

## **Einfache Kurzversuche zum Thema Bodenchemie (Boden ist mehr als nur Dreck)**

### **Einleitung**

Eines der renommiertesten Fachjournale für Pedologie (Bodenkunde) heisst Geoderma, was so viel bedeutet wie Haut der Erde. Dies umschreibt den Boden bereits recht gut, denn es existieren tatsächlich Gemeinsamkeiten. Unsere Haut, wie auch der Boden, sind Grenzschichten, die in unmittelbarem und regem Stoff- und Energieaustausch mit der "Umwelt" stehen.

Wenn man nach einem regnerischen Spaziergang im Grünen nach Hause kommt, kann es schon einmal vorkommen, dass man an den Schuhen etwas nassen Boden auf dem Teppich verteilt. Es gibt wohl niemanden, der dies noch nicht erlebt hat. Aufgrund der charakteristischen Flecken, welche feuchte Erde auf Böden und Textilien hinterlässt, wird es häufig als etwas Schmutziges und Nutzloses aufgefasst, was es in diesem Fall eigentlich auch ist. Jedoch in anderen Fällen ist es das überhaupt nicht. Ohne Boden wäre lediglich unter Wasser eine hohe biologische Diversität möglich, denn schlussendlich basiert die hohe Biodiversität auf dem Vorhandensein von Vegetation, die ohne Erde äusserst spärlich wäre. Ausser ein paar Pilze und Flechten hätten keine autotrophen Organismen Überlebenschancen und das wäre doch eher eine magere Nahrungsquelle für etwaige Herbivoren. Unser Planet verdankt unter anderem also auch den Böden, dass er so grün und voller Leben ist, Sand- oder Steinwüsten sind auf lange Dauer doch etwas langweiliger als ein artenreicher, tropischer Urwald.

Die Richtung der menschlichen Entwicklung ist ebenfalls stark von der Nutzung des Bodens beeinflusst worden, denn ohne die fruchtbare Erde wäre es niemals zu einer landwirtschaftlichen Überproduktion pro Kopf gekommen; dies ist extrem wichtig, denn es machte die Diversifizierung der kulturellen Tätigkeiten möglich. Es mussten sich nämlich nicht mehr alle Familienmitglieder mit dem Aufreiben von Nahrung beschäftigen, was zu einer Spezialisierung verschiedener handwerklicher und geistiger Tätigkeiten innerhalb der Gesellschaft führte. Mit anderen Worten: wenn unsere Vorfahren nicht von den Vorteilen der landwirtschaftlichen Bodennutzung profitiert hätten, wären wir jetzt noch Jäger und Sammler. Anderes Beispiel: in Äthiopien und Kenia findet in gewissen Regionen eine so starke Bodenerosion statt, dass dort bereits in wenigen Jahrzehnten, lokal sogar in wenigen Jahren, nichts mehr wachsen kann. Wenn nicht genügend gegen die Bodenerosion unternommen wird, werden als unmittelbare Folge viele Millionen Menschen Hunger leiden, welche das neu entstandene Ödland verlassen müssen. Überall auf der Welt spielen sich ähnliche Vorgänge ab, wobei vor allem tropische und subtropische Gebiete davon betroffen sind.

Beim Boden handelt sich also keineswegs nur um Dreck, wie der Boden abschätzigerweise zum Teil genannt wird; im Gegenteil, es handelt sich um ein kostbares und faszinierendes Medium. Aus diesem Grund sollen hier, bevor wir uns dem praktischen Arbeiten zuwenden, ein paar Worte zu dessen Aufbau und Entstehung gesagt werden.

### **Bodenentstehung**

Boden ist die aus der Verwitterung des anstehenden geologischen Untergrundes hervorgegangene und mit organischen Substanzen angereicherte oberste Schicht der Erdoberfläche. Je nach der Art des Grundgesteins, aus welchem er entstanden ist, und den Einflüssen von Bodenlebewesen, Pflanzen und Klima, können Böden sehr unterschiedlich sein und entsprechend verschiedene Eigenschaften aufweisen.

Im Boden laufen viele physikalische, chemische und biologische Vorgänge ab. Seine Substanz unterliegt einer ständigen Veränderung und durchläuft im Zeitrahmen von Jahrtausenden bis Jahrmillionen einen gerichteten Reifungs- und Alterungsprozess. Gesteine, die sich an der Erdoberfläche befinden, werden durch physikalische Faktoren in lockeres Gestein zerlegt. Unter dem Einfluss von Wasser, Sauerstoff, Kohlendioxid und Strahlungswärme laufen chemische Prozesse ab, die dieses Gesteinsmaterial in seine Mineralbestandteile zerlegen, wobei auch neue Mineralien entstehen können. Die so entstandene Verwitterungsschicht wird von vielen Lebewesen besiedelt. Sind diese erst einmal in der Lage in den Boden einzudringen, so beschleunigen sie den Prozess. Bakterien, Pilze Flechten, Moose und Pflanzenwurzeln scheiden Säuren aus, die es ihnen ermöglichen Nährstoffe aufzunehmen. Wurzelwachstum führt zu einer weiteren Auflockerung des Bodens. So entsteht der Oberboden welcher aus einer Mischung von zersetztem Gestein, lebenden Organismen und teilweise zersetztem totem organischem Material (Humus) besteht.

Kurz und gut: wir haben also mehrere Faktoren, die bei der Pedogenese (Bodenentstehung) eine Rolle spielen. Ein Boden geht einerseits aus dem ursprünglichen Gestein des Untergrundes hervor, das folg-

lich Muttergestein genannt wird; andererseits spielen die so genannten Pionierpflanzen, wie beispielsweise die weiter oben erwähnten Flechten und Moose, ebenfalls eine sehr wichtige Rolle, weil sie Mineralien direkt aus den Gesteinen heraus lösen können und nach ihrem Ableben eine Quelle für organisches Material bilden. Schlussendlich bestimmen auch die klimatischen Umstände in welche Richtung die Bodenentwicklung gehen wird, je wärmer und feuchter, umso schneller verwittert das Muttergestein und das organische Material wird sehr viel schneller mineralisiert.

### Bodenaufbau

Gräbt man ein Loch in den Boden, so kommt im Aufriss das charakteristische Bodenprofil zum Vorschein. Obschon die Vielfalt sehr gross ist, kann man die Böden in der Regel in drei Horizonte gliedern. Das Muttergestein bildet den C- Horizont, gefolgt von dem B- Horizont, der aus stark verwittertem Muttergestein besteht. Beim A- Horizont ist das verwitterte, mineralische Material lediglich noch mit organischen Substanzen angereichert, wobei dessen Anteil 1 bis 2% beträgt. Bei natürlichen Böden, insbesondere Waldböden, kommt noch die Humusaufgabe hinzu, die als H- Horizont bezeichnet wird. Die erwähnten Bodenhorizonte können selbstverständlich noch weiter unterteilt werden, was hier jedoch nicht relevant ist.

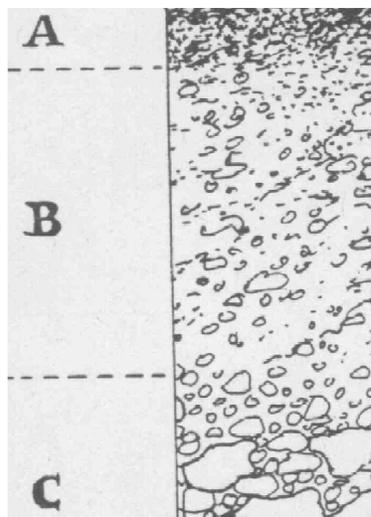


Abbildung 1: Bodenprofil mit den wichtigsten Bodenhorizonten A, B und C

Unter Feinboden- Körnung der anorganischen Bodensubstanz versteht man die Grösse der jeweiligen Partikel, wobei zwischen Sand (2 mm bis 63  $\mu\text{m}$ ), Schluff (63  $\mu\text{m}$  bis 2  $\mu\text{m}$ ) und Ton (2  $\mu\text{m}$  bis 63 nm) unterschieden wird; alle größeren Gesteinsbrocken (> 2 mm) gehören bereits zum so genannten Bodenskelett.

Die Körnung ist sehr wichtig, denn durch die Hohlräume zwischen der festen Bodensubstanz können Wasser und Gase hindurch strömen und die Pflanzenwurzeln entsprechend versorgen. Ausserdem bedeutet eine grosse innere Oberfläche, dass entsprechend viele ionische Nährstoffe gespeichert werden können. Im Durchschnitt besteht nur ca. 50% des Bodenvolumens aus festem Material, das restliche Volumen besteht aus Bodenporen und steht somit dem Wasser und der Bodenluft zur Verfügung. Das Porenvolumen wird von diesen beiden Medien etwa zu gleichen Teilen beansprucht, d.h.: die Lücken zwischen dem festem Bodenmaterial sind zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Die folgende Tabelle zeigt, wie der Boden den ihm zur Verfügung stehenden Raum ausfüllt.

Tabelle 1: Durchschnittliche Verteilung der drei Phasen eines fruchtbaren Bodens

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Wasser              | 25% |
| Luft                | 25% |
| feste Bodensubstanz | 50% |

### Der Boden als Ionentauscher aufgrund von entsprechenden Oberflächenladungen

Die Ionenaustausch-Eigenschaften von Böden ist aufgrund von entsprechenden Oberflächenladungen möglich; negative Oberflächen adsorbieren Kationen und positive Oberflächen entsprechend Anionen. Die Kapazität der Anionenadsorption eines Bodens ist vom vorherrschenden pH-Wert abhängig und zudem sehr viel weniger stark ausgeprägt als die Adsorption der Kationen.

#### Permanente Ladung: Negative Oberflächenladung der Silicate aufgrund des isomorphen Ersatzes

Es gibt verschiedene Tonmineralien, wobei sie stets aus Silicaten bestehen. Insbesondere die Dreischichtminerale Illit, Vermiculit und Smectit (Verwitterungsprodukte von Glimmer) weisen eine hohe negative Oberflächenladung auf. Aufgrund des isomorphen Ersatzes von  $\text{Si}^{4+}$  durch  $\text{Al}^{3+}$  in den Tetraederschichten, erhält die Oberfläche eine negative Ladung, welche durch die Adsorption von Kationen kompensiert wird. Weil diese negative Ladung aufgrund der Silicat- Struktur zustande kommt, ist sie von den äusseren Bedingungen unabhängig, man spricht folglich von der permanenten Oberflächenladung. Man nennt den Ersatz isomorph, weil die Silicat-Struktur aufgrund des geringen Unterschieds der  $\text{Si}^{4+}$  und  $\text{Al}^{3+}$ - Ionen-Durchmesser nicht verändert wird.

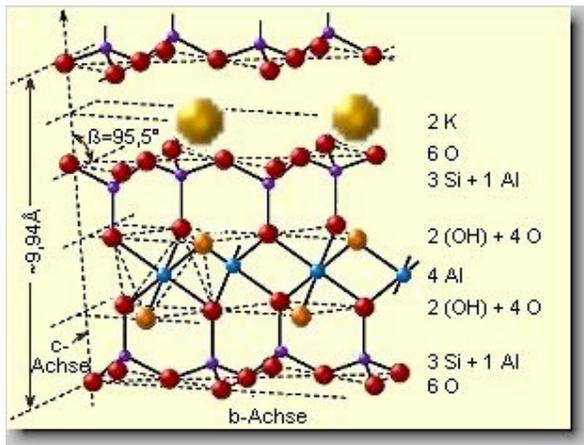


Abbildung 2: Kugel- Stab- Modell eines Dreischichttonminerals (Illit)

#### Variable Ladung: diese Oberflächenladung ist veränderlich, denn die variable Ladung verändert sich entsprechend des vorliegenden pH-Werts

Um hier eine möglichst gute Anschaulichkeit zu gewährleisten, soll hier mit einem Beispiel begonnen werden. Die im Boden vorkommenden funktionellen Gruppen  $\text{AlOH}$  und  $\text{FeOH}$  spalten bei hohem pH-Wert ein Proton ab, sie werden somit negativ geladen und erhöhen das Kationen- Adsorptionsvermögen. Bei sehr niedrigem pH-Wert nehmen sie jedoch ein Proton auf, ihre Ladung wird dann positiv, was dazu führt, dass nun auch Anionen adsorbiert werden können.

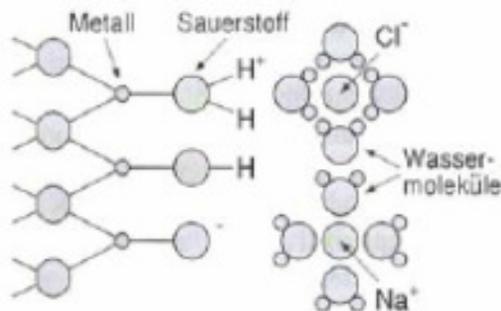
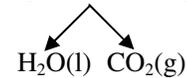


Abbildung 3: Schematische Darstellung der variablen Oberflächenladung

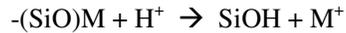
#### Zwei Puffersysteme des Bodens

Neben den Eigenschaften als Ionentauscher können Böden auch als Säure- Puffer wirken. Es gibt eine stattliche Anzahl von möglichen Puffersystemen eines gesunden und fruchtbaren Bodens, die alle in einem gewissen pH-Bereich wirksam sind. Hier sollen lediglich die beiden wichtigsten erläutert werden.

1. In einem pH- Bereich zwischen 8 und 6,5 wird eine saure Lösung (z.B.: saurer Regen) durch im Boden vorhandenen Kalk neutralisiert.  $2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$



2. Die Silicat-Pufferung ist innerhalb eines viel breiteren pH-Bereichs wirksam, weil es nicht zu einer Auflösung des Puffer-Systems kommt, wie das beim Kalk der Fall ist. Gemäss folgendem Schema kommt es zu einem entsprechenden Ionenaustausch:



Während also die Adsorption von Kationen mit steigendem pH-Wert zunimmt, steigt die Anionenadsorption bei sinkendem pH-Wert.

### Teilgebiete der Pedologie und deren Untersuchungsmethoden

Man kann den Boden unter sehr vielen Aspekten betrachten, wobei hier nur die wichtigsten kurz aufgezählt werden sollen. Neben den erwähnten chemischen Prozessen existieren auch viel bodenphysikalische Abläufe und Eigenschaften, wobei für die Vegetation insbesondere das Infiltrations- und Sickerungsverhalten sowie das Rückhaltevermögen von Wasser am wichtigsten ist. Die Bodenbiologie ist ebenfalls höchst interessant, denn die Pedosphäre (der Boden) ist aufgrund seiner hohen Dichte so stark von Lebewesen bewohnt, wie kein anderer Bereich unseres Planeten; insbesondere allerlei Würmer, Insekten, Milben, Bakterien und Pilze sind sehr stark vertreten, ganz zu schweigen von der Immensen Bedeutung, welche gute Erde für die Pflanzen besitzt. Jede dieser Betrachtungsweisen bzw. wissenschaftlichen Disziplinen besitzt eigene Methoden den jeweils betrachteten Boden bzw. einen ausgewählten Ausschnitt davon zu untersuchen.

Hier sollen lediglich ein paar einfache chemische Versuche vorgestellt werden, wobei qualitativ gezeigt wird, dass ein Boden insbesondere Kationen adsorbieren kann und somit ein Ionentauscher ist. Mittels weiterer Versuche kann der Kalkgehalt eines Bodens quantitativ bestimmt werden.

### Literatur:

- GERMANN P. (2001),Landschaftsökologie IV. Vorlesungsskript der Bodenkunde. Geographisches Institut der Universität Bern.
- HÄBERLI M. (2007). Skript zur Bodenökologie (Biologie) Gymnasium Neufeld. CH
- SCHACHTSCHABEL P. & SCHEFFER F. (2002). Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg · Berlin.
- CHEMIEMASTER.DE – Unterlagen für den Chemieunterricht  
<http://www.a-m.de/deutsch/lexikon/illit.htm>  
September 2009
- UNI BREMEN.DE – Geographischer Umweltatlas  
<http://www-user.uni-bremen.de/~geogr/umweltatlas/hatice/horizonte.htm>  
September 2009

## **Praktikum: Boden ist mehr als nur Dreck**

### **Zielsetzungen:**

- Die Lernenden erkennen die erfassbaren Veränderungen während den Experimenten und können diese auch erklären.
- Sie verstehen, dass der Boden chemische Eigenschaften besitzt, wie eben die Ionen- Adsorption. → Nährstoffspeicherung, Pufferung des pH- Wertes und Reinigung von Sickerwasser!
- Ihnen sind zwei einfache Methoden bekannt, wie man den Kalkgehalt eines Bodens quantitativ bestimmen kann.
- Die Experimente verknüpfen zum Teil Säure- Base, Stöchiometrie und Gasgesetze und sollten somit die Vernetzung der chemischen Teilgebiete fördern.
- Die Bedeutung eines gesunden Bodens soll ihnen bewusst werden.

### **1. Versuch: Kupfer- Ionen Adsorption im Boden enthaltene Tonmineralien**

#### **Material:**

1,5 Liter PET- Flasche, Messer, Watte, Filterpapier, Gummiband, Stativ, 2 Muffen, Stativring, Klemme, 2 Bechergläser 150 ml

#### **Chemikalien:**

Ca. 1,5 Liter Boden (ohne organischen H-Horizont), Kupfersulfat, entionisiertes Wasser

#### **Durchführung:**

- 1) 1 Liter Kupfersulfat-Lösung herstellen.  $c = 0,1 \text{ mol/l}$
- 2) Die Erde wird in die präparierte Bodensäule gegeben; darauf kommt eine etwa 5 mm hohe Sandschicht und ein Filterpapier.
- 3) Die blaue Kupfersulfat- Lösung wird jetzt langsam von oben hinzu gegeben.
- 4) Die nun farblose Flüssigkeit wird unten aufgefangen.
- 5) Die durch den Boden geflossene Lösung wird mit der angesetzten Kupfersulfat- Lösung verglichen.

#### **Auswertung/Fragen:**

1. Aus welchem Grund wurde die blaue Kupfersulfat- Lösung vom Boden entfärbt?
2. Probieren Sie Zusammenhänge darzustellen zwischen dem Entfärben der Lösung und der Nährstoffspeicherung im Boden.
3. Führt man eine Kupfersulfat- Lösung ununterbrochen hinzu, so wird diese nach einer Weile nicht mehr entfärbt. Erklären Sie, warum das so ist!
4. Wie wäre es theoretisch möglich, die Kupfer-Ionen wieder aus dem Boden zu entfernen?

## 2. Versuch: Silicat- Pufferung im Boden

### Material:

1,5 Liter PET- Flasche, Messer, Watte, Filterpapier, Gummiband, Stativ, 2 Muffen, Stativring, Klemme, Becherglas 150 ml, potentiometrischer pH- Meter

### Chemikalien:

Ca. 1,5 Liter Boden (ohne organischen H- Horizont), verdünnte Salzsäure-Lösung ( $c = 0,01 \text{ mol/l}$ )

### Durchführung:

- 1) Ca. 0,5 Liter verdünnte HCl-Lösung herstellen ( $c = 0,01 \text{ mol/l}$ ).
- 2) Die Erde wird in die präparierte Bodensäule gegeben; darauf kommt eine etwa 5 mm hohe Sandschicht und ein Filterpapier.
- 3) Der pH-Wert der verdünnten HCl-Lösung wird mit dem pH-Meter gemessen und notiert.
- 4) Die saure Lösung wird jetzt langsam von oben hinzu gegeben.
- 5) Sobald die Lösung die Bodensäule durchlaufen hat, wird unten aufgefangen.
- 6) Der pH-Wert wird gemessen und notiert.

### Auswertung/Fragen:

1. Wie kann man erklären, dass der pH- Wert zugenommen hat?
2. Warum ist der saure Regen für die Bodenfruchtbarkeit so schlecht?
3. Auf welche Weise könnte ein Boden eine saure Lösung auch noch puffern?

### 3. Versuch: Quantitative Bestimmung des Kalkgehalts eines Bodens

#### Material:

Stativ, 2 Muffen, 2 Klemmen, Zweihalsrundkolben, Kolbenprober, Gummischlauch, Septum, Spritze inkl. Nadel, Mörser

#### Chemikalien:

1 Gramm kalkhaltiger Boden, verdünnte HCl-Lösung ( $c = 1 \text{ mol/l}$ )

#### Durchführung:

- 1) Ein paar Gramm Boden ca. 2 Woche bei RT oder 24h bei  $100^\circ\text{C}$  trocknen und anschliessend mittels Mörser homogenisieren.
- 2) Die so präparierte Erde wird in den Zweihalsrundkolben gegeben.
- 3) Nachdem der Rundkolben mit dem Kolbenprober verbunden worden ist, werden 2 ml verdünnte Salzsäure durch das Septum auf die Bodenprobe gespritzt.
- 4) Das durch die Auflösung des Kalks entstandene  $\text{CO}_2$ -Gasvolumen kann man am Kolbenprober ablesen, wobei die 2 ml der HCl-Lösung abgezogen werden muss.
- 5) Bevor die  $\text{CO}_2$ - Stoffmenge mittels der allgemeinen Gasgleichung berechnet werden kann, muss die Temperatur und der Luftdruck gemessen werden.

#### Auswertung/Fragen:

1. Schreiben Sie die Reaktionsgleichung des durch Säure aufgelösten Kalks auf und erklären Sie den Zusammenhang zwischen dem Kalk und dem entstandenen  $\text{CO}_2$ - Gas.
2. Mit welchem sehr einfachen Experiment kann man bestimmen, ob ein Boden kalkhaltig ist oder nicht?
3. Welche Vorteile haben kalkhaltige gegenüber sauren Böden?
4. Man könnte den Kalkgehalt einer Bodenprobe noch einfacher bestimmen. Schreiben sie selber auf, wie man das gravimetrisch machen könnte, wobei hier die Masse des verflüchtigten  $\text{CO}_2$ - Gases irgendwie gemessen werden müsste.