bohrkern aus bis zu 1 Meter Tiefe gezogen werden. Die Beprobung ist dabei umso besser, je größer der Durchmesser des Bohrstocks ist.

### Bezug von Bohrstöcken

In vielen Fällen besteht die Möglichkeit, die Bohrstöcke auszuleihen. Hier sind staatliche Institutionen gute Anlaufstellen. Universitäten mit naturwissenschaftlichen Fakultäten sind ebenfalls häufig in Besitz der nötigen Ausrüstung. Fachleute der entsprechenden Einrichtungen können zusätzlich noch weiterführende Ratschläge zum Gebrauch des Gerätes geben. Der Bezug von Bohrstöcken ist über das Internet oder den Fachhandel möglich. Die Kosten liegen bei etwa 250–300 € für den Bohrstock und bei etwa 80–100 € für den Hammer.

### Bohrstockbeprobung

Zur Gewinnung eines Bohrkerns wird der Bohrstock mit dem Hammer möglichst weit in den Boden getrieben. Dabei ist zu beachten, dass oftmals schon vor Erreichen der maximalen Einschlagtiefe (1m) der Widerstand so groß wird, dass ein weiteres Einschlagen nicht ratsam ist, um Beschädigungen der Gerätschaften zu vermeiden. Größere Steine u. Ä. können ebenfalls dafür sorgen, dass sich der Bohrstock nicht sehr tief einschlagen lässt. Bei solchen Problemen ist es ratsam, den Versuch abzubrechen und sich einen neuen Beprobungspunkt zu suchen.

Vor dem Herausziehen wird der Bohrstock 1- bis 2-mal (nur in eine Richtung!) gedreht, um den Kern von der Bohrlochwand abzutrennen. Mit dem Ziehgerät lässt sich der Bohrstock wieder aus dem Boden entfernen, wobei das Herausziehen durch Drehen des Bohrstocks (ebenfalls nur in eine Richtung) erleichtert wird. Vor Betrachtung des Bodenprofils muss mit einem Messer oder einer Spachtel aus der Öffnung überstehender

Boden abgeschnitten werden, um verschmiertes Material zu entfernen.

### Wichtige Gefahrenhinweise

Vor einer Bohrung – auch im eigenen Schulgarten – sind unbedingt Erkundigungen über Leitungen und Kabel im Untergrund bei der entsprechenden Kommune bzw. den Versorgungsunternehmen einzuholen! Insbesondere im städtischen Bereich durchzieht ein dichtes Netz aus verschiedenen Versorgungssträngen den Boden. Aber auch unter Wiesen und selbst im Wald können solche Leitungen verlegt sein. Durch den Bohrstock können diese beschädigt und zur Gefahr für den Bohrenden werden (Strom- oder Gasleitungen!).

Beim Herausziehen des Bohrstockes aus dem Boden ohne Ziehvorrichtung ist auf die richtige Ziehtechnik zu achten, da sonst Rückenverletzungen auftreten können (vgl. Heben eines Getränkekastens). Bohren Sie auf Privatgelände nicht ohne Erlaubnis des Eigentümers.

### Anlegen von Bodenprofilen

Das Anlegen von Bodenprofilen bedeutet einen nicht unerheblichen Eingriff in den Boden. In Absprache mit Grundstückseigentümern oder der Forstverwaltung sind solche Aufgrabungen jedoch eine eindrucksvolle Möglichkeit, den Aufbau des Bodens kennen zu lernen. Zur standortkundlichen Aufnahme werden von den Forstämtern gezielt Bodenaufgrabungen durchgeführt, so dass bei Anfrage häufig bereits bestehende Profile besucht und untersucht werden können.

### Spatenaushub (im Schuhkarton)

In den meisten Fällen wird es ausreichen, einen Spatenaushub bis in eine Tiefe von 30 oder 40 cm durchzuführen. Der sauber ausgestochene Boden kann z. B. in einem Schuhkarton für den Unterricht mitgenommen und dort besprochen bzw. bearbeitet werden (Aushubloch wieder mit Erde auffüllen!). Der Karton sollte in einem geschlossenen Plastikbeutel aufbewahrt werden (nicht zu lange und zu warm, gelegentlich lüften und leicht befeuchten).

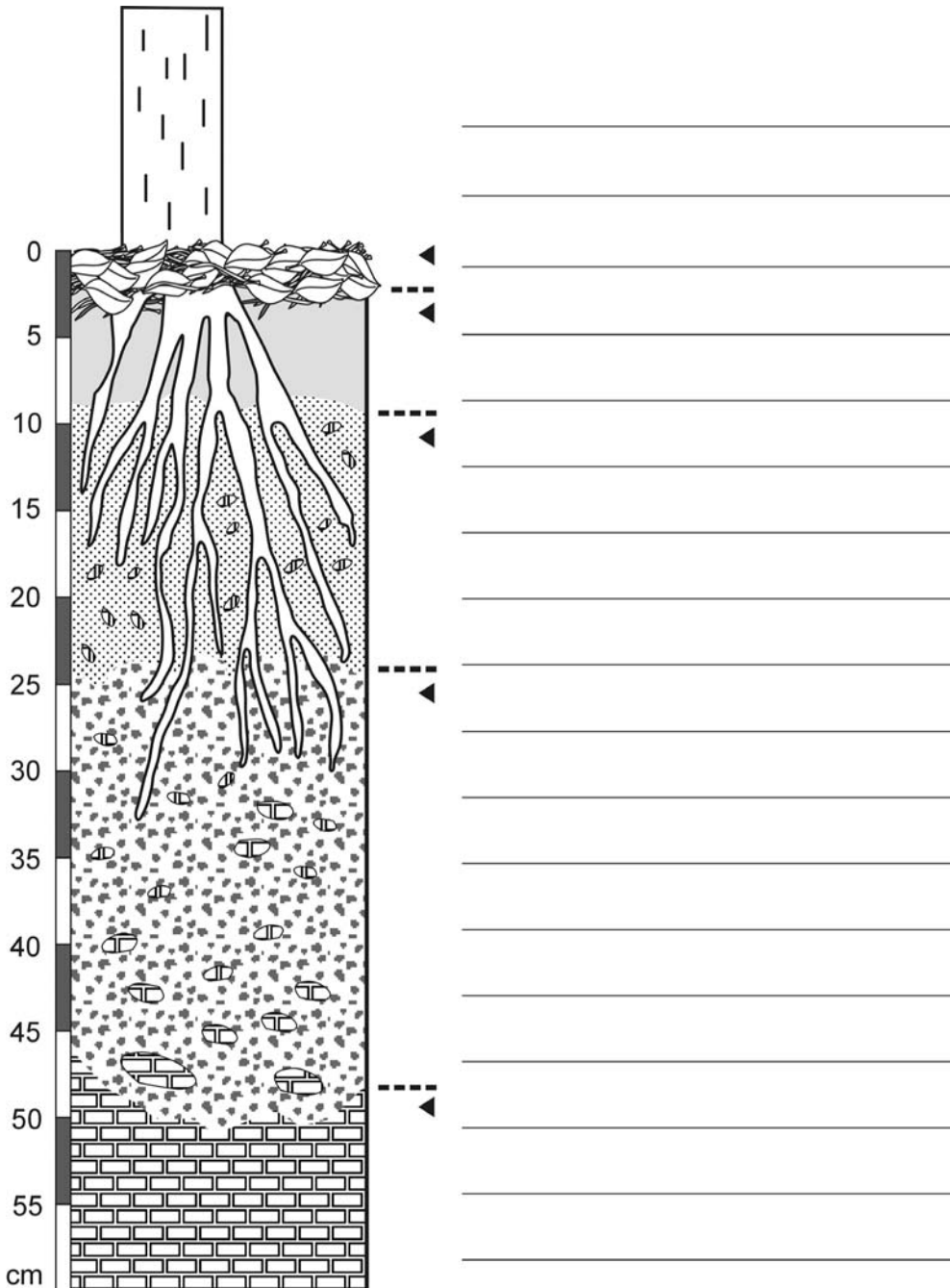


A33 | Probennahme mit Hilfe des Pürckhauer-Bohrstocks.

# Bodenprofil (I) – Meine Bodenaufnahme



Ordne die unten stehenden Begriffe den einzelnen Horizonten des Bodens zu. Schreibe sie in den Abschnitt, für den sie zutreffen. Schreibe auch auf, was du über die einzelnen Horizonte weißt oder aus der Abbildung ableiten kannst. Male die Abbildung „naturnah“ aus.



„Streuschicht“, „Humusaufgabe“, „O-Horizont“, „A-Horizont“, „B-Horizont“, „C-Horizont“, „Oberboden“, „Unterboden“, „Organischer Horizont“, „Ausgangsgestein“, „mit Humus vermischter Mineralboden“, „Humushorizont ohne mineralische Bestandteile“, „Horizont mit überwiegendem Stoffeintrag“, „Horizont mit überwiegendem Stoffaustrag“

# Bodenprofil (II) – Arbeitsblatt



Bearbeite das Bodenprofil mit Hilfe des Arbeitsblattes. Untergliedere, wenn nötig, die Profilabschnitte weiter. Versuche das Bodenprofil so zu zeichnen, wie du es am linken Rand als Muster siehst. Natürlich können deine Horizontgrenzen anders liegen als in dem Beispiel.

So könnte es aussehen	Dein Profil Bodenprobe	Farbe Maßstab	pH	Kalk- gehalt	Geruch	Fingerprobe Beschaffenheit	Korngrößen- verteilung
		0 					

## AB5 Humusgehalt in Böden



### Hintergrund

Unter Humus versteht man die abgestorbene organische Substanz pflanzlicher und tierischer Herkunft im Boden. Der Humusgehalt ist eine wichtige Kenngröße, da Bodeneigenschaften wie Struktur, Lufthaushalt, Durchwurzelbarkeit oder die Nährstoffdynamik von diesem abhängen. Die Erosions- und Verschlammungsgefahr ist bei hohen Humusgehalten deutlich niedriger.

Der mittlere Humusgehalt eines Bodens variiert stark. In Abhängigkeit von Bodentyp, Klima und Bewirtschaftung stellt sich in der Regel jedoch ein bestimmter Wert ein, der trotz jahreszeitlicher Schwankungen nur schwer zu verändern ist.

Um den Humusgehalt eines Bodens zu bestimmen, wird die Bodenprobe erhitzt. Da der Humus aus abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffen besteht, ist er brennbar. Durch das so genannte Ausglühen (= Verbrennen bei hohen Temperaturen) und dem damit verbundenen Gewichtsverlust der Probe lässt sich der Anteil des Humus am Gesamtboden ermitteln.

### Wichtige Gefahrenhinweise

Bei der Versuchsdurchführung ist unbedingt auf die richtige Handhabung des Bunsenbrenners zu achten. So ist einerseits auf den Umgang mit dem Brennergas zu achten, andererseits müssen stets Schutzbrille und Schutzhandschuhe getragen werden (Verbrennungsgefahr!). Die erhitzte Porzellanschale ist nur mit einer Tiegelzange aufzunehmen. Nach Beendigung des Glühvorganges mindestens 10 - 20 Minuten warten, damit sowohl die Bodenprobe als auch der Brenner abgekühlt sind.

Auch danach die Schale nur mit der Tiegelzange bewegen.

### Zur Durchführung

Das Ausglühen der Bodenprobe sollte in einer Porzellanschale und mit einem Bunsenbrenner erfolgen. Verklumpte Bodenteilchen müssen vor dem Versuch mit dem Mörser zerkleinert werden.

Um das Ergebnis nicht mit einem möglichen Wasserverlust zu verfälschen, muss die Probe ausreichend getrocknet sein. Steht kein Trockenschrank zur Verfügung, kann der Boden mehrere Tage auf Papier zum Trocknen ausgebreitet werden.

Das Verglühen des Humus sollte über der heißesten Flamme des Brenners geschehen, da ansonsten der Humus zunächst inkoht, was mit einer intensiven Geruchsentwicklung einhergeht. Nach dem Glühvorgang wird durch die Bestimmung des Gewichtsverlustes der Kohlenstoffgehalt der Bodenprobe bestimmt, da dieser als CO<sub>2</sub> aus der Probe entweicht. Da organische Substanz 58 % Kohlenstoff enthält, kann durch Multiplikation mit dem Faktor 1,724 aus der bestimmten Kohlenstoffmenge der Humusgehalt des Bodens ermittelt werden.

Die besten Versuchsergebnisse lassen sich mit Proben aus dem Oberboden eines Ackers erzielen, da hier ein ausreichender Gehalt an organischer Substanz vorhanden ist. Reine Garten- oder Komposterde eignet sich hingegen weniger, da diese in der Regel zu hohe Humusgehalte aufweisen und nach dem Ausglühvorgang zu wenig Restmaterial übrig bleibt.



A34 | Ausglühen des Humusanteils mit Hilfe des Bunsenbrenners.






Tabelle | Beispiel für die Auswertetabelle.

Bodenprobe	Gewicht vor dem Glühen (inkl. Schale) <b>A</b>	Gewicht nach dem Glühen (inkl. Schale) <b>B</b>	Kohlenstoffgehalt (C) in % ((A - B) x 100)/A	Humusgehalt H = C * 1,724	Einschätzung des Bodens (nach Tabelle rechts)
1					
2					



# Wie viel Humus enthält meine Bodenprobe?

## Materialien


-  verschiedene Bodenproben (am besten Oberboden eines Ackers)
-  Mörser, Tiegel oder Porzellanschale, Waage, Glasstab
-  Bunsenbrenner, Dreifuß, Tiegelzange, Feuerzeug
-  Schutzbrille
-  Schutzhandschuhe




## Durchführung

**Bei der Benutzung des Brenners Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen!  
Die heiße Porzellanschale nur mit der Tiegelzange anfassen!**



 Zerkleinere – falls nötig – verklumpte Teilchen deiner Bodenprobe mit dem Mörser. Wiege 10 g der Probe in einer Porzellanschale ab. Notiere das Gesamtgewicht von Probe und Schale und trage es in eine Tabelle ein. Stelle die Porzellanschale auf den Dreifuß und den Bunsenbrenner darunter. Lasse die Probe 20 – 30 Minuten lang über der heißen Flamme glühen und rühre sie ab und zu mit dem Glasstab um. Drehe danach die Flamme ab und lasse den Brenner und die Schale mindestens 20 Minuten lang abkühlen. Wiege die Schale mit der ausgeglühten Probe erneut.




 Notiere das Gesamtgewicht von ausgeglühter Probe und Schale und trage es in deine Tabelle ein. Ergänze:  
**Der Gewichtsverlust entspricht dem Verlust an K....., der sich mit dem Sauerstoff der Luft zu CO<sub>2</sub> verbunden hat und der Probe entwichen ist.**



 Wiederhole die Durchführung ggf. für weitere Bodenproben.



 **Ermittle durch Differenzbildung die Kohlenstoffgehalte deiner Bodenprobe. Berücksichtige diesen Rechenschritt bereits beim Anlegen deiner Tabelle. Berechne aus dem ermittelten Kohlenstoffgehalt durch Multiplikation mit dem Faktor 1,724 den Humusgehalt der Bodenprobe. Die Verwendung dieses Faktors setzt ein bestimmtes allgemeingültiges Verhältnis von Kohlenstoff zu Humus voraus. Berechne dieses in Gewichts-%.**

Humusgehalt in Gewichts-%	Bezeichnung des Bodens	Symbol
< 1	sehr schwach humos	h1
1 – 2	schwach humos	h2
2 – 4	mittel humos	h3
4 – 8	stark humos	h4
8 – 15	sehr stark humos	h5
15 – 30	extrem humos	h6
> 30	organische Lagen	H

**Vergleiche das Ergebnis mit den angegebenen Werten und schätze den Bodennach seinem Humusgehalt ein. Füge deiner Tabelle eine Spalte mit der Bewertung des Humusgehaltes an.**

## AB6 Bodenluft

### Hintergrund

Poren machen bis zu 50 Vol.-% des Bodens aus. Der Gehalt an Bodenluft in ihnen verhält sich gegenläufig zu dem des Bodenwassers und ist somit sehr variabel. Eine gute Durchlüftung des Bodens ist Voraussetzung für das Gedeihen der Bodenorganismen bzw. für das Pflanzenwachstum. Sie benötigen beide zur Energiefreisetzung durch Atmung Sauerstoff aus der Luft und geben Kohlendioxid ab. Je größer das Porenvolumen des Bodens ist, desto besser ist er durchlüftet. Das hat zur Folge, dass Böden mit größeren Bodenteilchen (z. B. Sand) besser durchlüftet sind als solche mit feiner Körnung (v. a. Tonböden). Ein hoher Humusgehalt im Boden fördert die Durchlüftung, weil der Boden dadurch eine stabilere (Poren-) Struktur erhält.

Der hier durchgeführte Versuch bestimmt das Volumen der im Boden befindlichen Luft durch ihre Verdrängung durch Wasser. Dazu wird die Bodenprobe in ihrem Probenahmegefäß (Konservendose) in einen Messbecher mit einer bekannten Wassermenge gestellt. Unter der Annahme, dass das aufgenommene Wasser die gesamte und ursprünglich in der feldfrischen Bodenprobe befindliche Luft verdrängt, kann aus dem „Wasserverlust“ auf das Volumen der Bodenluft geschlossen werden. Wird die Bodenprobe zunächst über einen Zeitraum von einigen Tagen getrocknet, wird das gesamte Porenvolumen bestimmt.

Tabelle | Vergleich der Zusammensetzung von atmosphärischer Luft und Bodenluft.

Bestandteile der Luft	Atmosphärische Luft	Bodenluft (gut durchlüftet)
Stickstoff	78 %	79–83 %
Sauerstoff	21 %	18–21 %
Kohlendioxid	0,03 %	1–2 %
andere	0,97 %	bis 1 %







A35 | Deformierte Proben-dose zur Ermittlung der Bodenluft.

### Hinweise zur Versuchsdurchführung

Bei der Wahl der Konservendose muss darauf geachtet werden, dass die Wandung stabil genug ist, damit die Dose beim Einschlagen in den Boden nicht zerstört wird (an Ersatzdose denken).


# Wie viel Luft steckt in meiner Bodenprobe?

## Materialien


-  pro Bodenprobe eine leere Konservendose (am besten 320 ml) ohne Deckel und mit Löchern im Boden, eine nicht geöffnete Konservendose gleicher Größe (Kontrolldose)
-  2 Messbecher oder Messzylinder (mit feiner Skala), Folienstift
-  Spaten, Hammer, Holzbrettchen
-  verschiedene Bodenproben, Wasser

## Durchführung


### Feldarbeit

-  Suche dir eine Stelle zur Probenahme aus, die nicht zu dicht bewachsen ist und keine Steine an der Oberfläche besitzt. Drücke die leere Konservendose mit der Öffnung nach unten vorsichtig in den Boden. Lege danach das Holzbrettchen auf die Dose und schlage sie vorsichtig mit dem Hammer weiter in den Boden. Die Dose muss soweit eingeschlagen werden, dass nur noch der gelöcherte Dosenboden erkennbar ist. Grabe die Dose vorsichtig wieder aus, ohne dass dabei der Boden aus der Dose rutscht.


### Bestimmung des Dosenvolumens

-  Fülle Wasser in einen Messbecher und markiere mit einem wasserfesten Folienstift den Wasserstand. Drücke die nicht geöffnete Dose (Kontrolldose) in den wassergefüllten Messbecher und achte darauf, dass sie vollständig eintaucht. Markiere mit dem Folienstift den neuen Wasserspiegel. Nimm die Kontrolldose vorsichtig wieder aus dem Wasser heraus und achte darauf, dass du möglichst wenig Wasser verschüttest. Berechne aus der Differenz der beiden Wasserstände das Volumen der Dose und notiere es!

### Bestimmung des Luftvolumens der Feldprobe

-  Stelle die Dose mit der Bodenprobe kopfüber in den anderen Messbecher. Achte darauf, dass kein Boden aus der Dose herausfällt. Am besten stülpst du den Messbecher über die Dose und drehst beide danach um. Fülle nun das Wasser aus dem ersten Messbecher in den zweiten ein. Warte eine Zeit lang, bis sich der Wasserspiegel nicht mehr ändert, und markiere den Wasserstand mit dem Folienstift.



-  **Erkläre, warum sich im Vergleich zur nicht geöffneten Kontrolldose ein niedrigerer Wasserspiegel im Messbecher einstellt. Berechne das Luftvolumen der Bodenprobe, indem du die Wasserstände im ersten und zweiten Messbecher vergleichst und notiere dein Ergebnis.**

-  **Wiederhole den Vorgang mit Proben von anderen Standorten.**



-  **Warum verhalten sich verschiedene Bodenproben eventuell anders?**



-  **Bei welcher Bodenart erwartest du das größte Porenvolumen?**

DVD | Hinweise zur physikalischen Verwitterung.

## AB7 Physikalische Verwitterung

### Hintergrund

Böden sind ein Gemisch aus verwitterten Gesteinsbruchstücken, Tonmineralien und organischer Substanz, die sich in langen Zeiträumen unter dem Einfluss von Klima, Organismen und Gesteinen entwickelt haben. Die Vorgänge, durch die Gesteine unter den genannten Bedingungen einer fortschreitenden Zerstörung unterliegen, werden als Verwitterung bezeichnet. Bei der physikalischen Verwitterung wird festes Gestein durch mechanische Prozesse aufgelockert und zerkleinert. Die chemische Zusammensetzung des Gesteins bleibt erhalten.

A36 | Natürliche Pflanzenkräfte.



Gesteine weisen natürliche Schwächezonen auf, an denen sie bei den physikalischen Verwitterungsvorgängen aufbrechen. Diese Trennflächen öffnen sich bereits geringfügig, wenn das Gestein durch die Abtragung der Gebirge an die Erdoberfläche kommt und sich – entblößt von der Gesteinsüberlast – entspannen kann. Die Trennfugen stellen nun eine Angriffsfläche für die Verwitterung dar.

Ein wichtige Rolle bei der physikalischen wie auch bei der chemischen Verwitterung spielt Wasser, das in Risse und Spalten innerhalb des Gesteins eindringt. Zu den physikalischen Verwitterungsformen gehört die Frostsprengung. Gefriert das Wasser in den Rissen und Spalten des Gesteins und dehnt sich dabei bis zu 9 % seines ursprünglichen Volumens aus, entstehen starke, nach außen gerichtete Kräfte. Diese sind groß genug, um Spalten zu erweitern und das Gestein zu zerbrechen. Auch Pflanzenwurzeln können in das Riss- und Spaltensystem der Gesteine eindringen und hohe Wachstumsdrücke erzeugen, die das Gestein sprengen. Hohe, in kurzer Zeit ablaufende Temperaturschwankungen tragen ebenfalls zur Gesteinszerstörung bei. Die Ursache dieser Temperaturverwitterung liegt in den unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Minerale eines Gesteins bei Temperaturveränderungen. Diese Art der Verwitterung ist vor allem in Wüstengebieten anzutreffen, da hier große Gegensätze zwischen den Tag- und Nachttemperaturen vorherrschen.

### Hinweise zur Durchführung der Versuche Frostsprengung AB7a

Die besten Ergebnisse zur Frostsprengung werden mit porösen Gesteinen erzielt, da hier das Wasser gut in die Poren eindringen kann. Die Poren dürfen allerdings nicht zu groß sein, damit sich das Wasser im Gestein hält. Geeignet sind feinkörnige Sandsteine, Tonsteine oder auch im Baumarkt erhältliche künstliche Bausteine. Sehr dichte Gesteine wie Granit, Gneis oder Kalkstein eignen sich dagegen weniger. Solche Gesteine sind in

der Natur in der Regel nur frostanfällig, wenn sie von Spalten und Klüften durchzogen sind, in die das Wasser eindringen kann. Um den Porenraum des Gesteins ausreichend mit Wasser zu füllen, bietet es sich an, das Gestein wiederholt aus dem Gefrierschrank zu nehmen, kurze Zeit (wenige Minuten) auftauen zu lassen und es anschließend nochmals mit kaltem Wasser zu übergießen (dieses im Gefrierschrank auf Temperaturen knapp über den Gefrierpunkt abkühlen). Dabei frieren weitere Wassermoleküle an die in den Poren befindlichen Eiskristalle an.

## Temperaturverwitterung AB7b

Hier handelt es sich um einen Modellversuch, was den Schülern bewusst gemacht werden sollte. Die extremen Temperaturschwankungen, wie sie im Versuchsverlauf durch die Verwendung einer Flamme erzeugt werden, kommen in der Natur nicht vor (Ausnahme Feuer).

Bei der Versuchsdurchführung muss berücksichtigt werden, dass die Durchwärmung und damit Ausdehnung der Gesteine längere Zeit benötigt. Dazu sollten sie mit der Griffzange in die heißeste Flamme des Bunsenbrenners gehalten werden. Da Gesteine eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen, wird nur eine verhältnismäßig dünne äußere Schale ausreichend erhitzt. Die besten Ergebnisse sollten bei Gesteinen erzielt werden, die grobkörnig sind und verschiedene Minerale mit unterschiedlicher Größe besitzen (z. B. Granite). Im Regelfall lassen sich die Ergebnisse durch die Verwendung schon angewitterter Gesteine verbessern. Sind keine grobkörnigen Gesteine vorhanden, kann der Versuch auch mit Tonsteinen durchgeführt werden, da diese durch ihren feinelagigen Aufbau dazu neigen, schalig abzuplatzen.

Um sehen zu können, dass auch kleinste Partikel von den Gesteinen abgesprengt werden, hat es sich bewährt, die Gesteine in einem sauberen, weißen Eimer abzukühlen, da hier die Kontraste deutlicher sind.

## Quellungs- und Wachstumskräfte AB7c

Im belebten, durchwurzelteten Bereich der Böden ist die Verwitterung meist intensiver als im unbelebten Bereich. Dazu tragen vor allem Pflanzenwurzeln und niedere Vertreter der Bodenflora wie Bakterien, Algen oder Pilze bei. Die Verwitterungswirkung der Bodenflora liegt dabei hauptsächlich in der Abgabe von biologisch produzierten Säuren (z. B. während des Streuabbaus), weshalb die ablaufenden Mechanismen im Prinzip denen der chemischen Verwitterung gleichen. Darüber hinaus kann jedoch auch eine mechanische Verwitterung durch Pflanzenwurzeln eintreten. In diesen Fällen dringen zunächst die äußerst feinen Haarwurzeln der Pflanzen in Risse und Spalten der Gesteine ein. Beim weiteren Pflanzenwachstum nimmt der Durchmesser der

Wurzeln zu und es entstehen zum Teil sehr starke Drücke (Turgordruck), die dazu führen, dass die Risse erweitert werden und das Gestein mechanisch zerstört wird.

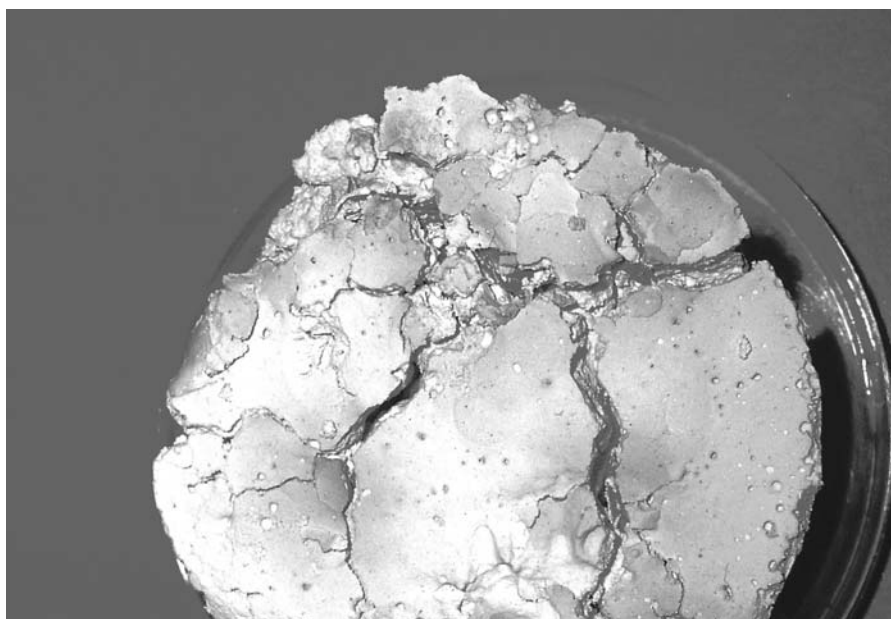
Der Modellversuch soll nicht die Wurzelsprengung demonstrieren, sondern vielmehr die allgemeine Wirkung von Pflanzen auf die Gesteinsverwitterung. Dazu wird die Eigenschaft von getrockneten Erbsen oder Linsen genutzt, bei Wasserzugabe aufzuquellen und damit ihr Volumen zu vergrößern. Die dabei entstehenden Quellungskräfte sind so groß, dass sie im Gips, in den sie zuvor eingebettet wurden, Risse erzeugen. Beim Anrühren des Gipses muss auf das richtige Mischungsverhältnis zwischen Gips und Wasser geachtet werden, damit ein möglichst zäher Brei entsteht. Je nach verwendetem Gips kann es unterschiedlich lange dauern, bis der Gips eine ausreichende Härte erreicht hat. Aus diesem Grund sollten die zu verwendenden Joghurtbecher nicht zu groß sein, damit durch das kleinere Volumen eine möglichst kurze Aushärtezeit gegeben ist.

## Wichtige Gefahrenhinweise

Beim Benutzen des Bunsenbrenners muss immer darauf geachtet werden, dass sowohl Schutzbrille als auch Schutzhandschuhe getragen werden (Verbrennungs- und Splittergefahr). Die Gesteine sind zudem nur mit einer Tiegelzange in die Flamme zu halten.






A37 | Wurzelsprengung von Kressesamen in Gips.





# Väterchen Frost als Sprengmeister

## Materialien

-  1 Plastikflasche mit Schraubverschluss
-  Geschirrtuch oder Handtuch
-  Gefriertruhe/Gefrierschrank

## Durchführung

-  Fülle die Plastikflasche randvoll mit Wasser. Verschließe die Flasche mit dem Schraubverschluss (fest zudrehen!) und umwickele sie mit dem Tuch. Lege die Flasche in die Gefriertruhe.
-  Warte etwa einen Tag lang und überprüfe dann, was geschehen ist.

## Meine Beobachtung und Erklärung:



---





---

## oder

## Materialien

-  Becherglas oder Plastikschaale, Wasser, Gefriertruhe/Gefrierschrank
-  poröse Steine (Sandsteine, Tonsteine, Bimsstein, poröser künstlicher Baustein)

## Durchführung

-  Wässere die Steine etwa 30 min. lang, indem du sie in ein mit Wasser gefülltes Becherglas legst. Trockne sie danach ab und lege sie in einem trockenen Becherglas oder einer Plastikschaale über Nacht in die Gefriertruhe.
-  Wiederhole gegebenenfalls den Tau- und Frostwechsel mehrmals, indem du die Steine wieder wässerst und danach wieder in die Gefriertruhe legst.

## Meine Beobachtung und Erklärung:

---







---



Wo können wir die Folgen des Frosts im Alltag entdecken?

# Heiß und kalt – Wie Temperatur den Steinen zusetzt



## Materialien

-  kleine Steine unterschiedlicher Art, Wasser, Eiswürfel (Durchmesser max. 5 cm)
-  sauberer, weißer Eimer (5 Liter)
-  Bunsenbrenner, Tiegelzange, Feuerzeug
-  Schutzbrille, Schutzhandschuhe



**Bei der Benutzung des Brenners Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen.  
Die Steine nur mit der Tiegelzange in die Flamme halten!**

## Durchführung

-  Fülle kaltes Wasser in einen Eimer und gib einige Eiswürfel hinzu. Halte einen der Steine 5 – 10 min. in die heißeste Flamme des Bunsenbrenners.
-  Schrecke den erhitzten Stein im Eiswasser ab, indem du ihn einfach hineinfallen lässt (nicht mit der Zange eintauchen!).



**Notiere deine Beobachtung und erkläre diese:**




---





---

# Kleine Sprengmeister – Pflanzen machen sich Platz

## Materialien

-  getrocknete Erbsen oder Linsen, Gips
-  1 kleiner Joghurtbecher
-  Wasser, 1 kleiner Löffel, Teller

## Durchführung

-  Rühre den Gips nach der Gebrauchsanweisung des Herstellers im Joghurtbecher an. Drücke einige Erbsen oder Linsen in den Brei, bis sie nicht mehr zu sehen sind, und warte, bis der Gips hart geworden ist. Nimm den hart gewordenen Gipsblock aus dem Joghurtbecher und lege ihn auf eine Unterlage (z. B. Teller).
-  Schaue nach bestimmten Zeitabständen (1, 6 und 24 Stunden), ob sich der Gipsblock verändert hat.



**Notiere deine Beobachtung und erkläre diese:**

---



---

## AB8 Chemische Verwitterung

### Hintergrund

Die chemische Verwitterung beruht auf chemischen Reaktionen zwischen den Bestandteilen der Gesteine und des Bodens mit im Wasser gelösten Stoffen (z. B. Säuren). Einige Gesteinsminerale besitzen eine hohe Löslichkeit und unterliegen dabei vorwiegend der Lösungsverwitterung. Sie wirkt sich besonders in Gesteinen aus, die relativ leicht lösliche Alkali- und Erdalkalisalze enthalten (z. B. Steinsalz, Gips, Anhydrit). Andere Minerale verbinden sich beispielsweise mit dem Sauerstoff der Luft oder in der Bodenlösung (vor allem wenn sie Elemente in reduzierter Form im Kristallgitter besitzen, z. B.  $\text{Fe}^{2+}$ ; = Oxidationsverwitterung).

Die wichtigsten Agenzien der chemischen Verwitterung sind das Wasser, die darin gelösten Säuren (Hydrolytische Verwitterung, ► Modul A „Was ist Boden?“) und Salze sowie verschiedene Gase. In Gebieten mit hohen Anteilen an kalkhaltigen Gesteinen (Kalkstein und Dolomit) spielt die Kohlensäure-Verwitterung eine große Rolle. Hier kommt es zur Lösung des Calciumcarbonats ( $\text{CaCO}_3$ ) durch die im Wasser gelöste Kohlensäure.

Die chemische Verwitterung geht häufig mit Mineralneubildungen und einer Freisetzung von in den Mineralen fixierten Nährstoffen einher. Die Wirksamkeit und somit die Intensität der chemischen Verwitterung sowie der Mineralneubildung ist stark temperaturabhängig. So sind beide in den Kälte- (zu kalt) und Wärmewüsten (zu trocken) nahezu ohne Bedeutung, stellen aber in den (sub)humiden Tropen den wichtigsten Faktor der Verwitterung dar.

Durch die Abgabe von Wasserstoffionen bei der Nährstoffaufnahme haben Pflanzen große Bedeutung für die biochemische Verwitterung.

### Hinweise zur Versuchsdurchführung

Für die Durchführung der Versuche sollten Gesteine in großer Anzahl vorhanden sein. Insbesondere an Kalksteinen lässt sich die Wirkung von Säuren gut verdeutlichen (Bläschenbildung bei Säureaufgabe). Bei Graniten, Sandsteinen oder den meisten metamorphen Gesteine laufen die Säurereaktionen zu langsam ab, um sie beobachten zu können. Reaktionen mit Salzsäure oder Essig in diesen Gesteinen beruhen auf sekundären Kalkgehalten (z. B. durch Verwitterung; vor der Versuchsdurchführung testen!).



#### Wichtiger Gefahrenhinweis:

*Bei der Verwendung von Säure ist auf die ordnungsgemäße Handhabung und die jeweiligen Sicherheitshinweise zu achten. Um mögliche Gefahren bei der Durchführung des Versuchs mit Salzsäure zu vermeiden, kann der Versuch auch mit Essig, Essigessenz oder Zitronensaft durchgeführt werden. Damit die Wirkung des Essigs verstärkt wird, kann man diesen erwärmen (Geruchsentwicklung!).*






A38 | Aufschäumen und  $\text{CO}_2$ -Bildung als Reaktion von Salzsäure mit Karbonatgestein.



# Chemielabor Boden – Wenn Säuren auf Gesteine einwirken


## Materialien

-  Bechergläser
-  Essigessenz oder Essig (evtl. 10%-ige Salzsäure, keine konzentrierte Salzsäure!)
-  verschiedene Gesteine (z. B. Sandsteine, Tonsteine, Granit, Kalksteine)

## Durchführung und Auswertungen

**Beim Umgang mit Salzsäure auf die Gefahrenhinweise achten!**




-  Lege ein Gesteinsstück in ein Becherglas.  
Fülle das Becherglas zunächst mit so viel Wasser auf, dass das Gesteinsstück vollständig bedeckt ist.



**Notiere deine Beobachtung:** \_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

-  Lege in ein zweites Becherglas ein weiteres Gesteinsstück und gib langsam ein wenig Essigessenz oder Zitronensaft hinzu, bis die Probe halb bedeckt ist.



**Notiere deine Beobachtung:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_


-  Nimm ein drittes Gesteinsstück, lege dies ebenfalls in ein Becherglas und gib wenige Tropfen Salzsäure direkt auf die Probe.



**Notiere deine Beobachtung:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



-  Führe den Versuch mit verschiedenen Gesteinen durch.



**Erkläre deine Beobachtungen:** \_\_\_\_\_



\_\_\_\_\_


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



-  Gibt es Unterschiede in der Reaktion bei verschiedenen Gesteinen?



-  Durch welchen Stoff wird die chemische Verwitterung beschleunigt?

## AB9 pH-Wert von Böden

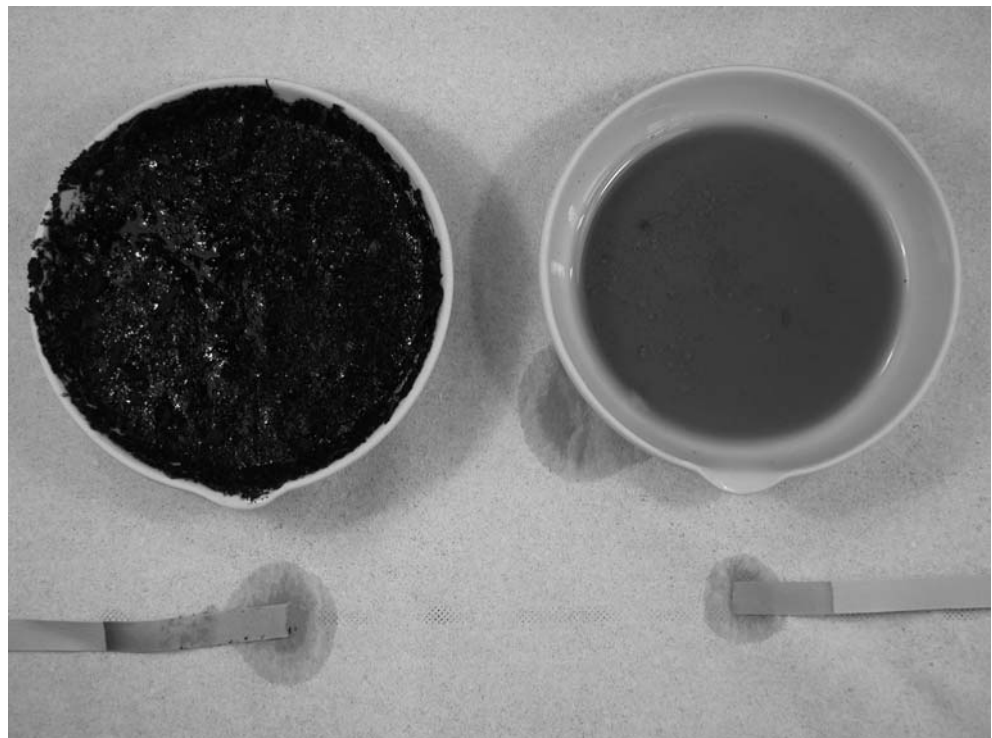
### Hintergrund

Böden besitzen ein sehr unterschiedliches chemisches Milieu bzw. eine unterschiedliche Bodenreaktion, die über den pH-Wert charakterisiert ist. Die Bodenreaktion wird entscheidend durch das Ausgangsgestein für die Bodenbildung geprägt. Böden, die aus sauren Gesteinen (das sind Gesteine mit einem hohen Gehalt an  $\text{SiO}_2$ , meist erdalkaliarm, z. B. Granit) entstanden sind, zeigen im Regelfall eine saure, Böden aus basischen (Basalte) oder kalkhaltigen Gesteinen (Kalkstein) eine alkalische Bodenreaktion. Der pH-Wert des Bodens wird allerdings auch von der Vegetation durch die Produktion von organischen Säuren beeinflusst.

Seit Beginn der Industrialisierung prägen zusätzlich Einträge saurer Immissionen (z. B.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ) den pH-Wert unserer Böden.

Auf bereits primär sauren Böden führen diese Einträge zum Teil zu einer weiteren erheblichen „Versauerung“. Dabei können durch das saure chemische Milieu nicht selten Schadstoffe freigesetzt werden (► Modul C Waldböden, ► Modul F Schadstoffe).

Der pH-Wert eines Bodens steuert entscheidend die Verwitterungsvorgänge wie auch die bodenbildenden Prozesse. Von ihm hängen insbesondere das Pflanzenwachstum und die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die Pflanzen ab. Für die meisten Pflanzen günstige pH-Werte liegen im mäßig sauren bis schwach basischen (alkalischen) Bereich. In Abhängigkeit von der Bodenart und vom Humusgehalt des Bodens werden von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft die in nebenstehender Tabelle eingetragenen pH-Werte für den Ackerbau empfohlen.



A39 | pH-Wertermittlung in Humus durch Teststäbchen (links; pH-Wert 7, grünliche Färbung des Stäbchens) und Sandboden (rechts; pH-Wert 5, orange Färbung des Teststäbchens).

Bodenart	Humusgehalt in %		
	< 4	4,1 – 15,0	15,1 – 30,0
Sand	5,4 – 5,8	4,7 – 5,4	4,3 – 4,7
schwach lehmiger Sand	5,8 – 6,3	5,0 – 5,9	4,6 – 5,1
stark lehmiger Sand bis schluffiger Ton	6,2 – 6,8	5,3 – 6,4	4,9 – 5,6
toniger Lehm bis Ton	6,6 – 7,2	5,7 – 6,7	5,3 – 5,9

Tabelle | Anzustrebender pH-Wert bei ackerbaulich genutzten Böden in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt.

### Hinweise zur Versuchsdurchführung

Je nach Ausstattung kann die Bestimmung des pH-Wertes entweder mit Universalindikatorpapier oder einem pH-Meter erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass das Filtrat möglichst keine Bodenpartikel mehr enthält, die beim Eintauchen des Indikatorpapiers daran kleben bleiben und eine andere Farbe vortäuschen könnten.

Bei der Zusatzaufgabe sollte sich der pH-Wert der Blumenerde nach Zugabe der Säure nur wenig ändern. Nicht geeignet ist im Regelfall torfreiche Gartenerde, hingegen lassen sich mit frischer Komposterde sehr gute Resultate erzielen. Die nur geringe Änderung des pH-Wertes bei Zugabe von Säure auf die Blumenerde (Komposterde) ist darin begründet, dass die humusreiche Blumenerde basisch wirkende Kationen besitzt, welche die Wasserstoffionen der Säure abpuffern. Gleichzeitig sind nur wenige sauer wirkende Stoffe in der Blumenerde vorhanden, wodurch die Zugabe von basisch wirkenden Stoffen (Seifenlauge) nicht ausgeglichen werden (neutralisiert) werden kann. In diesem Falle ist ein pH-Wert-Anstieg in den alkalischen Bereich zu beobachten. Da die Pufferwirkung




der Gartenerde von deren Qualität abhängt, ist es sinnvoll, den Versuch zunächst selbst durchzuführen. Dabei sollte bestimmt werden, wie viele Tropfen des Zitronensaftes und der Seifenlauge höchstens zugefügt werden sollten, damit sich ein sinnvolles Ergebnis einstellt (damit die Pufferkapazität nicht überschritten wird).

### pH-Wert und Indikatorlösung






In den unteren Jahrgangsstufen lässt sich die Wirkungsweise von natürlichen Indikatorlösungen besonders gut demonstrieren. Geeignet hierzu ist der Saft von gekochtem Blaukraut. Dazu wird klein geschnittenes Blaukraut (halbe Frucht) mit reichlich Wasser (> 2 Liter) und ohne weitere Zusätze gekocht, bis das Wasser einen kräftigen Farbton hat. Die Flüssigkeit wird anschließend durch ein Sieb in Flaschen abgefüllt. Wird dem Saft Säure (z. B. Zitronensäure) zugefügt, färbt sich die Flüssigkeit rot (vgl. Rotkraut). Bei Zugabe von Natron erfolgt ein Umschlag nach Blau/Violett (vgl. Blaukraut). In diesem Zusammenhang bietet sich die Verwendung der Abb. A20 (► Modul A „Was ist Boden?“) mit den dort gewählten Farben an.

# Welchen pH-Wert hat mein Boden?

## Materialien

-  verschiedene Bodenproben (z. B. Sand, Ton, Komposterde)
-  Bechergläser, Trichter, Glasschälchen, Papierfilter
-  destilliertes Wasser, Universal-Indikatorpapier oder pH-Meter

## Durchführung

-  Gib etwas von jeder Bodenprobe in verschiedene Bechergläser und fülle diese bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser auf.
-  Rühre Wasser und Bodenproben gut um und lasse diese anschließend etwa 10 Minuten lang stehen.
-  Gib einen Papierfilter in einen Trichter und filtriere das Gemisch aus Boden und Wasser in ein anderes Becherglas.
-  Halte einen Streifen Indikatorpapier in die aufgefangene Bodenlösung, bis sich der Streifen verfärbt. Achte darauf, dass das Destillat nach dem Filtrieren keine Bodenpartikel mehr enthält, die am Indikatorpapier festkleben können.
-  Vergleiche die Farbe des Streifens mit der pH-Skala an der Verpackung.

Trage die Werte in die Tabelle ein.

## Meine Ergebnisse:



	Bodenprobe 1	Bodenprobe 2	Bodenprobe 3
pH-Wert			



**Erkläre deine Beobachtungen und versuche eine Beziehung zwischen pH-Wert und dem Charakter des Bodens herzustellen:**




---



---







---




---

# Hoppla – Wer puffert die Säure und Lauge?

## Materialien

-  Komposterde oder Blumenerde, Sandboden
-  Bechergläser, Trichter, Glasschälchen, Papierfilter
-  destilliertes Wasser, Universal-Indikatorpapier oder pH-Meter
-  Zitronensaft oder Essig, Seifenlauge

## Durchführung (wie Schüleraktivität AB9a)

 Gib etwas von der Komposterde in drei Bechergläser und fülle diese bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser auf. Rühre Wasser und Bodenprobe gut um und gib in das zweite Becherglas einige Tropfen des Zitronensaftes, in das dritte einige Tropfen der Seifenlauge (am besten die Tropfen zuerst in einen kleinen Messbecher geben, damit das gleiche Volumen verwendet wird). Rühre nochmals gut um und lasse die Bechergläser anschließend etwa 10 Minuten lang stehen. Gib in der Zwischenzeit die gleiche Tropfenmenge Zitronensaft und Seifenlauge in je ein Becherglas, das du zuvor bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser gefüllt hast. Bestimme jeweils den pH-Wert dieser hergestellten Lösungen, indem du einen Streifen Indikatorpapier 1–2 Sekunden in Lösung tauchst. Vergleiche die Farbe des Streifens mit der pH-Skala an der Verpackung. Gib anschließend einen Papierfilter in einen Trichter und filtriere das Gemisch aus Boden und Wasser der Bodenprobe ohne Zusatz in ein weiteres Becherglas. Achte darauf, dass das Filtrat keine Bodenpartikel mehr enthält, die am Indikatorpapier festkleben könnten. Halte einen Streifen Indikatorpapier 1 - 2 Sekunden in das Filtrat und schüttele anschließend überschüssige Flüssigkeit vorsichtig vom Teststreifen ab. Vergleiche die Farbe des Streifens mit der pH-Skala an der Verpackung. Trage den gemessenen Werte in die Tabelle ein und verfähre anschließend in der gleichen Weise mit den Bodenproben, denen du den Zitronensaft und die Seifenlauge zugegeben hast. Führe den Versuch mit der Bodenprobe aus dem Sandboden durch. Trage die gemessenen Werte in die Tabelle ein.

## Meine Ergebnisse:



	Komposterde 1 (ohne Zusatz)	Komposterde 2 (mit Zitronensaft)	Komposterde 3 (mit Lauge)
pH-Wert			
	Sandboden (ohne Zusatz)	Sandboden (mit Zitronensaft)	Sandboden (mit Lauge)
pH-Wert			



**Erkläre deine Beobachtungen:**

---



---



# Arbeitshilfen

## zur Bestimmung wichtiger Bodeneigenschaften

### A: Roll- und Hörprobe zur Bestimmung der Bodenart

1. Versuche die Probe zwischen den Handtellern schnell zu einem bleistiftdicken Wurm auszurollen.
  - a) klappt nicht → Sand
  - b) klappt → sandiger Lehm, Lehm oder Ton
2. Quetsche die Probe zwischen Daumen und Zeigefinger in Ohrnähe.
  - a) starkes Knirschen → sandiger Lehm
  - b) kein oder schwaches Knirschen → Lehm oder Ton

### B: Schlämmanalyse zur Bestimmung der Bodenart

1. Entferne zuerst kleine Steinchen und Pflanzenreste aus der Bodenprobe.
2. Fülle ca. 100 ml Boden in die Probenflasche.
3. Fülle danach die Flasche bis etwa zur Hälfte mit Wasser auf.
4. Verschließe die Flasche, schüttele sie kräftig durch und lasse sie anschließend 10 Minuten stehen.
5. Es werden sich von unten nach oben absetzen: grober Sand, feiner Sand, Schluff, Ton (Feinton verbleibt oft noch in der Trübe).
6. Benenne die Bodenart (Die dickste Schicht gibt den ersten Namen, z. B. Sand. Die zweitdickste beschreibt die Bodenart näher, z. B. schluffiger Sand. Sind alle drei Hauptbodenarten gleichmäßig vertreten, handelt es sich um Lehm.).
7. Miss ggf. die Höhen der jeweiligen Anteile aus. Bestimme die relativen Mengen und trage diese in das Dreiecksdiagramm ein.

### C: pH-Wert (Bodenreaktion)

1. Fülle einige Krümel der Bodenprobe in das Probengefäß.
2. Stelle eine Bodenlösung her, indem du destilliertes Wasser hinzugibst.
3. Schüttele die Probe und lasse sie mindestens 2 Minuten stehen.
4. Halte das pH-Teststäbchen kurz in die Bodenlösung und schüttele anschließend die Flüssigkeit ab. Bestimme den pH-Wert durch Vergleich mit der Farbskala.

## D: Kalkgehalt

1. Gib ca. 5 g Bodenprobe auf eine Petrischale.
2. Träufle einige Tropfen der 10%igen Salzsäure auf die Probe (Vorsicht ätzend!).
3. Beobachte die Reaktion.



Reaktion	Kalkgehalt
kein Aufbrausen	kalkarm bis kalkfrei
schwaches Aufbrausen	schwach kalkhaltig
deutliches, aber nicht anhaltendes Aufbrausen	kalkhaltig
lang anhaltendes Aufbrausen	kalkreich

## E: Beurteilung der Stabilität der Krümelstruktur

Gib ca. 10 Krümel mit einem Durchmesser von 2 – 3 mm in eine Hälfte einer Petrischale. Gib so viel destilliertes Wasser in die Schale, dass die Bodenkrümel zu ca. 2/3 im Wasser liegen. Schließe die Schale und schüttele sie nach 10 Minuten kurz durch.

Beobachte das dabei entstehende Verschlammungsbild.

### Bewertung

- 1 = Krümel zerfallen in wenige große Bruchstücke oder bleiben erhalten.
- 2 = Krümel zerfallen in große und wenige kleine Bruchstücke.
- 3 = Krümel zerfallen zu gleichen Teilen in große und kleine Bruchstücke.
- 4 = Krümel zerfallen in vorwiegend kleine Bruchstücke.
- 5 = Krümel zerfließen.

**Herausgeber**

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