

Lehrerinformation: Bodenuntersuchung

Die hier vorgestellten Versuche zeigen in vereinfachter Form eine Auswahl von möglichen Untersuchungsmethoden für Böden.

Versuch 1 und 2 dienen zur Bestimmung der Bodenart, **Versuch 3, 4 und 5** analysieren qualitativ bzw. halbquantitativ einige Ionen, die häufig in Böden auftreten. **Versuch 4** kann stellvertretend für die instrumentell sehr aufwändigen Untersuchungen auf Metallionen genommen werden, die im Rahmen von Schüler-Laborarbeit nicht umsetzbar sind (Atomabsorptionsspektrometrie, Ionenchromatographie).

Formversuch und Sedimentationsanalyse:

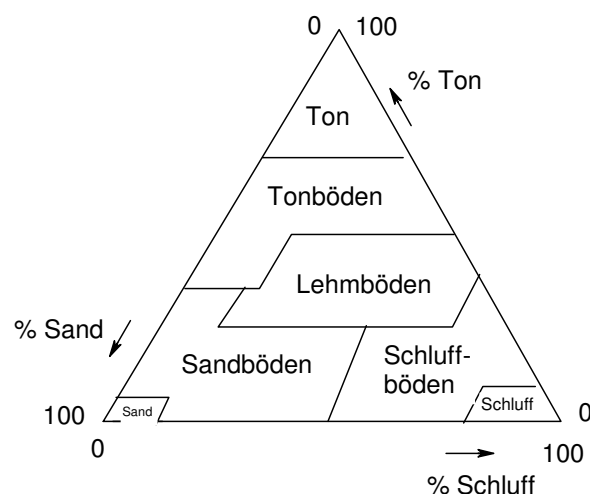
Unter Bodenart versteht man die Zusammensetzung der Böden aus Anteilen verschiedener Korngröße. Man unterscheidet den Grobboden (Bodenskelett) mit einem Korndurchmesser über 2mm und den Feinboden mit kleinerem Korndurchmesser. Dieser wiederum wird differenziert in:

a) Sand	63 μm – 2 mm	Korndurchmesser
b) Schluff	2 μm – 63 μm	Korndurchmesser
c) Ton	< 2 μm	Korndurchmesser.

Bei der Bezeichnung Sand, Schluff oder Ton wird somit keine Aussage über ihre chemische Zusammensetzung getroffen.

Durch Formversuche (**Versuch 1**), Sedimentationsanalysen (**Versuch 2**) oder durch Siebanalysen lassen sich die Anteile an diesen drei Fraktionen im Boden bestimmen und daraus die Bodenart ableiten. Z.B. wird ein Gemisch aus etwa gleich großen Anteilen von Sand, Schluff und Ton als Lehm bezeichnet.

Das Mischungs-dreieck zeigt schematisch die Bezeichnungen der Bodenarten in Abhängigkeit von den jeweiligen Anteilen an Sand, Schluff und Ton.



Bei den **Formversuchen (Versuch 1)** wird der Tastsinn ausgenutzt, durch den wir in der Lage sind unterschiedliche Korngrößen zu erkennen. Dabei ist jedoch etwas Übung erforderlich; die Verwendung von eindeutigen Bodenproben (reinem Sand oder Ton) als Einstieg ist sinnvoll.

Die **Sedimentationsanalyse (Versuch 2)** basiert auf der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeit verschieden großer Teilchen und führt so zu einer Sortierung nach Korngrößendurchmesser. Nach der Formel

$$v \text{ [m/s]} = \frac{3600000}{[\text{m} \cdot \text{s}]} \cdot r^2 [\text{m}^2]$$

(mit: v = Sinkgeschwindigkeit in [m/s] und r = Korndurchmesser in [m]), die sich aus dem Gesetz der Reibung von STOKES ergibt, kann die Zeitdauer bis zur Sedimentation von Sand, Schluff und Ton berechnet werden.

Die angegebenen Zeiten sind so gewählt, dass bei einer Füllhöhe von 16 cm im Reagenzglas in etwa eine Fraktionierung entsprechend der Einteilung in Sand, Schluff und Ton erhalten wird:

bis 25 s	Sand
bis 3 min 40 s	Grobschluff
bis 38 min	Mittelschluff
bis 6 h 10 min	Feinschluff
danach	Ton.

Beim Absetzen der Fraktionen bilden sich häufig, allerdings nicht immer, deutlich sichtbare Zonen, so dass bei diesem Versuch ein Ablesen nicht unbedingt nach den angegebenen Zeiten erfolgen muss, sondern auch nach einem Tag die gebildeten Zonen bestimmt werden können.

Bei Böden, die noch einen hohen Pflanzenanteil enthalten, z.B. torfhaltigen Böden, setzt sich dieser aufgrund der geringen Dichte oben ab.

Aus der gemessenen Höhe der einzelnen Fraktionen lässt sich ihr prozentualer Anteil bezogen auf die nach einem Tag erhaltenen Gesamtmengen berechnen. Bei manchen Bodenproben ist es allerdings erforderlich, die zu einem bestimmten Zeitpunkt abgelesene Höhe zu korrigieren, weil nach einem Tag eine Verdichtung eingetreten sein kann. Die eingesetzte $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ -Lösung (Natriumdiphosphat-Lösung) dient dazu eventuelle Aggregate im Boden aufzubrechen, die ansonsten zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen würden.

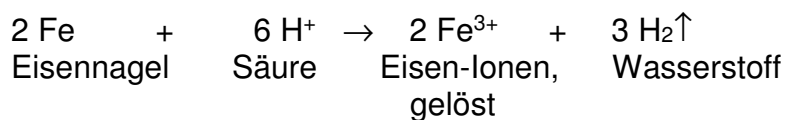
Anmerkung: Die Ergebnisse der Formversuche stimmen nicht immer mit denen aus der Sedimentationsanalyse überein (meist ist der Tonanteil zu gering), auch ist die Reproduzierbarkeit der Sedimentationsanalyse stark abhängig von der Probenvorbereitung und auch der Übung bei der Durchführung dieses Experimentes. Um eine befriedigende Übereinstimmung von Doppelbestimmungen zu erhalten, wurde bei der Ausarbeitung dieser Vorschrift getrockneter Boden (48 h bei 120 °C) eingesetzt, bei dem der Anteil des Grobbodens über 2 mm Korndurchmesser durch Sieben abgetrennt wurde.

Ionennachweise:

Zum Nachweis von verschiedenen **Ionen** (= positiv geladene Form von Metallatomen (= Kation), oxidierte Form; negativ geladene Ionen (= Anion), z.B. Chlorid als Gegenstück zum positiven Metall-Ion, bilden zusammen ein **Salz**) im Boden werden zunächst die Methoden anhand der jeweiligen Salzlösungen bzw. Reinsubstanzen geübt (**Versuche 3 und 4, Vergleichsproben**).

Um für die Schüler einen Bezug zwischen dem **Metall Eisen** und gelösten **Eisen-Ionen** herzustellen, wird für den Nachweis ein Eisennagel verwendet. Der Eisennagel wird mit Schwefelsäure behandelt, wobei ein Teil des Eisens als Eisen(II)-Ionen in Lösung geht. Nach Oxidation mit Wasserstoffperoxid liegen Eisen(III)-Ionen vor, die mit der Thio-cyanat-Lösung (s.u.) durch Bildung einer tief rot gefärbten Lösung nachzuweisen sind.

Reaktionsgleichung:



Für den Carbonat-Nachweis wird ein Stückchen Kalkstein (keine Tafelkreide, sie besteht aus Calciumsulfat!); für den Chlorid-Nachweis Kochsalz (Natriumchlorid, NaCl) verwendet, die beide den Kindern bekannt sind.

Versuch 3 – Nachweis im Boden differenziert die Bodenproben nach ihrem Kalkgehalt. Durch Salzsäure wird das Carbonat-Ion in Kohlendioxid umgewandelt, das aus dem Boden entweicht und dabei je nach Konzentration durch Aufsprudeln sichtbar wird. Eine halb-quantitative Einschätzung ist durch die Stärke und die Zeitdauer des Aufbrausens möglich.

Da dieser Kalknachweis auf dem Nachweis des Carbonat-Ions beruht, sind mögliche Fehlerquellen das Vorliegen anderer Metallcarbonate, z.B. Magnesiumcarbonat, die mit Salzsäure ebenfalls unter Bildung von Kohlendioxid reagieren. Im Allgemeinen sind sie jedoch in Böden nur in geringerer Konzentration vertreten.

Ein weiteres Problem ist das Vorliegen von **Sulfiden**, z.B. Eisensulfid (FeS), das durch Salzsäure Schwefelwasserstoff (H₂S) bildet, der ebenfalls sprudelnd entweicht. Schwefelwasserstoff ist aber durch seinen Geruch nach fauligen Eiern erkennbar.

Reaktionsgleichung:

Carbonat-Nachweis:



Für den Nachweis weiterer Ionen im Boden (Versuch 4) ist es erforderlich den Boden mit Säure zu eluieren (auszuwaschen), da viele Ionen stark an die negativ geladenen Silikate, die chemisch gesehen das Grundmaterial eines Bodens darstellen, gebunden sind.

Erst bei einem Säuregrad von pH 3 werden Eisen-Ionen freigesetzt (pH = Maß für die Säurestärke, je kleiner der Wert, desto saurer. pH 4-5 entspricht „essigsauer“). Neben Eisen- wirken auch andere Metallionen (z.B. Aluminium-Ionen) auf Lebewesen im Boden toxisch. Der saure Regen führt dazu, dass auch in Gewässern diese Ionen vorliegen können. Ihr Vorkommen im Boden kann durch spezifische Nachweisreaktionen gezeigt werden. Eisen tritt in Böden insbesondere dort auf, wo stark schwankende Wasserstände vorkommen, also z.B. in moorigen und sumpfigen Bereichen oder an Gewässerrändern. Unter den dort herrschenden anaeroben Bedingungen werden die schwerlöslichen Eisen(III)ionen durch Bakterien in die löslichen Eisen(II)ionen umgewandelt (diese speziellen Bakterien beziehen daraus, nicht aus Sauerstoff, ihre Energie). Die löslichen Eisen(II)ionen werden mit den schwankenden Wasserständen auch in höhere Bodenschichten transportiert und dort beim Trockenfallen durch Luftsauerstoff wieder zu Eisen(III)ionen oxidiert. Es findet also langfristig eine Anreicherung von Eisenionen in der oberen Bodenschicht statt.

Durch unterschiedlich starke Reaktionen kann der Gehalt an Eisen-Ionen (gelblich bis blutrot) und Chlorid-Ionen in den Bodenproben verglichen werden.

Chlorid ist in salzhaltigen Böden nachzuweisen, für die meisten Pflanzen ist es schlecht verträglich. Daher gibt es an Salzstellen, die auch im Binnenland vorkommen können, nur wenige hoch spezialisierte Arten. Diese haben verschiedene Strategien entwickelt, um das Salz unschädlich zu machen: einige besitzen Salzdrüsen (z.B. das Milchkraut), mit denen sie das überschüssige Salz abgeben können, andere haben besonders dickfleischige Blätter (z.B. der Queller), in denen das Salz eingelagert wird.

Böden enthalten unterschiedliche Mengen von Nitraten, während Nitrite eine eher untergeordnete Rolle spielen, da sie unter den oxidierenden Bedingungen der oberen Bodenschichten schnell in Nitrate umgewandelt werden.

Nitrate werden sowohl über Düngung als auch über Stickoxide in der Luft in die Böden eingetragen, während viele unbeeinflusste Böden eher nitratarm sind. Aber auch einige Pflanzen, die Leguminosen, können über stickstofffixierende Bakterien, mit denen sie eine Biozönose bilden, Nitrat im Boden anreichern. Bei einigen Zwischenfrüchten (Kleesorten) wird dieser Effekt in der traditionellen Landwirtschaft ausgenutzt.

Für das gute Wachstum unserer Feldfrüchte ist ein hohes Angebot von Stickstoff erforderlich. Eine Überdüngung führt aber zur Belastung des Trinkwassers, insbesondere bei Böden, die eine schnelle Versickerung des Regenwassers zulassen, also z.B. bei Sandböden. Das Problem für die Gesundheit liegt nicht im Nitrat selbst, sondern im Nitrit, in das der Körper das Nitrat umwandelt. Nitrit führt bei Säuglingen zur Beeinträchtigung der Atmung und ist durch die Möglichkeit der Bildung sekundärer Amine krebserregend.

Viele natürlich vorkommende Pflanzengesellschaften werden durch hohe Nitratbelastungen verdrängt, weil sie dann der Konkurrenz durch stickstoffliebende Pflanzen nicht mehr gewachsen sind, die bei dem entsprechenden Nitratangebot schneller und kräftiger wachsen.

Der Nachweis beruht auf der Bildung eines rot-violetten Azofarbstoffes.

Nitrit reagiert in saurer Lösung mit primären aromatischen Aminen (Sulfanilsäure) nach einer Diazotierungsreaktion, wobei Diazoniumsalze entstehen. Das gebildete Diazoniumsalz kuppelt schließlich mit α -Naphthylamin, einer aromatischen Verbindung mit

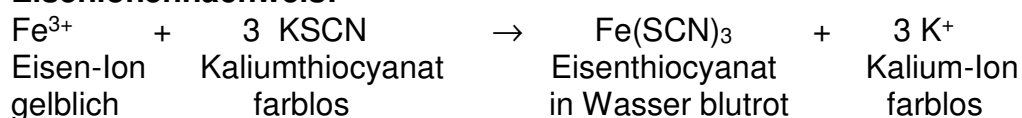
Aminogruppe, zu einem rotviolett gefärbten Azofarbstoff. - Wichtig ist, bei der Vergleichsprobe nur sehr wenig Nitrit einzusetzen. Bei einem Überschuss können sich unter den erforderlichen sauren Bedingungen nitrose Gase bilden, die Lösung verfärbt sich dadurch schnell braun.

Sowohl Chlorid als auch Nitrit bzw. Nitrat lassen sich am besten in den Eluatn nachweisen. Chlorid kann nur in einer klaren Lösung nachgewiesen werden, da die Bildung eines weißen Niederschlags den Nachweis darstellt. Beim Nachweis von Nitrit bzw. Nitrat handelt es sich um eine Farbreaktion, die ebenfalls in einer hellen Lösung am besten sichtbar ist.

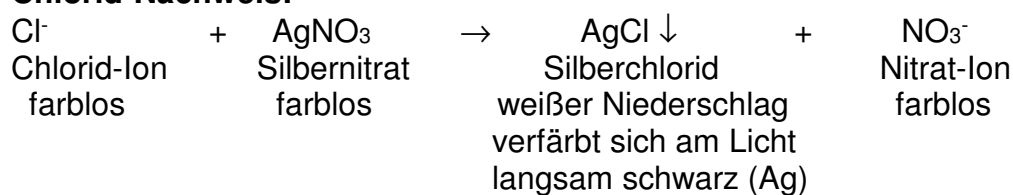
Durch unterschiedlich starke Reaktion kann der Gehalt an Eisenionen, Chloridionen und Nitrat bzw. Nitrit in den Bodenproben verglichen werden.

Reaktionsgleichungen:

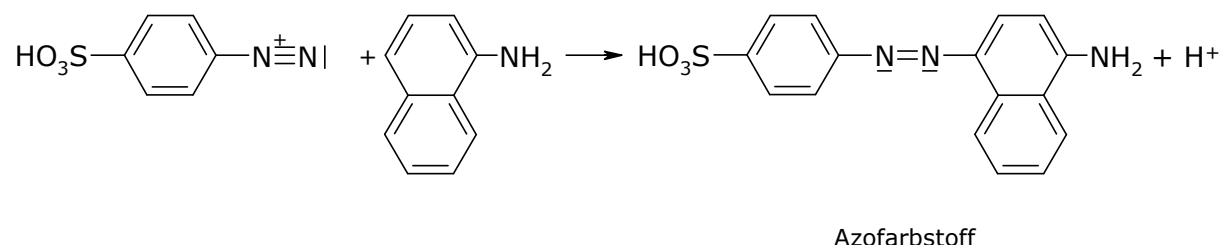
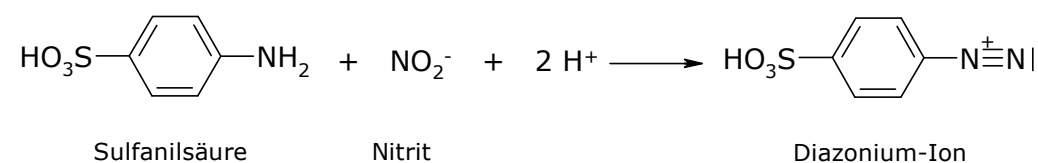
Eisenionennachweis:



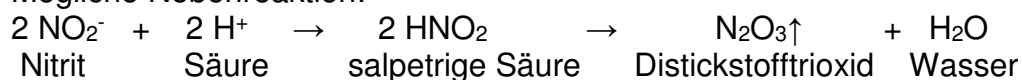
Chlorid-Nachweis:



Nitritnachweis:



Mögliche Nebenreaktion:





Während Nitrit sofort mit Sulfanilsäure und Naphthylamin den roten Azofarbstoff bildet, muss Nitrat vorher zu Nitrit reduziert werden. Dazu eignet sich Zinkstaub.

Reaktionsgleichung:



Für erfolgreiche Differenzierung von Böden ist die sorgfältige Auswahl der Proben grundlegend. So sollten gezielt Böden mit höherem Anteil von Sand, Schluff bzw. Ton ausgewählt, entsprechend Böden mit verschiedenen Kalk- bzw. Eisengehalten ausgewählt werden. Ein Boden mit hohem Salzgehalt ist in unserer Region eher selten zu finden, so dass der Nachweis von Chlorid als Spezialfall zu sehen ist. In Küstenregionen ist dies sicher anders.

Literatur:

1. Alexa Kreisel, Konzeption für fächerverbindenden Unterricht zum Thema „Boden“ für den Chemie- und Biologieunterricht in der Realschule, Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Realschulen, TU Braunschweig, 1999
2. Walther Enßlin, Roland Krahn, Stefan Skupin, Böden untersuchen, Biologische Arbeitsbücher, Quelle und Meyer Verlag, Wiebelsheim, 2000