



Bodenwerkstatt

Kompetenzerwerb durch Experimentieren

Arbeitsanregungen für Kl. 3 - 10

Informationen zur Ausleihe:

Bodenwerkstatt 1

Zielgruppe: Primarstufe (Kl. 3 - 6)
oder als Themeneinstieg für die Sekundarstufe I (Kl. 7 - 10)

Bodenwerkstatt 2

Zielgruppe: Sekundarstufe I (Kl. 7 - 10)

Orte zum Ausleihen:

Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung (LI-Hamburg),
Zentrum für Schulbiologie und Umwelterziehung (ZSU)
Hemmingstedter Weg 142
22609 Hamburg
Ansprechpartnerin: Dr. Ines von Appen
Tel.: (040) 823 142-0
Fax: (040) 823 142-22
E-Mail: zsu@li-hamburg.de

ANU Landesverband Hamburg
Geschäftsstelle im Hamburger Umweltzentrum (HUZ)
Karlshöhe 60 d
22175 Hamburg
Tel.: (040) 637 024 90
Fax: (040) 637 024 20
E-Mail: geschaeftsstelle@anu-hamburg.de
www.anu-hamburg.de

Impressum

Herausgeberin:
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU)
Bodenschutz/Altlasten
Elisabeth Oechtering
Billstrasse 84, 20539 Hamburg
Tel.: (040) 428 45-25 08
Fax: (040) 428 45-35 78
E-Mail: Elisabeth.Oechtering@bsu.hamburg.de

Pädagogische Anregungen: Regina Marek (Landesinstitut, Projekt Klimaschutz an Schulen,
Gestaltungsreferentin Umwelterziehung)
Redaktion, Konzeption und Text: Dr. Ursula Martin (Diplombiologin und Umweltpädagogin),
Dr. Dieter Kasang (Robert-Bosch-Projekt), Regina Marek, Johanna Sucher (BSU)
Layout: Patrick Schempp
Fotos & Grafiken: Dr. Dieter Kasang, Dr. Ursula Martin, Heike Markus-Michalczyk
www.istockphoto.com
Auflage: 1000 Stück
Druck: Lehmann Offsetdruck GmbH, Norderstedt

Mai 2009

Liebe Kolleginnen und Kollegen!

Die Idee zur Gestaltung einer Bodenwerkstatt entstand im Rahmen der Fachgespräche in Kooperation des Landesinstitutes mit der Initiative „Hamburg lernt Nachhaltigkeit“. In den Fachgesprächen erhielten Lehrerinnen und Lehrer die Möglichkeit, das Fachwissen zu ausgewählten Themen des Ressourcenschutzes durch Fachexperten zu aktualisieren und Umsetzungen für den Unterricht kennen zu lernen.

Die Initiative „Hamburg lernt Nachhaltigkeit“ wurde 2005 vom Senat als ein Zusammenschluss von Behörden, Institutionen, Verbänden und Firmen ins Leben gerufen. Ziel ist es, einen Hamburger Beitrag zur Unterstützung der UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ zu leisten. Koordiniert wird die Initiative durch eine Projektgruppe unter Federführung der BSU (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt) in enger Zusammenarbeit mit der Bildungsbehörde und der Senatskanzlei. Ein jährlicher Runder Tisch berät die Initiative.

Die Initiative gibt einen Hamburger Aktionsplan heraus, der Anfang 2008 100 Bil-

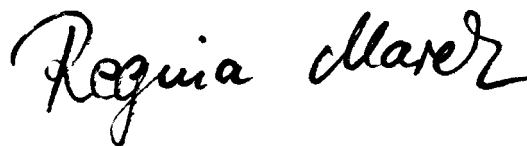
dungsprojekte zu Nachhaltigkeit verzeichnet. Ergebnisse der Initiative fließen in die Norddeutsche Partnerschaft zur Unterstützung der UN-Dekade, in Öffentlichkeitsarbeit und Internetauftritt und in die überregionalen Aktivitäten (Nationaler Runder Tisch, internationaler Prozess der Dekade) ein. Für diese Initiative wurde Hamburg von der UNESCO als „Stadt der Weltdekade“ ausgezeichnet, vgl. auch www.nachhaltigkeitlehren.hamburg.de.

Zielsetzung der Bodenwerkstatt ist es, im Sinne von Nachhaltigkeit lernen, Schülerinnen und Schüler für das Thema Boden als kostbare Ressource durch sinnliches Erfahren und Experimentieren zu faszinieren. Dies kann besonders im projektorientierten Unterricht stattfinden. Experimente zum Thema Boden werden auf unterschiedlichen Anforderungsniveaus (vgl. S. 11 und 21) für die Primarschule Klasse 3 bis 6 und für die Sekundarstufe I Klasse 7 bis 10 vorgestellt. Die Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 7 bis 10 können sich zusätzlich mit Hilfe von aktuellen Informationsmaterialien mit dem Thema Boden und Klimawandel auseinandersetzen und ihre Ergebnisse präsentieren oder ein Rollenspiel zur Mülldeponierung gestalten.

Viel Spaß beim Erproben der Bodenwerkstatt!



Elisabeth Oechtering
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt



Regina Marek
Landesinstitut für Lehrerbildung
und Schulentwicklung

1.	Einführung	5
1.1	Die Bedeutung des Bodens für die Ökosphäre	5
1.2	Das Themenfeld „Boden“ im Unterricht	6
1.3	Hinweise zur Nutzung der Bodenwerkstatt und der Handreichung	8
1.4	Vorschlag für eine Unterrichtsreihe für die Primarstufe (Kl. 3 - 6)	9
1.5	Vorschlag für eine Unterrichtsreihe für die Sekundarstufe I (Kl. 7 - 10)	10
2.	Versuche für die Primarstufe (Kl. 3 - 6)	11
2.1	Einstieg: Boden „be – greifen“	11
2.2	Versuche zu Korngröße und Bodenart	12
2.2.1	Fingerprobe	12
2.2.2	Schlämmanalyse	12
2.3	Bodenluft	14
2.4	Der Boden als Wasserspeicher	14
2.5	Der Boden als Filter für Schadstoffe	16
2.6	Nährstoffe und Wachstum	17
2.7	Das Bodenfenster – Wahrnehmen und Beobachten	18
2.8	Bodenprofil – Blick in die Tiefe	18
2.9	Wasserdurchlässigkeit	19
2.10	Bodentemperatur	20
3.	Versuche für die Sekundarstufe I (Kl. 7 - 10)	21
3.1	Einstieg: Boden „be – greifen“	21
3.2	Humusgehalt – Der CO ₂ -Speicher im Boden	22
3.3	pH-Wert – Wie sauer ist der Boden?	23
3.4	Kalkgehalt	23
3.5	Ionenaustausch und Pufferwirkung	24
3.6	Säureabgabe der Wurzeln	25
4.	Der Boden im Klimawandel	26
4.1	Der Boden als Lebensgrundlage	26
4.2	Der Boden im Klimasystem	27
4.3	Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden	30
4.4	Arbeitsblatt 1	34
4.5	Arbeitsblatt 2	35
4.6	Arbeitsblatt 3	36
5.	Rollenspiel: Mülldeponie Georgswerder	37
6.	Literatur, Links und Videos	45
7.	Kontaktadressen	46
8.	Anhang: Inhaltsverzeichnis der Bodenwerkstätten	47

1. Einführung Dr. Ursula Martin

1.1 Die Bedeutung des Bodens für die Ökosphäre

Der Boden unter unseren Füßen erscheint uns so selbstverständlich, dass wir ihn kaum noch wirklich wahrnehmen. Dabei ist er für das Leben auf der Erde genauso wichtig wie die Luft und das Wasser. Und genau wie Luft und Wasser ist auch diese Ressource weltweit vielfach belastet und gefährdet. Dabei ist ein nachhaltiger Umgang mit Boden von großer Bedeutung, denn er übt eine Vielzahl von Funktionen aus.

Funktionen der Böden:

- Lebensraum für Tiere und Pflanzen
- Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen
- Lagerstätte von Bodenschätzen
- Natur- und kulturhistorisches Archiv
- Fläche für Siedlung, Wirtschaft, Verkehr und Erholung
- Filter-, Speicher- und Pufferfunktion.

Boden und Klima:

Zwischen dem Boden als äußerster Schicht der Erdkruste und der Atmosphäre bestehen zudem zahlreiche Wechselbeziehungen und so wie einerseits die Bodenbildung durch Klimafaktoren geprägt ist, so beeinflusst auch der Boden seinerseits das Klima.

- Er speichert Wasser – und damit auch Wärme – und beeinflusst so das Regionalklima.
- Als Standort und Lebensraum für die Vegetation wirkt er indirekt auf das Klima ein. Die Pflanzen entnehmen durch ihre Photosynthesetätigkeit Kohlendioxid (wissenschaftlich korrekt eigentlich „Kohlendioxid“) aus der Luft und wandeln es in Nahrung und organische Stoffe um. Dadurch werden große Mengen an Kohlendioxid vorübergehend festgelegt. Dieses Kohlendioxid wird nach Absterben der Pflanze zum Teil wieder freigesetzt, zum Teil aber

auch durch die Tätigkeit der Bodenorganismen im Humus des Bodens langfristig gespeichert. Allerdings wird bei Zerstörung von humusreichen Böden – z.B. durch Erosion – das Kohlendioxid wieder freigesetzt und verstärkt dann den Treibhauseffekt.

Bodenschutz bedeutet somit auch Klimaschutz. Nur gesunde Böden mit einer Vielzahl von Bodenorganismen sind in der Lage, Kohlendioxid in Form von Humussubstanzen zu speichern. Durch Erosion des fruchtbaren Oberbodens oder Versiegelung wird diese Funktion ebenso unterbrochen wie die Speicher- und Filterwirkung von Wasser und den darin enthaltenen Stoffen.

Gefährdung der Böden durch:

- Eintrag von Schadstoffen
- Versiegelung durch Bebauung und Erschließung von Verkehrsflächen
- Verdichtung
- Erosion.

Was können wir für den Schutz des Bodens tun?

- Produkte aus ökologischer Landwirtschaft kaufen
- Kompostieren von pflanzlichen Abfällen
- überlegen, wo versiegelte Flächen wieder entsiegelt werden könnten (z.B. auf dem Schulgelände)
- Maßnahmen zum Schutz vor Erosion (z.B. durch Anpflanzungen, Windschutz).

Da Böden sich sehr langsam entwickeln – die Bildung von 1 cm Humusschicht dauert rund 100 Jahre – ist der Schutz und die Erhaltung unserer Böden absolut lebenswichtig!

1.2 Das Themenfeld „Boden“ im Unterricht

Trotz dieser existentiellen Bedeutung spielt Boden im Bewusstsein der Öffentlichkeit meist nur eine Rolle, wenn es um den Besitz von Grund und Boden geht. Auch an den allgemeinbildenden Schulen wird der Boden als Unterrichtsthema eher am Rande abgehandelt. Mit der vorliegenden Handreichung und den dazu gehörenden Bodenkisten möchten wir Sie ermuntern, dem Boden eine größere Rolle in Ihrem Unterricht einzuräumen und bei den Schülerinnen und Schülern ein stärkeres „Bodenbewusstsein“ zu wecken – denn nur, was man kennt, wird man schützen!

Überdies kann man das Thema „Boden“ im Unterricht mit wenig Theorie und sehr interessanten Versuchen den Schülerinnen und Schülern be- „greifbar“ machen.

Das Thema „Boden“ eignet sich hervorragend für den fächerübergreifenden Unterricht sowie Projektarbeit. Es lässt sich unter Berücksichtigung der Kompetenzbereiche der KMK für die naturwissenschaftlichen Fächer mit verschiedenen didaktisch-methodischen Prinzipien vermitteln:



Kompetenzbereiche der naturwissenschaftlichen Fächer und des Aufgabengebiets Umwelterziehung und das Themenfeld Boden

Im Sinne der verbindlichen Kompetenzbereiche für den naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. www.kmk.org) werden im Themenfeld Boden folgende Kompetenzen berücksichtigt.

Kompetenzbereiche	Bildungsstandards	Themenfeld Boden
Fachwissen erwerben	Lebewesen, naturwissenschaftliche Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten, Prinzipien, Fakten kennen und den Basiskonzepten zuordnen	Die Schülerinnen und Schüler kennen die wichtigsten Bodeneigenschaften und -funktionen
Erkenntnisse gewinnen	Beobachten, Vergleichen, Experimentieren, Modelle nutzen und Arbeitstechniken anwenden	Nutzung der methodischen Bandbreite von Informationsgewinnung über sinnliches Wahrnehmen bis zum naturwissenschaftlichen Experiment: <ul style="list-style-type: none"> • Aktive Naturerfahrung mit allen Sinnen • Durchführung einfacher Experimente meist nach Anleitung für jüngere Schülerinnen und Schüler • Selbständiges methodisches Arbeiten durch eigene Untersuchungen und Experimente mit älteren Schülerinnen und Schülern
Kommunikation fördern	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen	Austausch und Präsentation der Ergebnisse der Untersuchungen
Bewerten und handeln	Biologische bzw. physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten	Schülerinnen und Schüler kennen den Wert des Bodens und können Maßnahmen zum Bodenschutz benennen und wenn möglich auch durchführen, z.B. Teilentsiegelung des Schulgeländes. In einem Rollenspiel können sie unterschiedliche Positionen vertreten.

1.3 Hinweise zur Nutzung der Bodenwerkstatt und der Handreichung

Das Thema „Boden“ wird den Schülerinnen und Schülern mit Hilfe der Bodenwerkstatt praxisnah und handlungsorientiert vermittelt. Neben der Vermittlung von Wissen wird v.a. der praktische und emotionale Umgang mit dem Boden angestrebt. Wichtigstes Arbeitsmaterial ist deshalb der Boden selbst. Für die Durchführung der Versuche sind verschiedene Bodensorten notwendig – sandige, lehmige und humusreiche Böden wie Garten- und Waldboden. Für die Versuche der Bodenwerkstatt 1 werden ca. 3 Liter pro Bodensorte benötigt, für die Versuche der Bodenwerkstatt 2 zusätzlich jeweils ca. 2 Liter. Wenn nur die Bodenwerkstatt 2 ausgeliehen wird, sollte man ca. 3 Liter pro Bodensorte rechnen. Bei Bedarf können die Bodenproben (gegen Entgelt) im Hamburger Umweltzentrum und in der Grünen Schule des Botanischen Gartens erworben werden. Die Kisten selbst können im Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung und im Hamburger Umweltzentrum entliehen werden (Adressen in Kapitel 5). Ansonsten enthalten die Kisten bis auf einige Gebrauchsgegenstände wie z.B. Scheren und

Stifte alle Materialien, um die hier beschriebenen Versuche durchführen zu können. Alle Versuche sind erprobt und so ausgewählt, dass sie ohne besondere Vorkenntnisse der Lehrkräfte durchgeführt werden können. (Wer sich aber intensiver mit dem Thema befassen möchte, findet Kontaktadressen in Kap. 7 für Fortbildungen.) Die Versuchsbeschreibungen bestehen aus einer kleinen Einleitung, dem erforderlichen Material, Durchführung, Fragestellungen, Beobachtungen und Erklärungen und z.T. auch Vorschlägen für Versuchserweiterungen z.B. für ältere Schülergruppen.

Die Versuche der Bodenwerkstatt 1 sind v.a. für die Klassen 3 - 6 (Primarschule) gedacht, können aber auch sehr gut als Einstieg in das Thema „Boden“ für Schülerinnen und Schüler der Klassen 7 - 10 (Stadtteilschule und Gymnasium) genutzt werden und/oder dem höheren Leistungsniveau angepasst werden. Die Bodenwerkstatt 2 für die Klassen 7 bis 10 ist ausschließlich für die älteren Schülerinnen und Schüler konzipiert, da sie u.a. einfache Chemiekennntnisse voraussetzt.

1.4 Vorschlag für eine Unterrichtsreihe für die Primarstufe (Kl. 3 - 6)

(Versuchsbeschreibungen in Kapitel 2)

Einstieg:

Boden „be – greifen“

Eine erste Begegnung mit dem Boden, sinnliche Wahrnehmungen (sehen, fühlen, riechen) von verschiedenen Böden, Vermutungen über Zusammensetzung, Eigenschaften und Funktionen, Unterrichtsgespräch über die Entstehung von Böden formulieren.

Diese Einführung lässt sich ebenso wie die folgenden Versuche sowohl im Klassenzimmer als auch im Freien durchführen. Dabei ist zu beachten, dass die Gläser mit den Schlämmprouben mindestens 24 Std. ungestört stehen sollten.

Abschätzung der Anteile der Korngrößen

- Fingerprobe und Schlämmanalyse

Bodenluft

- Bestimmung des Luftgehalts einer abgewogenen Bodenprobe

Wasserspeichervermögen

- Bestimmung des Wasserspeichervermögens verschiedener Böden

Filterwirkung

- Untersuchung der Filterwirkung verschiedener Böden (Filter müssen aus 0,5 Ltr. PET-Flaschen von den Schülerinnen und Schülern gebastelt werden)

Nährstoffe und Wachstum

(Beobachtungszeit ca. 5 Tage)

- Einfluss von Bodenart und Düngergaben auf das Wachstum



Die folgenden Unterrichtseinheiten lassen sich nur im Gelände durchführen:

Bodenfenster – Wahrnehmen und Beobachten

- Sinnliches und forschendes Entdecken des gewachsenen Bodens in der Natur

Bodenprofil

- Blick in die Tiefe – Erforschen der Bodenhorizonte

Wasserdurchlässigkeit

- Erforschen der Versickerung in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften

Bodentemperatur

- Messung der Temperatur in tieferen Bodenschichten.

1.5 Vorschlag für eine Unterrichtsreihe für die Sekundarstufe I (Kl. 7-10)

(Versuchsbeschreibungen in Kapitel 3)

Einstieg:

Boden „be – greifen“

Eine erste Begegnung mit dem Boden, sinnliche Wahrnehmungen (sehen, fühlen, riechen) von verschiedenen Böden, Vermutungen über Zusammensetzung, Eigenschaften und Funktionen, Unterrichtsgespräch über die Entstehung von Böden formulieren.

Bei genügend Zeit ist es sinnvoll, auch die anderen Versuche der Bodenwerkstatt 1 mit als Einstieg zu benutzen. Dabei kann das Anforderungsniveau heraufgesetzt werden, indem die Schülerinnen und Schüler z.B. aufgefordert werden, sich selbst Gedanken über die Versuchsausführung zu machen (Versuchsaufbau, zu messende Parameter, Auswahl der Bodenproben, Auswertung in Tabellen, Dokumentation, Diskussion und Bewertung der Ergebnisse). Z.T. sind auch bei den Versuchsbeschreibungen erweiterte Fragestellungen für ältere Schülergruppen aufgeführt.

Die folgenden Versuche sind im Klassenzimmer bzw. Chemieraum durchzuführen:

Humusgehalt

- Verbrennung der organischen Substanz mit Hilfe eines Bunsenbrenners

pH-Wert

- Messung mit dem Hellige pH-Meter

Kalkgehalt

- Nachweis von Kalk mit 10%iger Salzsäure

Ionenaustausch und Pufferwirkung

- Filterversuche mit kationen – und anionenhaltigen Lösungen

Säureabgabe der Wurzeln

(Beobachtungszeit ca. 3 - 5 Tage)

- Nachweis der Säure mit Lackmuspapier.

Abb.: Bodenprofil mit „Erdmalfarben“



2. Versuche für die Primarstufe (Kl. 3 - 6)

(können auch als Einstieg für die Klassen 7-10 dienen und/oder dem höheren Leistungsniveau der älteren Schülerinnen und Schüler angepasst werden).

2.1 Einstieg: Boden „be – greifen“

Böden können sehr unterschiedlich beschaffen sein: Aufgrund der Färbung, der Struktur und des Geruchs kann man viel über die Eigenschaften eines Bodens erfahren.

Materialien:

- **Durchsichtige Plastikterrarien gefüllt mit verschiedenen Bodenproben: Gartenerde, Walderde, Steine, Sand, Lehm**

(Diese Bodenproben werden bis auf die Steine auch in den nachfolgend beschriebenen Versuchen verwendet. Dafür sollten die Böden keine größeren Teilchen wie Steine oder Pflanzenreste mehr enthalten – evtl. mit dem 2mm-Sieb sieben).

Durchführung:

- ➔ Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, sich die verschiedenen Böden genau anzusehen, sie anzufühlen und den Geruch zu prüfen.
- ➔ Welche Farbe haben die Böden – was verursacht die unterschiedliche Färbung?
- ➔ Wie fühlen sich die Böden an – sind sie eher rau und rieseln durch die Finger oder lassen sie sich formen oder sogar rollen?
- ➔ Wie riechen die Böden – warum riechen Sandböden anders als Waldböden?
- ➔ Welche Bestandteile kann man in den Bodenproben entdecken?

Information:

Böden lassen sich gut über die Sinne „be – greifen“. Da die Größenverteilung der festen Bodenbestandteile praktisch alle wichtigen

Eigenschaften wie Wasserhaushalt, Durchlüftung und Nährstoffversorgung beeinflusst, kann man mit der sogenannten Fingerprobe (siehe S. 10) die Bodenart schätzen und bereits Vermutungen über die obengenannten Eigenschaften anstellen. Anschließend können diese Vermutungen in den entsprechenden Experimenten untersucht werden.

Die Färbung eines Bodens wird bestimmt durch das Ausgangsmaterial, die Verwitterungsprozesse und den Humusgehalt. Je dunkler die Färbung, desto höher ist im allgemeinen der Gehalt an Humus.

Während Böden mit einem hohen Humusgehalt einen typisch „erdigen“ Geruch besitzen, sind sandige Böden eher geruchlos.

Anhand der oben genannten Bodenproben lässt sich auch gut die Entwicklung von Böden erklären. Die Steine stehen für das Ausgangsgestein der Bodenbildung. Sie werden durch verschiedene Verwitterungsvorgänge (physikalisch, chemisch, biologisch) soweit zerkleinert, dass sie die mineralischen Bestandteile des Bodens bilden => Sand, Lehm. Durch Zersetzung und Einarbeitung von organischen Substanzen entsteht der braungefärbte, humushaltige Oberboden.



2.2 Versuche zu Korngröße und Bodenart

Böden bestehen aus einem Gemisch von Teilchen unterschiedlicher Größe. Je nach Korngröße spricht man von Sand-, Schluff- und Tonteilchen. Diese Korngrößenklassen bezeichnet man auch als Bodenarten. Böden mit etwa gleichen Anteilen an diesen drei Fraktionen bezeichnet man als Lehm und je nach Vorherrschen von feinen oder gröberen Teilchen als sandigen bis tonigen Lehm.

Die Anteile der Korngrößen können sowohl mit der Fingerprobe als auch der Schlämmanalyse ermittelt werden.

2.2.1 Fingerprobe

Vermutungen: Welcher Boden ist vorhanden? Je nach Anteil der verschiedenen Teilchen fühlen sich Böden unterschiedlich an.

Material:

- **Verschiedene Bodenproben**
- **Spritzflasche mit Wasser**

Durchführung:

Mit der Fingerprobe kann man schnell und ohne weitere Hilfsmittel den Anteil von feinen und gröberen Teilchen abschätzen und so die Bodenart bestimmen. Dabei wird der Boden zwischen den Fingern gerollt und geknetet.

- ➔ Zunächst werden alle größeren Bestandteile wie Steine und Pflanzenwurzeln entfernt. Den Boden, wenn nötig, mit etwas



Wasser anfeuchten (Spritzflasche).

- ➔ Zerreiße die Bodenprobe zwischen Daumen und Zeigefinger, um die Körnigkeit festzustellen.
- ➔ Knete sie, um die Formbarkeit zu testen, und versuche, den Boden zwischen den Handflächen auszurollen.

Erklärung:

Sandboden, lehmiger Sand fühlt sich rau und körnig an, ist nicht formbar und rieselt durch die Finger.

Lehmboden fühlt sich körnig bis mehlig an, ist wenig formbar, lässt sich bleistiftdick ausrollen und zerbröckelt dann und haftet in den Fingerrillen.

Toniger Lehm, Tonboden ist glatt und glänzend, ist gut formbar, lässt sich gut ausrollen und färbt die Finger.

2.2.2 Schlämmanalyse

Welche Bestandteile enthält ein Boden? Mit der Schlämmprobe kann man eine Bodenprobe in ihre verschiedenen Bestandteile auftrennen und abschätzen, wie hoch ihre Anteile im Boden sind.

Material:

- **Verschiedene Bodenproben (z.B. Sand, Lehm, Garten-, Wald- und Blumenerde)**
- **hohe Gläser mit Twist-Off-Verschlüssen**
- **Esslöffel**
- **Wasser**
- **Uhr (evtl. Stoppuhr)**

Erweiterungsversuch:

- **NaCl (Kochsalz)**
- **CaCl₂ (Calciumchlorid)**

Durchführung:

- ➔ Die Schraubgläser werden jeweils zu ca.

einem Drittel mit einer Bodenprobe befüllt und bis zu 2 cm unter den Rand mit Wasser aufgefüllt. Dann werden die Gläser gut mit den Schraubdeckeln verschlossen, kräftig geschüttelt und auf einer ebenen Unterlage abgestellt.

- ➔ Die Proben werden nach 10 Sek., 1 Min., 5 Min., 1 Std., 1 Tag angesehen.
- ➔ Nach einem Tag können die Gläser mit den Schichten gezeichnet und beschriftet werden.
- ➔ Wo liegen die schweren und wo die leichten Bestandteile?
- ➔ Was schwimmt an der Wasseroberfläche?

Beobachtungen:

Die Bodenpartikel sedimentieren aus und bilden horizontale Schichten.

Erklärung:

Bei der Schlämmanalyse werden die einzelnen Bestandteile aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte voneinander getrennt. Zuerst setzen sich grobe, dann feinere Sandteilchen ab, es folgen die feineren Schluff- und Tonteilchen und auf der Wasseroberfläche schwimmen die leichten organischen Bestandteile (Humus).

Absetzzeiten:

Sand (ca. 5 Sek.), Schluff (60 Sek. bis 1 Std.), Ton (ca. 7 bis 8 Std.)

Erweiterungsversuch für ältere Schülergruppen (Chemie-Kenntnisse erforderlich):

3 Gläser werden zu 1/3 mit der gleichen – möglichst tonreichen – Bodenprobe befüllt und wie oben mit Wasser versetzt. Zum ersten Glas wird ein halber Teelöffel Kochsalz (NaCl) hinzugefügt, zum zweiten Glas ein halber Teelöffel CaCl_2 und zum dritten Glas nichts (Vergleichsprobe). Die Gläser werden kräftig durchgeschüttelt und dann ruhig stehen gelassen.



Beobachtungen:

In dem Glas mit der CaCl_2 – Zugabe setzen sich die feinen Teilchen viel schneller ab als in der Vergleichsprobe, in dem Glas mit der Kochsalz – Zugabe bleiben sie sehr viel länger in der Schwebe.

Erklärung:

Tonteilchen sind immer elektrostatisch negativ geladen, Natrium-Ionen sind einfach positiv und Ca-Ionen zweifach positiv geladen. Wenn Tonteilchen sich mit einfach positiv geladenen Ionen verbinden, stoßen die positiven Ladungen sich gegenseitig ab und halten die Tonteilchen in der Schwebe. Bei Zugabe von mehrfach positiv geladenen Ionen, bilden sich aufgrund der Anziehungskräfte größere Aggregate von Tonteilchen, die aufgrund ihres größeren Durchmessers schneller absinken.

2.3 Bodenluft

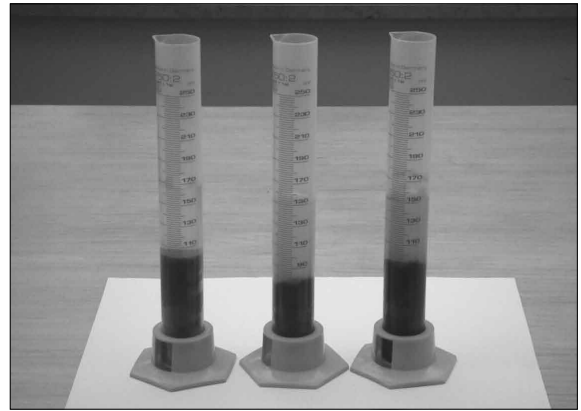
Böden bestehen ungefähr zur Hälfte aus festen Bestandteilen und zur Hälfte aus Hohlräumen. Diese Poren wiederum sind ungefähr zur Hälfte mit Wasser und zur Hälfte mit Luft gefüllt. Dies ist notwendig sowohl für die Bodentiere als auch für die Pflanzen, die auf dem Boden wachsen. Die Durchlüftung eines Bodens ist abhängig vom Porenvolumen und somit von der Bodenart und dem Humusgehalt.

Material:

- **verschiedene Bodenproben**
- **je 1 Messzylinder pro Bodenprobe**
- **Wasser**
- **Messbecher oder -zylinder**

Durchführung:

- ➔ Die Messzylinder werden bis zur 100 ml Marke gleichmäßig mit einer Bodenprobe befüllt. Dann werden vorsichtig jeweils 100 ml Wasser auf die Bodenproben gegossen.
- ➔ Was ist am Anfang zu beobachten?
- ➔ An welcher Marke steht das Wasser am Ende des Versuchs?
- ➔ Wie viel Luft war in den Bodenproben enthalten?



Beobachtungen:

Zu Anfang steigen je nach Bodenart unterschiedliche Mengen an Luftblasen auf. Der Wasserstand sinkt während des Versuchs.

Erklärung:

Das Wasser verdrängt die Luft aus den Bodenporen d.h. der Betrag, der bis 200 ml fehlt, ist der Anteil der verdrängten Bodenluft!

Dieser Austausch erfolgt auch in der Natur. Bei starken Niederschlägen verdrängt das Wasser die Luft aus den Poren und beim Versickern fließt frische Luft nach. Dies ist u.a. wichtig, weil durch die Atmungsprozesse im Boden der Kohlendioxidgehalt zu- und der Sauerstoffgehalt abnimmt.

2.4 Der Boden als Wasserspeicher

Wasser wird je nach Bodenart unterschiedlich stark festgehalten. Die Menge des gespeicherten Wassers hängt v.a. von der Teilchengröße und dem Humusgehalt ab.

Material:

- **Verschiedene Bodenproben (z.B. Sand, Lehm, Garten- und Walderde)**
- **Blumentöpfe**
- **Bechergläser**

- **Kaffeefilter**
- **Messbecher oder Messzylinder**
- **Wasser**
- **evtl. Stoppuhr**

Durchführung:

- ➔ Blumentöpfe werden mit Kaffeefilter ausgelegt und bis 2 cm unter den Rand mit Bodenproben gefüllt (Feinerde ohne Steine und Pflanzenteile). Dann werden

die Blumentöpfe auf die Bechergläser gesetzt und jeweils 200 ml Wasser über die Bodenproben gegossen. Das durchgesickerte Wasser wird erneut über die Proben gegossen (bis zu dreimal), damit alle Bereiche der Bodenprobe gleichmäßig durchnässt werden.

- ➔ Wichtig für die Versuchsdurchführung ist, dass die Bodenproben gleichmäßig in den Töpfen verteilt werden. Besonders bei lehmigen Böden ist es wichtig, dass keine Spalten vorhanden sind, die das Versuchsergebnis verfälschen würden. Aus diesem Grunde sind zu schwere Böden für diesen Versuch nicht so gut geeignet.
- ➔ Durch welche Proben fließt das Wasser schneller?
- ➔ Wie viel Wasser sammelt sich in den Gläsern?
- ➔ Beobachtungen? Was passiert mit der in den Bodenporen enthaltenen Luft?
- ➔ Welche Bedeutung hat das für Pflanzen und für Tiere?

Beobachtungen:

Das Wasser, das von den Bodenproben nicht zurückgehalten wird, fließt durch das Abflussloch des Blumentopfes in das Becherglas. Dabei speichern die verschiedenen Böden

unterschiedlich viel Wasser und auch die Durchflussgeschwindigkeit variiert stark.

Erklärung:

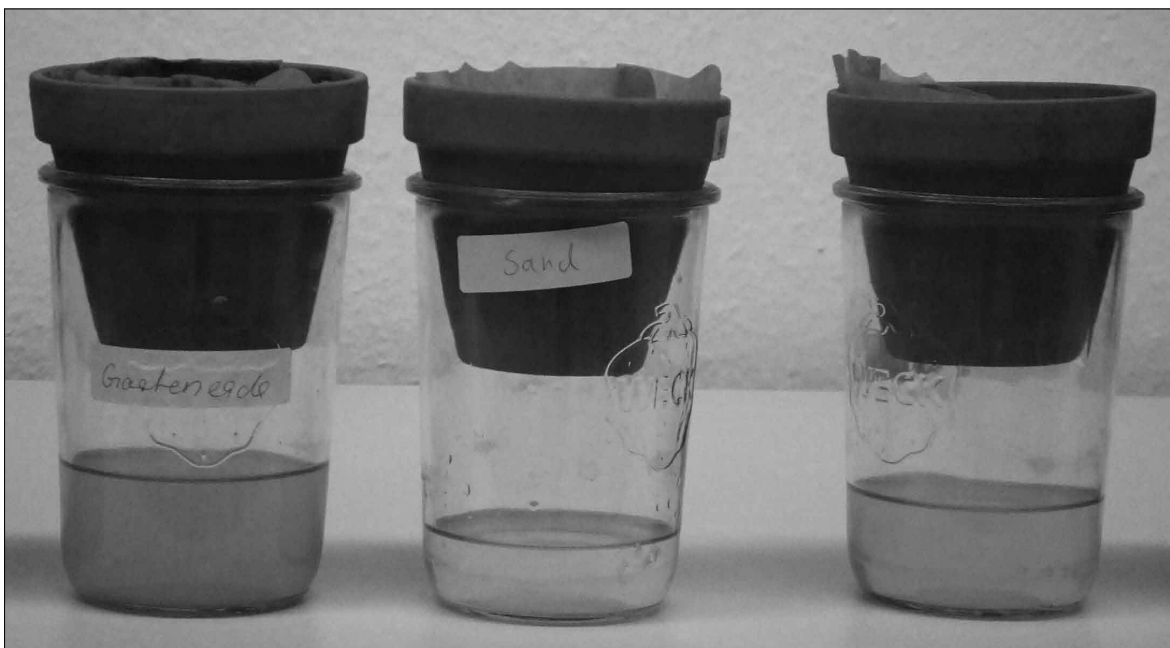
Die Speicherung von Wasser im Boden ist abhängig von den mineralischen und organischen Bestandteilen. Sie bestimmen die Porengröße und Porenform, wobei die Bodenporen je nach Größe entweder mit Wasser oder Luft gefüllt sind. Je feinkörniger ein Boden ist, desto größer ist das Speichervolumen. Sand z.B. besitzt nur Grobporen, die das Wasser schnell versickern lassen.

Humusteilchen können sich mit einer Wasserhülle umgeben und auf diese Weise viel Wasser speichern.

Wichtig für eine gleichmäßige Wasserversorgung ist auch die Struktur des Bodens. Bei verdichteten Böden z.B. durch Fahrspuren werden die Poren zerstört. Das Wasser kann sich nicht gleichmäßig verteilen, es entstehen Pfützen und andere Stauungen.

Versuchserweiterung:

Was passiert, wenn der Boden vor Zugabe des Wassers zusammengedrückt – verdichtet – wird? Auswirkungen für den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens?



2.5 Der Boden als Filter für Schadstoffe

Wasserlösliche Stoffe können im Boden „hängen“ bleiben und dort gespeichert werden d.h. das Sickerwasser wird auf diese Weise gefiltert – der Boden wird allerdings gleichzeitig verschmutzt! Mit diesem Versuch kann die Filterwirkung verschiedener Böden untersucht werden.

Material:

- **Verschiedene Bodenproben**
- **leere und saubere PET-Flaschen (0.5 l) mit Schraubdeckel**
- **Filterpapier**
- **Schere**
- **Pins**
- **Messbecher**
- **Wasser**
- **blaue Lebensmittelfarbe**

Achtung: Die PET-Flaschen, die für diesen Versuch benötigt werden, sind nicht in der Bodenkiste enthalten und müssen von den Schülerinnen und Schülern mitgebracht werden. Enthalten ist ein Musterexemplar einer Filteranlage.

Durchführung:

- ➔ Zunächst müssen die Versuchsgefäße gebastelt werden. Dazu werden die PET-Flaschen in der Mitte durchgeschnitten. In die Schraubdeckel werden mit einem Pin Löcher gestochen und ein Stück Filterpapier eingelegt, damit die Löcher sich nicht zusetzen. Dann werden die Flaschenoberhälften kopfüber in die Flaschenunterhälften gestellt.
- ➔ Die Filter werden zu 2/3 mit Boden gefüllt und die Oberfläche der Böden etwas angefeuchtet (die Proben sollten aber keineswegs wassergesättigt sein!). Dann werden jeweils 100 ml gefärbtes Wasser in die Filter gegeben.
- ➔ Aus welchem Filter tritt zuerst Wasser aus?
- ➔ Wie viel Flüssigkeit befindet sich letztendlich

lich im Auffanggefäß ? Farbe?

- ➔ Welcher Boden hat die beste Filterwirkung?

Beobachtungen:

Wie auch beim Versuch zur Wasserspeicherung sind je nach Bodenart unterschiedliche Filtratmengen und Durchflussgeschwindigkeiten zu beobachten. Zusätzlich tritt hier teilweise eine Entfärbung des Filtrats auf.

Erklärung:

Während das gefärbte Wasser durch den Boden sickert, bleiben Farbstoffteilchen in den feinen Poren und an den Humusteilchen hängen. Die stärkste Entfärbung – und damit Filterung – findet deshalb in lehmigen und humusreichen Böden statt, während stark sandige Böden nur eine sehr geringe bis gar keine Filterwirkung zeigen.

Wenn Niederschlagswasser durch Bodenschichten mit einem hohen Filtervermögen sickert, wird es gereinigt und kann als sauberes Grundwasser für die Nutzung als Trinkwasser verwendet werden.

Teilweise können die Schadstoffe von Bodentieren und Mikroorganismen weiterverarbeitet werden, andere können nicht abgebaut werden, reichern sich im Boden an und vergiften ihn auf Dauer.

Versuchserweiterung:

Der Versuch kann auch mit anderen „Schadstoffen“ durchgeführt werden – z.B. Kaffee, Salz- oder Zuckerlösung, Essig. Bei der Verwendung von „richtigen“ Schadstoffen muss an die fachgerechte Entsorgung gedacht werden!

2.6 Nährstoffe und Wachstum



Pflanzen brauchen für ihr Wachstum eine Vielzahl von Nährstoffen, die sie mit dem Bodenwasser aufnehmen. Zu den „Hauptnährstoffen“ gehören u.a. Stickstoff, Kalium und Phosphor. Außerdem benötigen die Pflanzen auch kleine Mengen an „Spurenelementen“ wie z.B. Eisen, Mangan und Zink. Wichtig ist, dass alle Elemente verfügbar sind, damit die Pflanzen gesund wachsen können. Die Nährstoffe werden größtenteils durch Verwitterung des Ausgangsgesteins und Abbau der organischen Substanzen freigesetzt.

Material:

- **Bodenproben: Sand und humusreicher Boden (z.B. Garten-, Kompost- oder Blumenerde)**
- **Kressesamen**
- **jeweils 2 Blumentöpfe oder flache Schalen pro Bodenprobe**
- **2 Sprühflaschen**
- **Pflanzendünger (flüssig)**
- **destilliertes Wasser**

Durchführung:

- ➔ Der Pflanzendünger wird nach Vorschrift verdünnt und in eine der beiden Sprühflaschen gefüllt, in die andere Sprühflasche kommt destilliertes Wasser.
- ➔ Jeweils 2 Blumentöpfe werden mit der gleichen Bodenprobe befüllt und einer während des gesamten Versuchs mit der

Düngerlösung besprüht, der andere mit destilliertem Wasser. In jeden Topf werden jeweils 20 Kressesamen gesät und während der gesamten Versuchsdauer – ca. 5 Tage – mit destilliertem Wasser bzw. Düngerlösung besprüht.

- ➔ Die Entwicklung der Pflänzchen wird jeden Tag beobachtet und protokolliert.

Beobachtungen:

Die Pflänzchen in dem humusreichen und mit Düngerlösung gegossenen Boden zeigen das beste, die Pflänzchen in dem ungedüngten Sandboden das schlechteste Wachstum.

Erklärung:

In dem Sandboden ist das Wasser - und damit auch die darin gelösten Nährstoffe - nicht gleichmäßig verfügbar, außerdem fehlen in der ungedüngten Probe die Nährstoffe gänzlich. In dem humusreichen Boden ist eine gleichmäßige Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gegeben. Die Düngerlösung fördert das Wachstum noch zusätzlich, der Unterschied fällt aber nicht so deutlich aus wie bei dem sandigen Boden.

Versuchserweiterung:

Höhere Konzentrationen der Düngerlösung herstellen und beobachten, wie sich dies auf die Pflanzen auswirkt.

Eigene Düngerlösungen herstellen und jeweils einzelne Nährstoffe weglassen. Auswirkungen auf die Pflanzen?

Analysen der Hauptnährstoffe im Boden können mit dem Visicolor-Bodenkoffer durchgeführt werden, der ebenfalls im Landesinstitut ausgeliehen werden kann.

2.7 Das Bodenfenster – Wahrnehmen und Beobachten

Der Boden wird aus der „Käferperspektive“ mit allen Sinnen wahrgenommen, um einen direkten Kontakt zu Boden zu bekommen.

Material:

- **1 Tuch (1,50 x 2,50 m) mit einem großen Ausschnitt (1,50 x 0,90 m) in der Mitte**
- **Esslöffel (zur Bodenentnahme)**

Durchführung:

- ➔ Das Tuch wird auf einer ausgewählten Bodenfläche ausgelegt (z.B. im Wald).
- ➔ Die Schülerinnen und Schüler legen sich bäuchlings im Kreis auf das Tuch um den Ausschnitt herum und betrachten den Boden durch das „Fenster“. Was ist in dem Ausschnitt alles zu entdecken?
- ➔ Die Schülerinnen und Schüler schließen dann die Augen, halten die Nase über ihren Bodenausschnitt und nehmen die Gerüche auf. Ebenfalls mit geschlossenen Augen befühlen sie dann den Boden in

ihrem Fensteranteil.

- ➔ Nach den Sinneserfahrungen wird der Boden erforscht:
- ➔ Wie ist der Boden beschaffen – Bodenart?
- ➔ Welche Tiere und Pflanzen gibt es ?

Information:

Durch das Bodenfenster wird die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler auf einen ausgewählten Bodenausschnitt gelenkt. Sie sollen sich zunächst auf ihre Sinneswahrnehmungen konzentrieren und sie untereinander austauschen. Danach sollen sie den Bodenausschnitt systematisch untersuchen, dabei können lose Teile wie Blätter, Steine u.ä. auf den „Fensterrahmen“ gelegt werden.

Ältere Schülerinnen und Schüler können das Bodenfenster kartieren und die Artenvielfalt in Listen festhalten.

Lupen und Bestimmungshilfen für Bodentiere sind nicht in der Werkstatt enthalten, können aber zusätzlich ausgeliehen werden.

2.8 Bodenprofil – Blick in die Tiefe



Böden entstehen durch Verwitterung von Gestein, welches die mineralischen Bestandteile liefert, und die

gräbt oder einen Bohrstock in den Boden schlägt.

Material:

- **Bohrstock • Gummihammer**
- **Zollstock oder Maßband**
- **verschiedene Untersuchungsstellen**

Durchführung:

- ➔ Der Bohrstock wird zunächst ein wenig in den Boden gedrückt (ohne den Griff!) und mit dem Gummihammer in den Boden getrieben. Dabei ist es ratsam, den Bohrstock (mit Hilfe des Griffs) zwischendurch 2 - 3 mal im Uhrzeigersinn

Bildung von Humus aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren. Im Laufe der Zeit entwickeln sich unter dem Einfluss diverser Umweltfaktoren wie z.B. Niederschläge und Vegetation Schichten, die gleiche Eigenschaften und Merkmale besitzen, die sogenannten Bodenhorizonte. Einen senkrechten Schnitt durch diese Horizonte nennt man ein Bodenprofil. Man kann es sehen, wenn man eine Grube

zu drehen, damit er sich später leichter aus dem Boden ziehen lässt. Dabei nicht vergessen, den Griff vor dem Weiterschlagen wieder zu entfernen! Zuletzt wird der Bohrstock langsam aus dem Boden gedreht und gezogen. Mit dem Griff (oder einem Taschenmesser) wird der Boden in der Nut glatt gestrichen.

- ➔ Nun kann man die Grenzen der einzelnen Horizonte bestimmen und ihre Merkmale erfassen: Farbe, Geruch, Körnung, Feuchtigkeit, Wurzeln u.a.
- ➔ Ältere Schülerinnen und Schüler können auch pH-Wert und Kalkgehalt messen (siehe bei den entsprechenden Versuchsbeschreibungen).

Beobachtungen:

Je nach Standort gibt es einen mehr oder weniger mächtigen, dunkelgefärbten Oberboden, darunter eine oder mehrere Schichten, die anders gefärbt sind und meist dichter und fester als der Oberboden sind.

2.9 Wasserdurchlässigkeit

Verschiedene Böden nehmen unterschiedlich schnell Wasser auf. In sandigen und lockeren Böden versickert das Wasser relativ schnell, während in tonigen Böden die Sickergeschwindigkeit langsamer ist.

Material:

- **2 Stechzylinder**
- **Holzbrett**
- **Gummihammer**
- **2 Messbecher**
- **Wasser**
- **verschiedene Probestellen (z.B. bewachsen – unbewachsen, lockerer Gartenboden – verdichteter Boden)**
- **Uhr mit Sekundenzeiger**

Erklärung:

Die oberste Schicht, der Oberboden bzw. A-Horizont, entsteht durch die Vermischung von abgestorbenen Pflanzen und Tieren mit den verwitterten Ausgangsmaterialien. Er ist meist locker, mehr oder weniger humusreich, braun bis schwarz gefärbt, ist mit Wasser, Luft und organischer Substanz versorgt und bietet so Lebensraum für die überwiegende Zahl der Bodenorganismen.

Darunter folgt der Unterboden bzw. B-Horizont. Die anorganischen Teile sind hier noch nicht so stark verwittert wie im Oberboden. Er ist dichter und meist gelblich bis braun gefärbt durch Einwaschung von Stoffen, die mit dem Wasser aus dem A-Horizont nach unten verlagert werden. Organische Substanzen und Bodenleben sind hier deutlich reduziert.

Zuunterst befindet sich der Rohboden oder C-Horizont. Er besteht aus verwittertem oder unverwittertem Gestein, dem Ausgangsmaterial für die Bodenbildung.

Durchführung:

- ➔ Die Stechzylinder werden am ersten Standort mit Hilfe von Brett und Hammer in einem Abstand von 2 – 3 m zu ungefähr 1/3 in den Boden gerammt. Dann werden je 200 ml Wasser in die Messbecher gefüllt und langsam so in die Stechzylinder gegossen, dass sie nicht überlaufen, und die Zeit gestoppt, bis alles Wasser versickert ist. Die Versuchsergebnisse werden gemittelt und der Versuch an anderen Standorten wiederholt. Dabei sollten verschiedene Bodenbedingungen untersucht und miteinander verglichen werden.
- ➔ Bei lockeren Böden kann man für diesen Versuch auch leere Konservendosen verwenden, aus denen man Deckel und Boden herausgeschnitten hat.

Beobachtungen:

In lockeren und sandigen Böden versickert das Wasser schneller als in schweren und verdichteten Böden. Unbewachsene Flächen lassen das Wasser meist langsamer versickern als bewachsene. In feuchten Böden kann das Wasser besser abfließen als in trockenen.

Erklärung:

Die Speicherung von Wasser im Boden ist abhängig von den mineralischen und organischen Bestandteilen. Sie bestimmen die Porengröße und Porenform, wobei die Boden-

poren je nach Größe entweder mit Wasser oder Luft gefüllt sind. Je feinkörniger ein Boden ist, desto größer ist das Speichervolumen. Sand z.B. besitzt nur Grobporen, die das Wasser schnell versickern lassen.

Humusteilchen können sich mit einer Wasserhülle umgeben und auf diese Weise viel Wasser speichern.

Wichtig für eine gleichmäßige Wasserversorgung ist auch die Struktur des Bodens. Bei verdichteten Böden z.B. durch Fahrspuren werden die Poren zerstört. Das Wasser kann sich nicht gleichmäßig verteilen, es entstehen Pfützen und andere Stauungen.

2.10 Bodentemperatur

Die Wärmequelle der Böden ist die Sonne. Je nach Bodenart und Bewuchs erwärmen sich die Böden unterschiedlich schnell und kühlen auch unterschiedlich schnell wieder ab.

Material:

- **Bodenthermometer**
- **unterschiedliche Untersuchungsstellen**

Durchführung:

- ➔ Gemessen werden die Temperaturen an der Bodenoberfläche, in 2 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm und 30 cm Tiefe sowie die Lufttemperatur in 1 m Höhe. Verglichen werden sollten die Temperaturen von sandigen und lehmig-tonigen Böden und Böden mit und ohne Bewuchs. Wenn möglich, sollten Messungen zu verschiedenen Tageszeiten gemacht und miteinander verglichen werden.
- ➔ Welche Bodenart erwärmt sich schneller? Warum?
- ➔ Wie ist der Temperaturunterschied von der Bodenoberfläche und in 30 cm Tiefe zu erklären?
- ➔ Wie wirkt sich die Vegetation auf die Temperaturen aus?

Beobachtungen:

Sandige, helle Böden erwärmen sich schneller als dunkle, tonreiche Böden.

Die Temperaturschwankungen an der Bodenoberfläche und kurz darunter ähneln denen der Lufttemperatur, darunter sind die Temperaturveränderungen eher gering.

Pflanzenbewuchs wirkt ausgleichend und verhindert sowohl eine zu große Erwärmung als auch einen zu hohen Wärmeverlust.

Erklärung:

Die Wärme wird im Boden v.a. durch das Wasser verteilt, da Wasser eine größere Wärmeleitfähigkeit besitzt als Luft. Feuchte, luftarme Tonböden leiten die Wärme besser ab als trockene, lockere und gut durchlüftete Böden. Die Temperaturunterschiede zwischen oberen und unteren Bodenschichten sind deshalb bei einem feuchten Boden geringer als bei einem trockenen. Wegen des Wärmeverlustes durch Verdunstung fühlen sich tonige Böden kälter an als sandige Böden.

3. Versuche für die Sekundarstufe I (Kl. 7 - 10)

3.1 Einstieg: Boden „be – greifen“

Böden können sehr unterschiedlich beschaffen sein: Aufgrund der Färbung, der Struktur und des Geruchs kann man viel über die Eigenschaften eines Bodens erfahren.

Materialien:

- **Durchsichtige Plastikbehälter (sind in der Bodenkiste nicht enthalten!) gefüllt mit verschiedenen Bodenproben: Gartenerde, Walderde, Steine, Sand, Lehm.**



(Diese Bodenproben werden bis auf die Steine auch in den nachfolgend beschriebenen Versuchen verwendet. Dafür sollten die Böden keine größeren Teilchen wie Steine oder Pflanzenreste mehr enthalten – evtl. mit dem 2mm-Sieb sieben).

Durchführung:

- ➔ Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, sich die verschiedenen Böden genau anzusehen, sie anzufühlen und den Geruch zu prüfen.
- ➔ Welche Farbe haben die Böden – was verursacht die unterschiedliche Färbung?
- ➔ Wie fühlen sich die Böden an – sind sie eher rau und rieseln durch die Finger oder lassen sie sich formen oder sogar rollen?
- ➔ Wie riechen die Böden – warum riechen Sandböden anders als Waldböden?
- ➔ Welche Bestandteile kann man in den Bodenproben entdecken?

Information:

Böden lassen sich gut über die Sinne „be – greifen“. Da die Größenverteilung der festen Bodenbestandteile praktisch alle wichtigen Eigenschaften wie Wasserhaushalt, Durchlüftung und Nährstoffversorgung beeinflusst, kann man mit der sogenannten Fingerprobe

(siehe S. 10) die Bodenart schätzen und bereits Vermutungen über die obengenannten Eigenschaften anstellen. Anschließend können diese Vermutungen in den entsprechenden Experimenten untersucht werden.

Die Färbung eines Bodens wird bestimmt durch das Ausgangsmaterial, die Verwitterungsprozesse und den Humusgehalt. Je dunkler die Färbung, desto höher ist im allgemeinen der Gehalt an Humus.

Während Böden mit einem hohen Humusgehalt einen typisch „erdigen“ Geruch besitzen, sind sandige Böden eher geruchlos.

Anhand der oben genannten Bodenproben lässt sich auch gut die Entwicklung von Böden erklären. Die Steine stehen für das Ausgangsgestein der Bodenbildung. Sie werden durch verschiedene Verwitterungsvorgänge (physikalisch, chemisch, biologisch) soweit zerkleinert, dass sie die mineralischen Bestandteile des Bodens bilden => Sand, Lehm. Durch Zersetzung und Einarbeitung von organischen Substanzen entsteht der braunefarbte, humushaltige Oberboden.

3.2 Humusgehalt – Der CO₂-Speicher im Boden

Als Humus bezeichnet man alle abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Bestandteile des Bodens. Er ist die wichtigste natürliche Nährstoffquelle des Bodens und beeinflusst überdies die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens. Da im Humus auch Kohlendioxid langfristig festgelegt wird, ist er außerdem eine wichtige CO₂-Senke. Durch Verbrennung bei hohen Temperaturen lässt sich der Humusanteil im Boden bestimmen.



Material:

- **verschiedene Bodenproben**
- **Mörser**
- **Porzellanschale**
- **Waage**
- **Bunsenbrenner**
- **Dreifuß mit Ton-Dreieck**
- **Glasstab**
- **Feuerzeug**
- **Tiegelzange**
- **Schutzhandschuh**

Durchführung:

- ➔ Die Bodenprobe sollte möglichst trocken sein – entweder einige Tage an der Luft trocknen oder, wenn vorhanden, im Trockenschrank (110° C).
- ➔ Der trockene Boden wird mit dem Mörser zerkleinert und 50 g in eine Porzellanschale eingewogen.
- ➔ Das Tondreieck wird auf den Dreifuß gelegt und die Schale daraufgestellt. Dann wird die Probe 20 - 30 Min. mit dem Bunsenbrenner geglüht – zuerst mit kleiner Flamme, später bis zur Rotglut. Für eine gleichmäßige Verbrennung zwischendurch mit dem Glasstab umrühren, dabei den Tiegel mit der Zange festhalten. Schutzbrille tragen!
- ➔ Wenn die Probe eine weißlich-graue Färbung annimmt, ist der Verbrennungsvorgang abgeschlossen. Die Schale wird mit

der Tiegelzange vom Dreifuß genommen und zum Abkühlen auf eine gefaltete Zeitung gestellt.

- ➔ Nach ca. 1 Stunde kann die Probe mit der Schale erneut ausgewogen werden. Die Differenz zum Ausgangswert (50 g) entspricht dem Gehalt an organischer Substanz (und damit in etwa dem Gehalt an Humus s.u.) und wird in Prozenten der Bodeneinwaage angegeben.

Erklärung:

Beim Glühen werden die organischen Substanzen in Verbrennungsgase umgewandelt und zurück bleiben die mineralischen Bestandteile.

Die organische Substanz im Boden setzt sich zusammen aus ca. 85 % toter organischer Substanz (= Humus), 10 % Pflanzenwurzeln und 5 % Edaphon(= Bodenflora und -fauna).

Man kann den Humusgehalt auch annähernd anhand der Färbung abschätzen: je dunkler die Färbung, desto größer ist im Allgemeinen der Humusgehalt. Hellgraue Böden besitzen einen Humusgehalt von < 1%, dunkelgraue 2- 4 % und schwarze Böden 8 - 15%.

3.3 pH-Wert – Wie sauer ist der Boden?

Mitteleuropäische Böden haben pH-Werte zwischen 3 und 8. Bei einem pH-Wert von 7 reagiert ein Boden neutral, darüber basisch und darunter sauer. Die meisten Bodentiere und Pflanzen bevorzugen einen pH-Wert im neutralen bis schwach sauren Bereich.

Material:

- **verschiedene Bodenproben**
- **Hellige pH-Meter**

Durchführung:

- ➔ Der pH-Wert der Bodenproben wird mit dem Hellige pH-Meter laut beiliegender Anweisung gemessen.
- ➔ Was bedeuten die pH-Werte für die Lebensbedingungen von Pflanzen und Tieren?
- ➔ Woher kommen die Wasserstoff-Ionen, die für die saure Reaktion verantwortlich sind?

Erklärung:

Der pH-Wert ist das wichtigste chemische Merkmal des Bodens. Er beeinflusst die Verwitterung der mineralischen Ausgangsmaterialien, den Wasser- und Lufthaushalt des Bodens, die Verfügbarkeit an Pflanzennährstoffen und die Aktivität der Mikroorganismen. Sinkt der pH-Wert unter einen bestimmten Wert, finden z.B. Verlagerungen von Ton- und Humusteilchen in den darunter liegenden Bodenhorizont statt oder es gehen Stoffe in Lösung wie z.B. das für Pflanzenwurzeln extrem giftige Aluminium. Ohne Gegenmaßnahmen neigen die Böden in unseren Breitengraden zur Versauerung. Ursache hierfür sind die Atmung der Pflanzenwurzeln und die Aktivitäten der Bodenorganismen sowie Einträge von außen wie z.B. saure Niederschläge.

3.4 Kalkgehalt

Unter den mineralischen Bodenbestandteilen kommt dem Kalk eine besondere Bedeutung zu. Er kann Säuren „abpuffern“ und so einer Versauerung des Bodens entgegenwirken.

Material:

- **verschiedene kalkhaltige Materialien: Schneckenhäuser, Muscheln, Kreide, Steine**
- **Bodenproben mit und ohne Kalk**
- **Petrischalen**
- **10%ige Salzsäure**
- **Tropfflasche oder Pipette**
- **Schutzbrille und -handschuhe**

Durchführung:

- ➔ **Achtung:** Schutzbrille aufsetzen und

Schutzhandschuhe anziehen.

- ➔ Die zu untersuchende Probe wird in eine Petrischale getan und vorsichtig 1 - 2 Tropfen Salzsäure dazugegeben.
- ➔ Was passiert? Wie lautet die chemische Gleichung für diesen Versuch?

Beobachtungen:

Je nach Kalkgehalt der Probe gibt es entweder gar keine Reaktion oder ein mehr oder weniger starkes Aufbrausen.

Erklärung:

Der Nachweis beruht darauf, dass die Salzsäure die schwächere Kohlensäure aus deren Salzen verdrängt ($\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \Rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

Das gasförmige Kohlendioxid entweicht unter mehr oder weniger starkem Aufbrausen. Aus der Intensität lässt sich der Kalkgehalt der Probe abschätzen.

Im Boden kann der Kalk Wasserstoffionen chemisch binden und so Säure-Einträge durch z.B. "sauren Regen" oder saure Dünger abpuffern und damit einer Versauerung des Bodens entgegenwirken.

Erweiterung:

Die Schülerinnen und Schüler überlegen, wo es noch kalkhaltige Materialien gibt und werden aufgefordert, Proben mitzubringen z. B. Eierschalen, Baumaterial und Gips.

3.5 Ionenaustausch und Pufferwirkung

Die mineralischen und organischen Bestandteile des Bodens sind in der Lage, Ionen anzulagern und auszutauschen. Dies spielt z.B. eine wichtige Rolle bei der Nährstoffversorgung der Pflanzen. Pflanzen scheiden Wasserstoffionen aus und nehmen im Gegenzug dafür Kationen wie z.B. Calcium- und Kaliumionen auf.

Material:

- **humusreicher, feinkörniger Boden z.B. Gartenerde**
- **2 Blumentöpfe**
- **2 Bechergläser**
- **Filterpapier**
- **Essig (10%) oder Essigessenz**
- **Methylenblau-Lösung 0,01%**
- **Eosin-Lösung 0,01%**
- **Messzylinder**

Durchführung:

- ➔ Die Blumentöpfe werden mit Filterpapier ausgelegt und bis 2 cm unter den Rand mit der Bodenprobe befüllt. Die Farblösungen werden mit Wasser auf 0,01% verdünnt. Über eine Bodenprobe werden langsam insgesamt 200 ml Methylenblau-Lösung, über die andere 200 ml Eosin-Lösung gegossen.
- ➔ Wie sehen die Lösungen aus, die aus dem Boden in die Bechergläser tropfen?

Beobachtungen:



Die Methylenblau-Lösung wird – je nach verwendeter Bodenprobe – mehr oder weniger entfärbt, während die Eosin-Lösung nahezu ihre rote Farbe behält.

Erklärung:

Die Methylenblau-Lösung enthält kationische, die Eosin-Lösung anionische Farbstoffe. Die größte Austauschkapazität im Boden besitzen die feinen Tonteilchen und Humusstoffe, die an ihrer großen spezifischen Oberfläche viele freie negative Ladungen tragen. Kationen werden deshalb leicht angelagert, während Anionen kaum Austauschplätze finden. Deshalb wird z.B. Nitrat (NO_3^-) leicht ausgewaschen und kann bei hohen Düngergaben ins Grundwasser gelangen.

Versuchserweiterung:

- ➔ Wenn keine Lösung mehr aus den Blumentöpfen tropft, werden neue Becher-

gläser unter die Blumentöpfe gestellt und jeweils 200 ml Essig – als saurer Regen – über die Bodenproben gegossen.

- ➔ Wie sehen die Filtrate aus? Vergleich mit dem ersten Durchgang?
- ➔ Wie sind die pH-Werte von dem Essig und den Filtraten? (mit Indikatorstäbchen messen)

Erklärung:

Die positiv geladenen Wasserstoffionen des Essigs verdrängen Kationen von den Austauschplätzen. Infolge dieser Pufferwirkung des Bodens ist der pH-Wert der Filtrate höher

als der des Essigs. Das Filtrat der mit Methylenblau versetzten Bodenprobe ist – je nach Bodenart und vorhandenen Kationen – leicht gefärbt.

Achtung:

Da die Bodenproben nach dem Durchlaufen der Farblösungen wassergesättigt sind, kann der Essig – je nach Bodenart – ziemlich lange zum Durchlaufen brauchen. Evtl. während dieser Zeit noch andere Aktionen einplanen! Bei genügend Zeit kann noch 1 - 2 mal jeweils 100 ml Essig nachgegossen werden – vorher die Auffanggefäße wechseln.

3.6 Säureabgabe der Wurzeln

Pflanzen benötigen für ihr Wachstum mineralische Nährstoffe, die im Boden sowohl als Anionen als auch als Kationen vorliegen, wobei die Aufnahme der Kationen deutlich überwiegt. Im Gegenzug geben die Pflanzen Protonen an die Bodenlösung ab.

Material:

- **Kressesamen**
- **Petrischale mit Deckel**
- **Traubenzucker**
- **blaues Lackmuspapier**
- **Tropfflasche**
- **Teelöffel**
- **Messbecher**

Durchführung:

- ➔ Die Petrischale wird mit blauem Lackmuspapier ausgelegt. Dann wird eine Traubenzuckerlösung hergestellt ($\frac{1}{2}$ Teelöffel Traubenzucker auf 250 ml Wasser) und mit Hilfe einer Tropfflasche auf das Lackmuspapier getropft, bis es gleichmäßig durchfeuchtet ist.
- ➔ Auf dem Papier werden ca. 20 Kressesamen ausgelegt und die Petrischale mit dem Deckel verschlossen.

- ➔ Der Versuch wird ca. 5 Tage beobachtet. Während dieser Zeit darf das Lackmuspapier nicht austrocknen, bei Bedarf etwas Traubenzuckerlösung nachtropfen.
- ➔ Was passiert mit dem Lackmuspapier?

Beobachtungen:

Nach Keimung der Kressesamen färbt sich das Lackmuspapier im Bereich der kleinen Wurzeln rot.

Erklärung:

Die Kressewurzeln nehmen Kationen aus der Traubenzuckerlösung auf und geben Protonen dafür ab. Dabei wird die Lösung saurer und das Lackmuspapier färbt sich rot.

Auf diese Weise haben Pflanzen auch Anteil an der chemischen Verwitterung der Böden. Flechten und Moose können auf blankem Gestein wachsen. Durch die Säureabgabe lösen sie Nährstoffe aus der Gesteinsoberfläche. Es entstehen kleine Ritzen und Mulden, in denen sich Wasser und organische Substanzen sammeln können und somit Lebensraum für weitere, höhere Pflanzen entstehen kann.

4. Der Boden im Klimawandel Dr. Dieter Kasang

4.1 Der Boden als Lebensgrundlage

Obwohl Bodenzerstörung und Bodendegradierung seit langem wichtige ökologische Themen sind, ist der Boden in seiner Beziehung zum Klimawandel noch wenig beachtet. Das mag daran liegen, dass Prozesse im Boden

auf das Klima schon aus zwei Gründen von besonderer Wichtigkeit. Zum einen ist im Boden doppelt so viel Kohlenstoff gespeichert wie in der Atmosphäre und zweieinhalb Mal so viel wie in der Vegetation, weshalb der Bo-

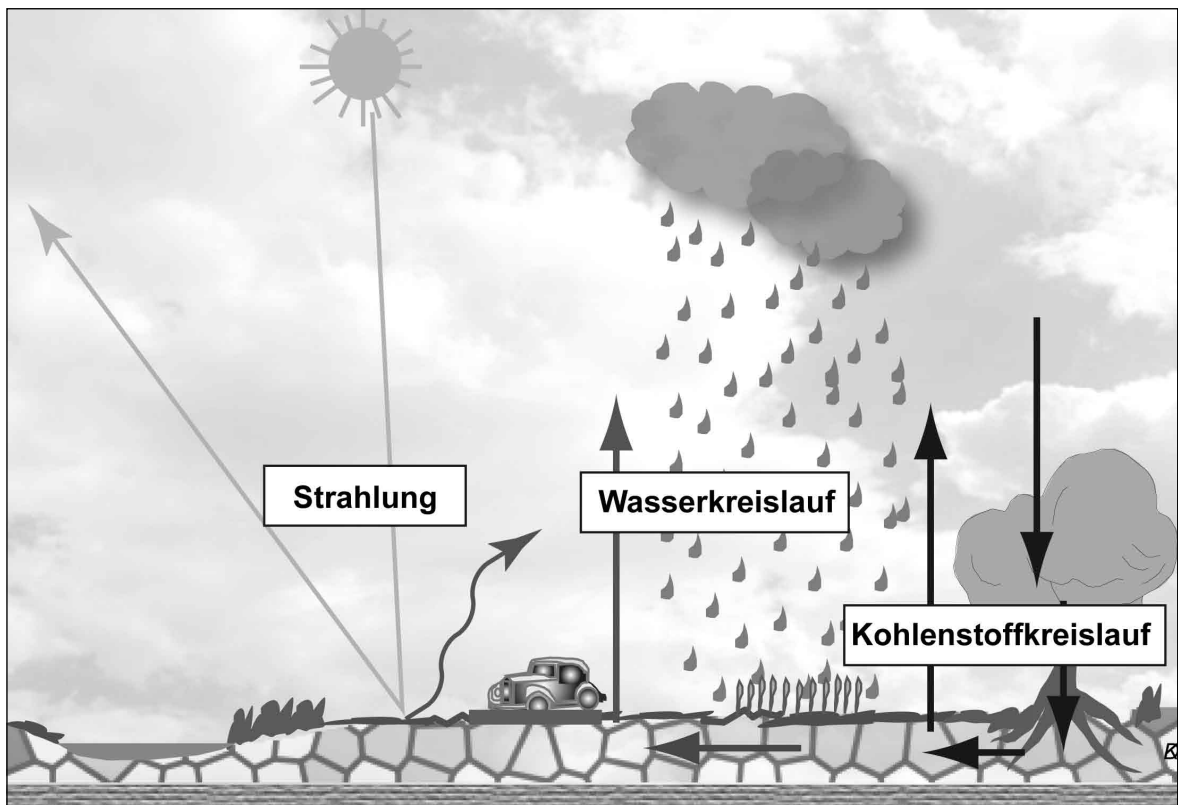


Abb. 1: Wichtige Beziehungen zwischen Boden und Klima¹

weniger deutlich wahrnehmbar sind als andere Klimafolgen wie das Abschmelzen der Gletscher oder die Verlängerung von Wachstumszeiten der Vegetation. Ein wichtiger Grund sind aber auch die komplexen Beziehungen zwischen Klimaänderungen und Boden, die auch die Wissenschaft vor schwierige Aufgaben stellt. So gelangte denn auch kaum mehr über dieses Thema in die Öffentlichkeit als die mögliche Methanfreisetzung durch das Auftauen von Permafrost.

Dabei sind die Folgen des Klimawandels auf die Böden der Erde und deren Rückwirkungen

den denn auch durchaus das Potenzial besitzt, den menschengemachten Treibhauseffekt zu verstärken. Zum anderen ist der Boden von elementarer Bedeutung für das Leben auf der Erde, und jede Veränderung des Bodens hat daher weit reichende Folgen.

Der Boden ist Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen. Durch seine Wasser- und Nährstoffkreisläufe ermöglicht er das Pflanzenwachstum, das wiederum die Grundlage für das Leben von Tieren und Menschen ist. Ohne den Boden wäre für den Menschen sei-

ne eigene Nahrungsmittelproduktion nicht möglich. Ackerbau und Viehzucht sind auf den Boden angewiesen, auf dem das Getreide wächst und das Futter für das Vieh gedeiht.

Zum Verständnis der Rolle des Bodens im Klimawandel soll zunächst seine Stellung im Klimasystem betrachtet werden.

4.2 Der Boden im Klimasystem

Temperatur und Strahlung

Boden und Atmosphäre tauschen wechselseitig Energie aus. Der Boden wird über die Atmosphäre durch die Sonneneinstrahlung erwärmt, die zunächst die obere Schicht des Bodens erreicht, von wo aus die Erwärmung der darunter liegenden Schichten erfolgt. Wie viel von der Sonnenstrahlung aufgenommen bzw. absorbiert und nach unten weitergegeben

mermonaten. Die Weitergabe in die Tiefe ist abhängig von der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens. Die Wärmeleitfähigkeit wird vor allem durch die schlecht leitende Luft im Boden bestimmt: Je weniger Luft sich in den Bodenporen befindet, desto besser ist die Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmekapazität ist primär vom Wassergehalt des Bodens abhängig, denn die Wärmekapazität von Wasser ist deutlich höher als die von Luft, mi-

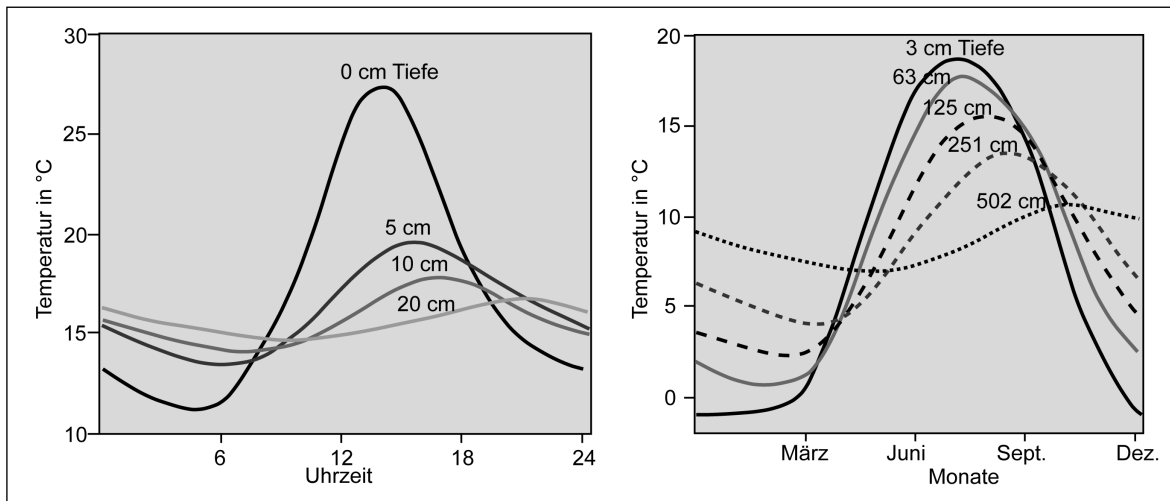


Abb. 2: Tages- (links) und Jahresgang (rechts) der Temperatur in verschiedenen Bodentiefen²

wird, hängt einerseits von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche, andererseits von der des tieferen Bodens ab. Je heller die Erdoberfläche ist, desto mehr Einstrahlung wird wieder reflektiert, d.h. je höher ist die Albedo bzw. das Rückstrahlungsvermögen. Eine Oberfläche aus frisch gefallenem Schnee reflektiert 75-95 % der Einstrahlung, trockener Sandboden 35-45 % und Schwarzerde nur 5-15 % der Solarstrahlung.³

Die Erwärmung der Bodenoberfläche folgt dem Tages- und Jahresgang, mit einem Maximum um die Mittagszeit und in den Som-

mermonaten. Die Weitergabe in die Tiefe ist abhängig von der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens. Die Wärmeleitfähigkeit wird vor allem durch die schlecht leitende Luft im Boden bestimmt: Je weniger Luft sich in den Bodenporen befindet, desto besser ist die Wärmeleitfähigkeit. Die Wärmekapazität ist primär vom Wassergehalt des Bodens abhängig, denn die Wärmekapazität von Wasser ist deutlich höher als die von Luft, mi-

¹Eigene Darstellung

²Eigene Darstellung nach Hyper-Soil/Lern- und Arbeitsumgebung zum Themenfeld „Boden“ im Unterricht: <http://hypersoil.uni-muenster.de> (Uni Münster).

³Brigitte Klose (2008): Meteorologie. Eine interdisziplinäre Einführung in die Physik der Atmosphäre, Heidelberg, S. 174.

Der Energieaustausch vom Boden zur Atmosphäre geschieht über die Abgabe von Strahlungsenergie und latenter Wärme.⁴ Ein warmer Boden gibt über langwellige Wärmestrahlung Energie an die Atmosphäre ab, dunkle Böden mehr, helle Böden weniger, da sie weniger Strahlung absorbiert haben. Die Abgabe latenter Wärme geschieht über die Verdunstung von Wasser im Boden. Für die Umwandlung von Wasser in Wasserdampf wird dem umgebenden Boden und der Luft im und über dem Boden Energie entzogen, die im Wasserdampf „verborgen“ (latent) in die Atmosphäre gelangt und dort bei Kondensation wieder frei wird. Ist der Boden relativ trocken, kann weniger latente Wärme an die Atmosphäre abgegeben werden. Durch die geringere Verdunstung werden der Boden und die Atmosphäre unmittelbar darüber stärker aufgeheizt. Das stößt eine positive Rückkopplung an. Da weniger Wasserdampf in die Atmosphäre gelangt, kann dort auch weniger Kondensation stattfinden und damit weniger Wolkenbildung. Bei geringerer Bewölkung verstärkt sich aber die Einstrahlung, wodurch der Boden noch wärmer und trockener wird.

Wasserkreislauf

Das Bodenwasser spielt nicht nur eine wichtige Rolle beim Energieaustausch mit der Atmosphäre, sondern ist auch selbst Bestandteil eines Atmosphäre und Boden umfassenden Kreislaufs. Der Boden erhält sein Wasser direkt oder indirekt über Zuflüsse aus den Niederschlägen der Atmosphäre. Der Wasserkreislauf zwischen Boden und Atmosphäre ist jedoch nicht geschlossen. Die Atmosphäre erhält 35 % des Niederschlags, der über dem Land fällt, aus verdunstetem Ozeanwas-

ser, das über Luftströmungen herantransportiert wird. Und der Boden gibt nur einen Teil des Niederschlagswassers durch Verdunstung wieder an die Atmosphäre zurück. Dieser Anteil ist in feuchten Klimazonen geringer als in trockenen Klimaten, wo er sogar 100 % erreichen kann.

Ein Teil der Niederschläge, die nicht verdunsten, fließt oberflächlich direkt in Flüsse und Seen (Abb. 3). Ein anderer versickert im Boden und hält sich mehr oder weniger lange darin als Bodenwasser auf. Je nach Bodenart verbleibt davon ein mehr oder weniger großer Anteil als Haftwasser im Boden selbst, entweder in feinen Bodenporen oder an den Oberflächen fester Bodenpartikel. Dieses Wasser steht den Wurzeln der Pflanzen zur Verfügung und wird teilweise über die oberirdischen Bestandteile der Pflanze wieder an die Atmosphäre verdunstet (Transpiration). Das nicht im Boden verbleibende oder verdunstende Niederschlagswasser sickert durch den Boden hindurch in das Grundwasser. Von hier gelangt es teilweise wie der Oberflächenabfluss in Flüsse und Seen, von wo zumindest in mittleren und höheren Breiten der größere Anteil direkt ins Meer fließt und der Rest in die Atmosphäre verdunstet.

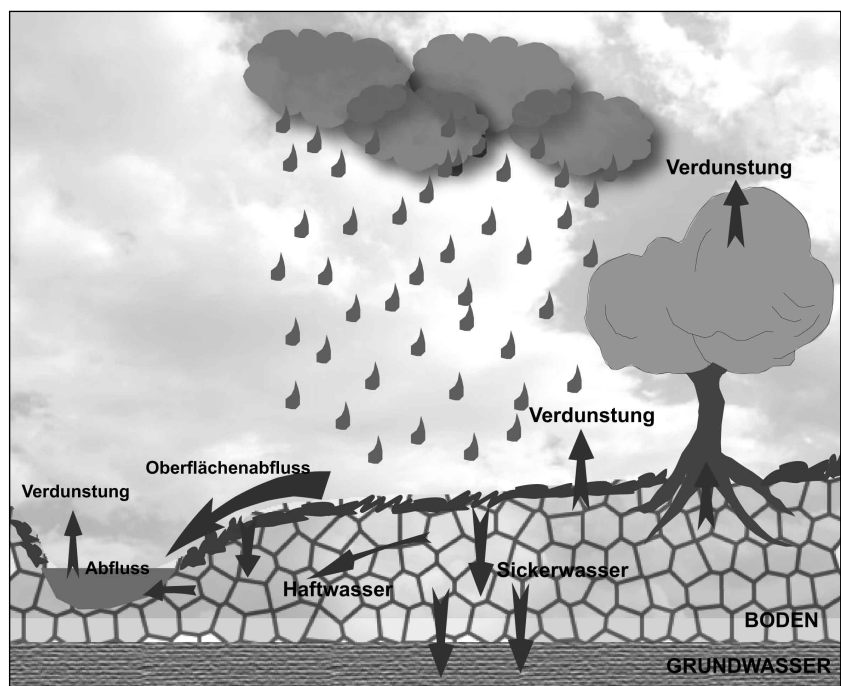


Abb. 3: Wasserkreislauf und Boden⁵

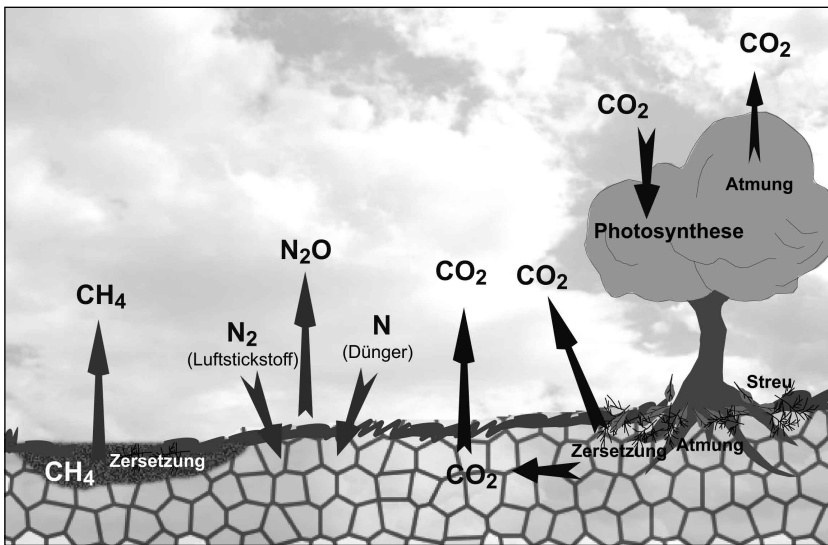


Abb. 4: Der Boden als Speicher und Emittent von Treibhausgasen⁶

Stoffkreisläufe

Die wichtigste Beziehung zwischen Boden und Klimasystem besteht in dem Austausch von Treibhausgasen, vor allem von Kohlendioxid. Aber auch Lachgas (N_2O) und in besonderen Fällen Methan (CH_4) spielen eine Rolle. Nach dem Ozean, der mit 38 000 Gt C⁷ mit Abstand das größte Kohlenstoffreservoir darstellt, ist der Boden der größte Kohlenstoff-Speicher des Klimasystems. In ihm sind 1500 Gt C gespeichert, in der Vegetation dagegen nur 600 und in der Atmosphäre 720 Gt C.⁸

Die Vegetation ist die Brücke, über die Kohlendioxid aus der Atmosphäre in den Boden gelangt (Abb. 4). Durch Photosynthese verwandeln grüne Pflanzen Kohlendioxid aus der Atmosphäre in organische Verbindungen und bauen damit Biomasse auf. Etwa die Hälfte des aufgenommenen Kohlendioxids wird durch die Atmung der Pflanze unmittelbar an die Atmosphäre wieder abgegeben. Ein Großteil der Biomasse fällt aber als Streu (Laub, heruntergefallene Zweige etc.) auf den Boden und wird durch Bodenorganismen zersetzt. Dabei wird der zuvor in der Pflanze gespeicherte Kohlenstoff bis auf einen geringen Teil, der als Humus längerfristig gespeichert bleibt, wieder frei und gelangt als Kohlendioxid in die Bodenluft. Eine weitere Quelle für den Kohlendioxidgehalt der Bodenluft ist die Atmung der Pflanzenwurzeln.

Vor allem durch die Aktivität der Bodenorganismen ist der CO_2 -Partialdruck im Boden höher als in der Atmosphäre. Dadurch gibt der Boden ständig Kohlendioxid an die Atmosphäre ab. Im Mittel stehen die Aufnahme von CO_2 durch den Boden aus der Atmosphäre über die Vegetation und die Abgabe an die Atmosphäre über den höheren CO_2 -Partialdruck in einem ausgeglichenen Verhältnis.

Regional kann es jedoch große Unterschiede geben, die auch durch die Nutzung des Bodens durch den Menschen stark beeinflusst sind. So sind Moorböden in Deutschland durch die gegenwärtige Nutzung eine bedeutende CO_2 -Quelle, aus der knapp 8 Millionen t CO_2 -Äquivalente (neben Kohlendioxid auch Methan) pro Jahr freigesetzt werden. Das entspricht 2,8 % der gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands.⁹ Dagegen zeigen Waldböden in Deutschland einen ausgeglichenen CO_2 -Austausch mit der Atmosphäre. Und bei einer Umwandlung von Ackerland in Wald, kann der Boden über einen längeren Zeitraum mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen, als er abgibt.

⁴IPCC (2007): Climate Change 2007, Working Group I: The Physical Science Basis, Box 7.1.

⁵Eigene Darstellung in Anlehnung an Hyper-Soil/Lern- und Arbeitsumgebung zum Themenfeld „Boden“ im Unterricht: Bodenwasser <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/04.htm> (Uni Münster).

⁶Eigene Darstellung

⁷Gt = Gigatonnen = Milliarden t; 1 t C entspricht 3,67 t CO_2 .

⁸David Powlson (2005): Will soil amplify climate change?, Nature 433, 204-205.

⁹UBA-Workshop „Böden im Klimawandel – Was tun?!“, S. 105 ff. - online: http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysq_l_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3495.

Neben Kohlendioxid sind auch Lachgas (N_2O) und in besonderen Fällen Methan (CH_4) wichtige Treibhausgase im Boden. Der Boden gibt sie ebenfalls an die Atmosphäre ab, nimmt sie aber nicht wie Kohlendioxid von ihr auf. Methan ist nach Kohlendioxid das zweitwichtigste Treibhausgas, das durch menschliche Aktivitäten emittiert wird. Es entsteht bei der Zersetzung von organischem Material unter Luftabschluss, d.h. anaerob. Im Boden kommt das vor allem in Sümpfen, Mooren und Reisfeldern vor, die daher eine wichtige Methanquelle für die Atmosphäre sind. Wenn Sümpfe dauerhaft gefrieren, wird Methan über längere Zeiten im Boden eingeschlossen, was bei den Permafrostböden der hohen Breiten der Fall ist (s.u. Methan im Permafrost).

Lachgas entsteht aus anderen Stickstoffverbindungen einerseits auf natürlichem Wege, andererseits durch die landwirtschaftliche Düngung. Von Natur aus werden verschiedene Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre entweder durch Niederschlag deponiert oder durch Bakterien direkt aus der Luft fixiert. Eine mengenmäßig sehr bedeutsame Quelle ist die Anwendung von organischem Dünger (Gülle und Mist) und anorganischen Kunstdüngern. Über verschiedene Umwandlungsprozesse im Boden entsteht das Treibhausgas N_2O , das dann in die Atmosphäre gelangt.

4.3 Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden

Hitze und Trockenheit

Klimaänderungen und damit auch die gegenwärtige globale Erwärmung wirken sich auch auf den Boden aus, der dann wiederum die klimatischen Prozesse beeinflusst. Ein gutes Beispiel ist die europäische Hitzewelle 2003. Eine anhaltende Trockenheit seit dem Februar des Jahres hatte in Mittel- und Westeuropa den Boden und die Vegetation austrocknen lassen. In Deutschland kam es zur längsten Trockenperiode seit 100 Jahren. Als dann im August 2003 die Hitzewelle über Mittel- und Westeuropa hereinbrach, gab es kaum noch Feuchte im Boden und in der Vegetation. Das hatte zur Folge, dass kaum noch Wasser verdunsten konnte und somit der Abkühlungseffekt durch die Verdunstung ausblieb, was die Austrocknung des Bodens weiter verstärkte. Ähnliche Rückkopplungseffekte waren auch für andere Hitzeperioden der letzten Jahrzehnte wie 1976, 1994 und 2005 verantwortlich.¹⁰

Diese Verhältnisse lassen sich auf die weitere Entwicklung im 21. Jahrhundert teilweise übertragen. Allgemein wird damit gerechnet,

dass in Europa die Winter wärmer und feuchter, die Sommer heißer und trockener werden. In Teilen West- und Südeuropas werden die Temperaturen im Sommer um 6°C über den heutigen liegen und die Niederschläge bis zu 70 % abnehmen. Steigende Temperaturen und abnehmende Niederschläge werden dazu führen, dass Hitzewellen und Dürren häufiger vorkommen und länger anhalten werden.¹¹ Ein Sommer wie 2003 wird in 50 Jahren möglicherweise ein normaler Sommer sein.

Was sind die Folgen für den Boden? Und welche Rolle wird der Boden in den klimatischen Verhältnissen der Zukunft spielen? Die meisten Prognosen gehen davon aus, dass in Mittel- und Südeuropa der Boden schon im Frühling trockener sein wird als heute.¹² In den wärmeren Wintern der Zukunft werden vor allem im Flachland und in den Mittelgebirgen Niederschläge kaum noch als Schnee fallen, sondern als Regen. Schnee wäre in der Lage, den Niederschlag über Monate zu speichern. Regen dagegen versickert unmittelbar im Boden und in darunter liegende Schichten oder fließt oberflächlich ab. Hinzu kommt eine etwas höhere Verdunstung auch schon

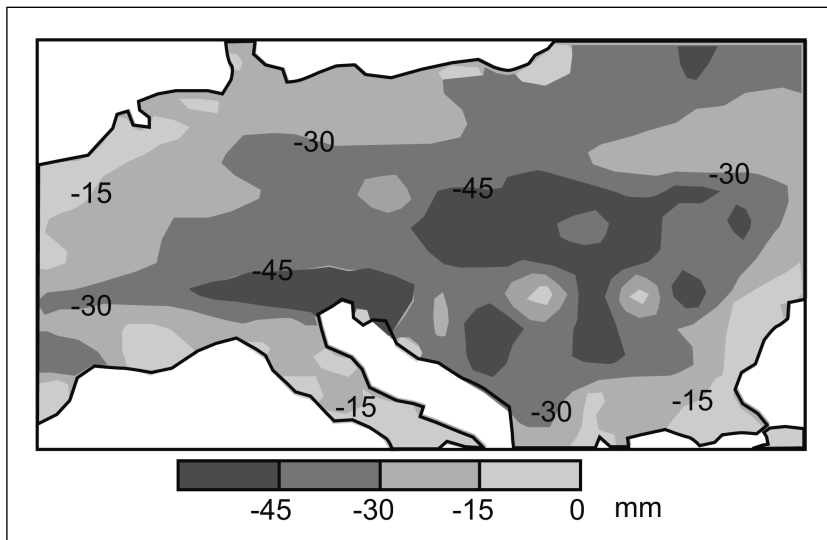


Abb. 5: Veränderung der sommerlichen Bodenfeuchte in Mitteleuropa 2071-2100 im Vergleich zu 1961-1990 in mm Bodenwasser¹³

im Frühling, der früher beginnt als heute und etwas wärmer sein wird.

Der Boden wird daher schon zu Beginn des Sommers verhältnismäßig trocken sein (Abb. 5). Hohe Sommertemperaturen führen dann zu einer weiteren Austrocknung der Vegetation und des Bodens. Damit aber bleiben Abkühlungseffekte durch Verdunstung weitgehend aus, und die Sommerhitze kann sich weiter steigern. Da weniger Wasser in die Atmosphäre verdunstet, wird es außerdem auch weniger Niederschläge geben, wodurch der Boden noch weiter austrocknet. Von dem trockenen und warmen Boden steigt außerdem Strahlungswärme in die Atmosphäre auf, die sich infolgedessen ebenfalls weiter erwärmt und die Kondensation von Wasserdampf noch mehr verhindert.

Erwärmung und Kohlenstoff

Die Wechselwirkungen über die Temperatur und den Wasserkreislauf sind aber nur der eine Effekt, den das Klima künftig auf den Boden und der Boden auf das Klima haben werden. Eine andere Wirkung wird in der Forschung viel stärker diskutiert. Möglicherweise werden bei höheren Temperaturen auch die Bodenorganismen zu höherer Aktivität angeregt und die Zersetzung des organischen Materials im

Boden verstärken. Die Folge wird eine höhere CO₂-Emission aus dem Boden sein. Der Boden, der heute eine Kohlendioxid-Senke ist, könnte zu einer CO₂-Quelle werden. Welche Prozesse sind dafür maßgebend?

Eine höhere CO₂-Konzentration in der Atmosphäre führt zunächst zu einem stärkeren Pflanzenwachstum (CO₂-Düngungseffekt). Dadurch wird vermehrt Kohlendioxid von der Vegetation

aus der Atmosphäre aufgenommen und über Wurzeln und Streu teilweise dem Boden zugefügt. Dieser negativen, die Erwärmung abschwächenden Rückkopplung steht jedoch eine positive entgegen. Steigende Temperaturen erhöhen die Aktivität der Bodenorganismen bei der Zersetzung des biologischen Materials, z.B. des Streus, wodurch Kohlendioxid an die Atmosphäre abgegeben wird. Nach einigen Modellberechnungen wird dieser Effekt sich langfristig stärker auswirken als der CO₂-Düngungseffekt, wodurch netto der Klimawandel verstärkt wird (Abb. 6).¹⁴ Nachdem zunächst im 20. Jahrhundert zunehmend mehr Kohlenstoff im Boden gespeichert als an die Atmosphäre abgegeben wurde, wird

¹⁰Schär C., und E.M. Fischer (2008): Der Einfluss des Klimawandels auf Hitzewellen und das Sommerklima Europas, in: Lozan, J. L. u.a.: Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. Hamburg, 50-55; Fischer E.M., S.I. Seneviratne, P.L. Vidale, D. Lüthi and C. Schär, 2007: Soil moisture – atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *J. Climate*, 20, 5081-5099.

¹¹IPCC (2007): *Climate Change 2007, Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, 12.3.1.

¹²Rowell, D. P., and R. G. Jones (2006), Causes and uncertainty of future summer drying over Europe, *Climate Dynamics*, 27, 281– 299.

¹³Eigene Darstellung nach Rowell, D. P., and R. G. Jones (2006), Causes and uncertainty of future summer drying over Europe, *Climate Dynamics*, 27, 281– 299.

dieser Trend nach dem Jahr 2000 zum Stillstand kommen, so dass in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts der Boden zur Netto-Quelle von Kohlenstoff wird. Allerdings sind diese Ergebnisse nicht unumstritten.¹⁵

auftaut, wird bei der Zersetzung von organischem Material Kohlendioxid gebildet und unter anaeroben Bedingungen, z.B. unter der Wasseroberfläche, Methan (CH₄). Beim nächsten Gefrieren werden beide Kohlenstoffver-

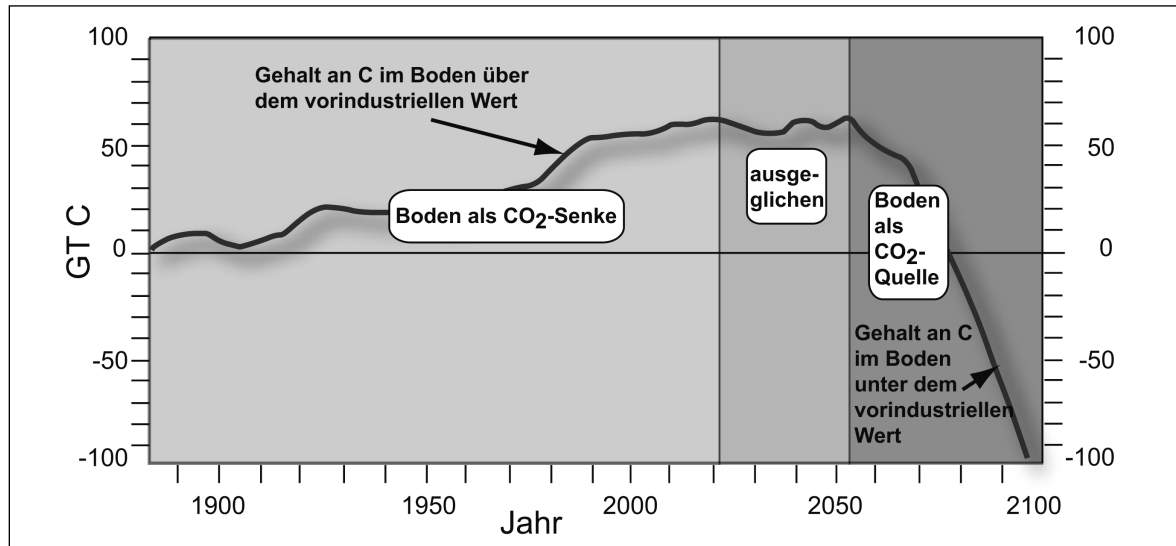


Abb. 6: Änderung des zusätzlichen Gehalts an Bodenkohlenstoff (C) durch den Klimawandel in Gigatonnen Kohlenstoff (GT C)¹⁶

Methan im Permafrost

Ein Sonderfall in diesem Zusammenhang sind die Permafrostböden in den hohen Breiten vor allem der Nordhalbkugel. In Gebieten, in denen die Temperatur über mehrere Jahre unter 0°C liegt, bildet sich dauerhaft gefrorener Boden, der so genannte Permafrost. In den letzten Jahrzehnten ist die Temperatur im Permafrost der Nordhalbkugel um 2-3° C gestiegen.¹⁷ Die Folgen der Erwärmung sind in vielen Gebieten eine Verringerung der räumlichen Ausdehnung der Permafrostgebiete und der Mächtigkeit des dauerhaft gefrorenen Bodens sowie eine Vertiefung des über dem Permafrost liegenden Auftaubodens. Modellprojektionen ergeben eine Verringerung der Permafrostgebiete der Nordhemisphäre bis 2080 um ca. ein Drittel (Abb. 7). Die Ausdehnung der zusammenhängenden Permafrostzone von gegenwärtig 10,5 könnte sich sogar auf etwa 1 Million km² reduzieren. Außerdem wird die saisonale Tiefe des Auftaubodens um bis zu 50% und mehr zunehmen.¹⁸

Wenn Permafrost im Sommer oberflächlich

bindungen im gefrorenen Boden gespeichert. Die gesamte im Permafrost der Nordhalbkugel gespeicherte Menge an Kohlenstoff wird auf etwa 1000 Gigatonnen C geschätzt.²⁰ Schon heute ist der Permafrost eine Netto-Quelle für Methan (d.h. die Emission übertrifft die Speicherung), während er für CO₂ noch eine Senke ist.²¹ Nach regionalen Messungen zwischen 1970 bis 2000 hat die Kohlenstoff-Emission um 22-66 % zugenommen.²² Dieser Prozess wird sich wahrscheinlich im 21. Jahrhundert fortsetzen, wodurch dann auch die globale Erwärmung verstärkt wird.

Nicht alle Veränderungen in heutigen Permafrostgebieten werden allerdings zu einer Verstärkung des Treibhauseffekts führen. Denn auf den aufgetauten Böden werden sich auch neue Pflanzengemeinschaften ansiedeln, die mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen und auch an den Boden weitergeben. Durch diesen Effekt wird die Erwärmung abgeschwächt. Die neue Strauch- und Waldvegetation wird aber regional die Albedo verringern. Dadurch kommt es in der darüber liegenden Atmosphäre zu einer

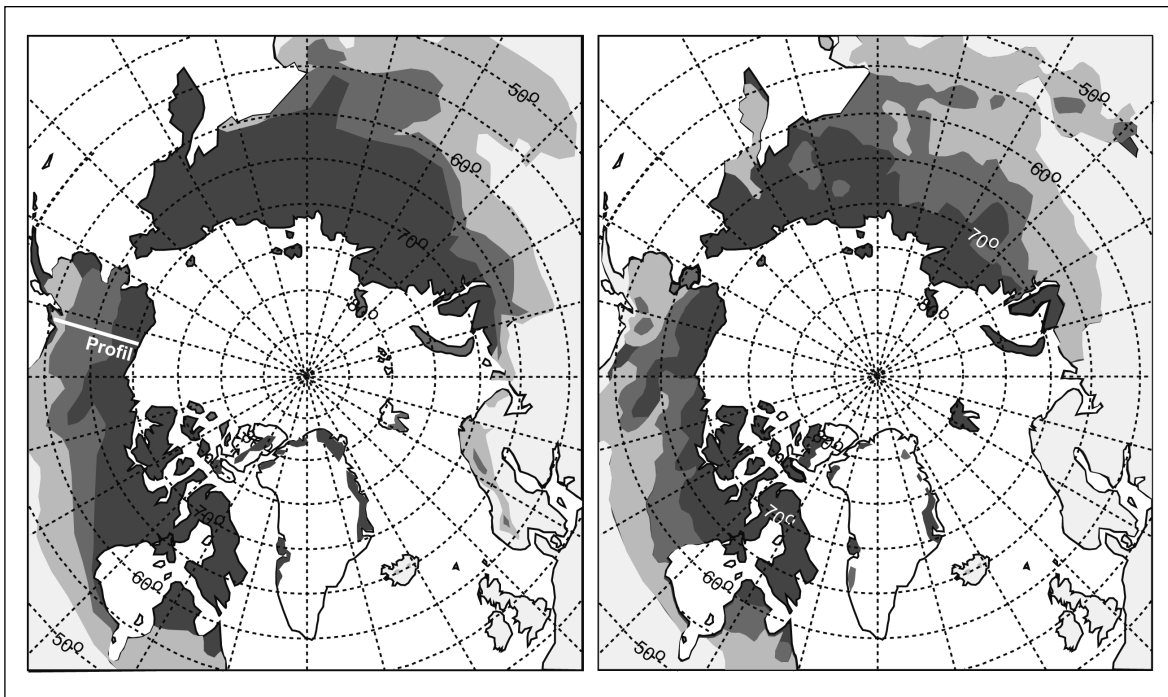


Abb. 7: Verbreitung von Permafrost gegenwärtig (links) und um das Jahr 2050 (rechts)¹⁹

Erwärmung, die nach heutiger Kenntnis die Abkühlungswirkung durch die CO₂-Aufnahme übertreffen wird.²³ Über den Netto-Effekt von zunehmender Emission von Methan aus

Permafrostböden sowie zunehmender CO₂-Aufnahme und Verringerung der Albedo durch Pflanzenwachstum besteht noch keine endgültige Klarheit.

¹⁴David Powlson (2005): Will soil amplify climate change?, Nature 433, 204-205; Jones, C. et al. (2005): Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. Global Change Biology 11, 154-166.

¹⁵Davidson, E. A. & Janssens, I. A. (2006): Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature 440, 165-173.

¹⁶Jones, C. et al. (2005): Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil. Global Change Biology 11, 154-166.

¹⁷ACIA (2005): Arctic Climate Impact Assessment 2005, Chapter 6: Cryosphere and Hydrology (<http://www.acia.uaf.edu/>).

¹⁸Lawrence, D.M., and A.G. Slater (2005): A projection of severe near-surface permafrost degradation during the 21st century, Geophys. Res. Lett., 32.

¹⁹Verändert nach: Nelson, F.E., and L.W. Brigham (2003): Climate Change, Permafrost, and Impacts on Civil Infrastructure (<http://www.arctic.gov/files/PermafrostForWeb.pdf>).

²⁰Zimov, S.A., E.A.G. Schuur, and F.S. Chapin III (2006): Permafrost and the Global Carbon Budget, Science 312, 1612-1613.

²¹Anisimov, O. A. (2007): Potential feedback of thawing permafrost to the global climate system through methane emission, Environ Res Lett, 2(4).

²²Christensen T R, Johansson T R, Akerman H J, Mastepanov M, Malmer N, Friberg T, Crill P and Svensson B H (2004): Thawing sub-arctic permafrost: effects on vegetation and methane emissions Geophys. Res. Lett. 31 (4).

²³IPCC (2007): Climate Change 2007, Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability, 4.4.6.

4.4 Arbeitsblatt 1

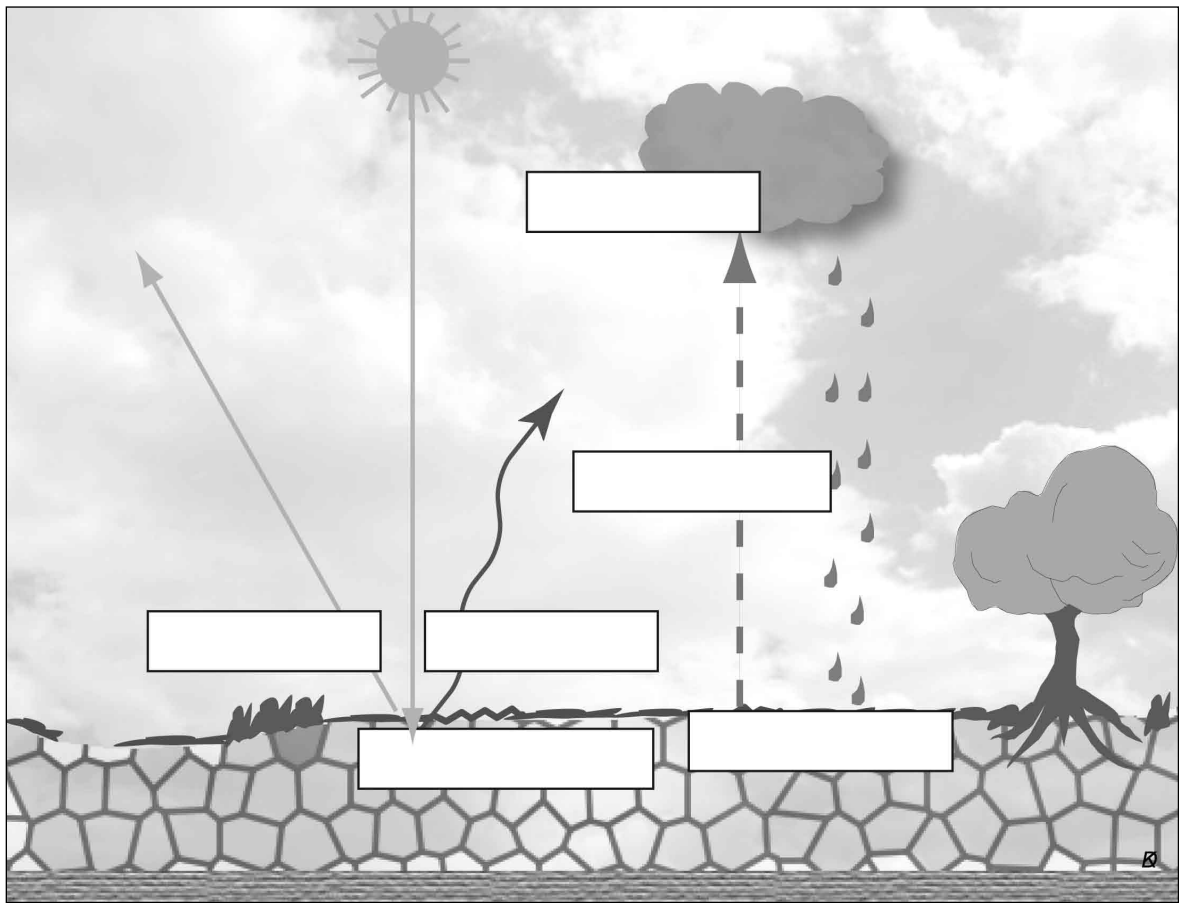


Abb. 1: Austausch von Strahlung und Energie zwischen Boden und Atmosphäre

Aufgabe:

Beschrifte die Abbildung in den vorgegeben Kästchen.

Dadurch sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

1. Erkläre, was mit einem Teil der Sonnenstrahlen beim Auftreffen auf den Boden geschieht.
2. Erkläre, was die Sonnenstrahlen im Boden bewirken?
3. Was gibt der durch Sonnenstrahlung veränderte Boden an die Atmosphäre ab?
4. Was geschieht mit der Feuchtigkeit im oberen Boden Richtung Atmosphäre?
5. Benenne die Energie, die „verborgen“ im Wasserdampf vom feuchten Boden in die Atmosphäre transportiert wird.
6. Durch welchen Vorgang wird die bei Aufgabe 5. gemeinte Energie freigesetzt?

4.5 Arbeitsblatt 2

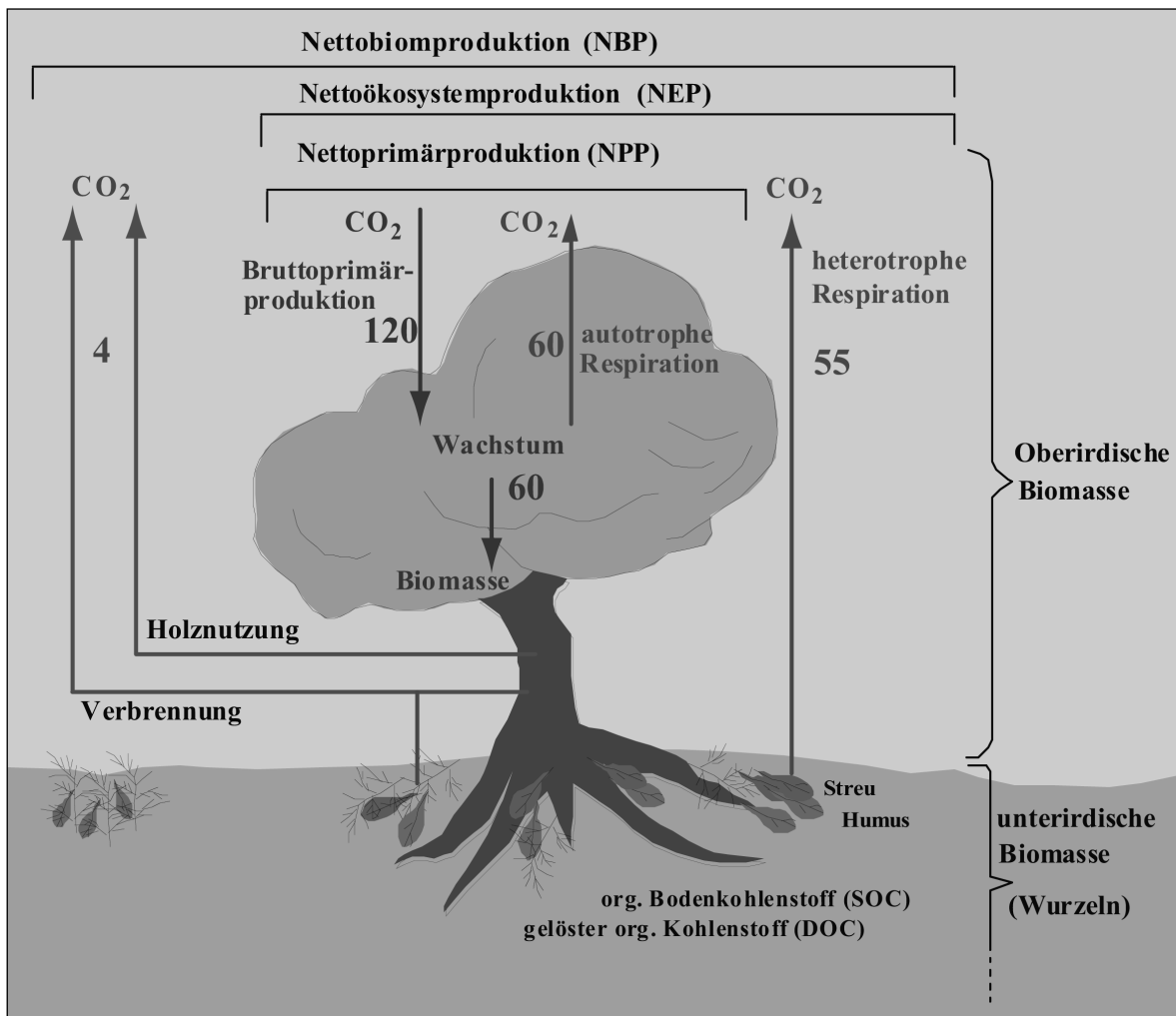


Abb. 1: Die terrestrische Kohlenstoffkreislauf

Aufgaben:

1. Informiere dich über den Kohlenstoffkreislauf auf dem Land (terrestrischer Kohlenstoffkreislauf) auf der folgenden Internetseite: http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Kohlenstoffkreislauf_Land
2. Beschreibe anhand der obigen Abbildung den terrestrischen Kohlenstoffkreislauf unter Verwendung der verwendeten Begriffe.
3. Überlege, welche Auswirkungen die folgenden klimatischen Veränderungen auf den Boden und das Klima haben können:
 - a. Höhere CO₂-Konzentration in der Atmosphäre
 - b. Höhere Temperaturen (keine Hitzewellen) in der Atmosphäre
 - c. Niederschläge im Winter als Regen statt als Schnee und deutlich verringerte Niederschläge im Sommer (in Mitteleuropa)
4. Erkläre anhand der bei Aufgabe 3. erarbeiteten Prozesse die Begriffe positive und negative Rückkopplung.

4.6 Arbeitsblatt 3

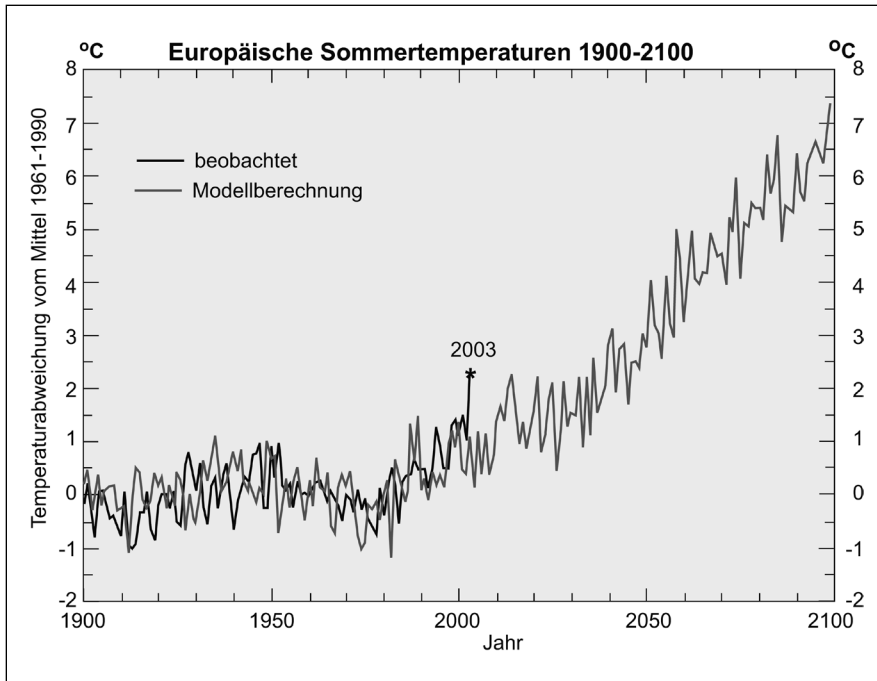


Abb. 1: Sommertemperaturen in Europa:
 • bis 2003 beobachtet
 • bis 2100 nach Modellberechnungen

Aufgabe:

1. Informiere dich über die Hitzewelle 2003 in Europa auf der Internetplattform www.klimawiki.org und formuliere die Kernaussage der Abb. 1
2. Trage in eine Strukturskizze nach der Vorlage Abb. 1 die Folgen einer Hitzewelle auf den Boden und die Rückwirkungen auf klimatische Parameter ein. Unterscheide durch rote und blaue Farbgebung positive und negative Rückkopplungseffekte.

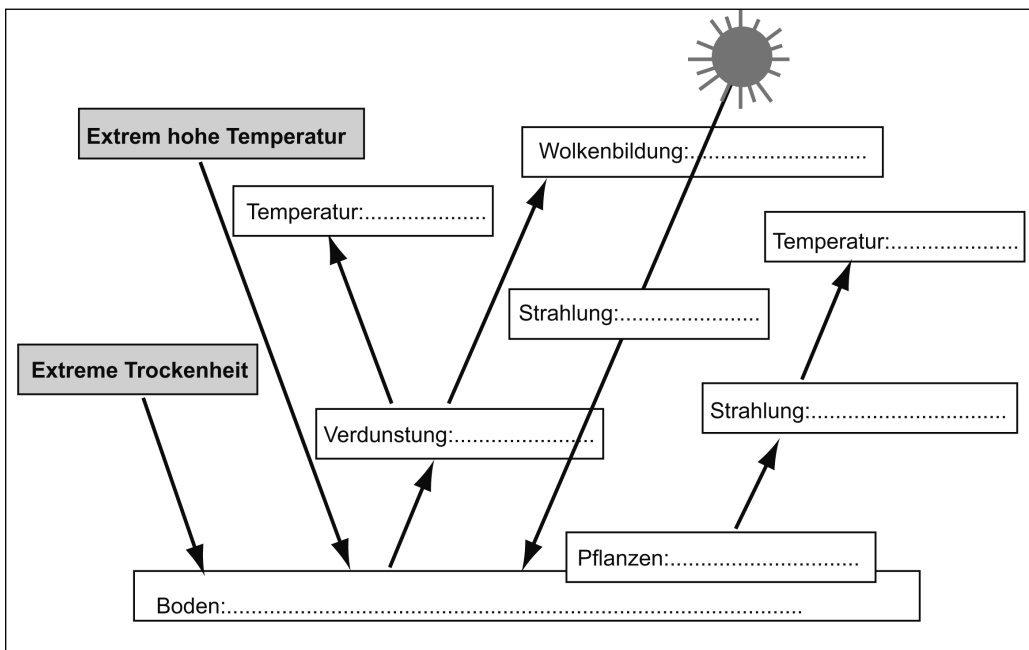


Abb. 2: Vorlage einer Strukturskizze

5. Rollenspiel: Mülldeponie Georgswerder¹ Regina Marek

Die Deponierung von Abfällen war über Jahrzehnte die am weitesten verbreitete Methode der Abfallbeseitigung. Die Deponierung einer Tonne Müll kostete viel weniger als deren Verbrennung. Diese Rechnung war allerdings nur richtig, weil die Folgekosten, z.B. die eventuelle Sanierung, nicht mitberücksichtigt wurden. Deponien belasten die Umwelt durch Staub-, Lärm- und Geruchsentwicklung. Außerdem wird das Grundwasser durch verschmutztes oder verseuchtes Sickerwasser gefährdet.

Die ehemalige Mülldeponie Georgswerder

Bestes Beispiel für die Auswirkungen einer unsachgemäßen und unkontrollierten Ablagerung von Abfall und Sonderabfall bietet die Hamburger Deponie in Georgswerder, in deren Innern sich u.a. das hochgiftige Seveso-Dioxin 2,3,7,8-TCDD befindet. Als das Dioxin 1983 entdeckt wurde, gab es noch keine Erfahrungen mit Altlasten dieser Größenordnung. Die Fragen nach der Gefährdung der Bevölkerung und der Umwelt konnten zunächst nicht schlüssig beantwortet werden.

Nach umfangreichen Untersuchungen und Sanierungsüberlegungen wurde ein mehrstufiges Sanierungskonzept entwickelt. Die Deponie bekam ein mehrschichtiges Abdecksystem, Stauwasser und Sickerflüssigkeiten aus der Deponie wurden und werden immer noch aufgefangen und gereinigt. Gase, die beim Abbau der organischen Substanz in der Deponie entstehen, werden gesammelt und in einem benachbarten Industriebetrieb zur Wärmegegewinnung genutzt.

Zukunftsperspektive

Seit 2008 wird intensiv an der teilweisen Öffnung der bisher unzugänglichen Deponie für interessierte Besucherinnen und Besucher gearbeitet. Es soll außerdem ein Energiepark auf dem Berg entstehen.

Durch die Sanierung der ehemaligen De-

ponie wurde erreicht, dass Gefährdungen für Lebewesen durch Kontakt mit dem giftigen Inhalt der Deponie nicht mehr zu befürchten sind. Die Gefahr für die Umwelt ist gebannt, aus der Welt ist jedoch nicht – die Überwachung wird dauerhaft notwendig sein.

Die vollständige Sicherung hat mehrere hundert Millionen Euro gekostet und verursacht weiterhin Kosten beim Betrieb der Sanierungsanlagen.

Wilhelmsburger Schülerinnen und Schüler haben den Müllberg täglich vor Augen. Im projektorientierten Unterricht über diese Thematik soll erkannt werden, welche Gefahren von einer Mülldeponie ausgehen, wie eine Mülldeponie saniert werden kann, welche Kosten damit verbunden sind und wie man in Zukunft verhindern kann, dass solche Deponien entstehen.

Ablauf des Projektes

Zunächst stand die Wahrnehmung und Erfassung des Ist-Zustandes der Mülldeponie Georgswerder im Mittelpunkt. Hierzu wurden von den Schülerinnen und Schülern Interviews mit Anwohnern der Mülldeponie und ehemaligen Arbeitern auf der Deponie durchgeführt. Es wurden Zeitungsartikel aus der Zeit, als man die Gefährlichkeit der Mülldeponie entdeckte, gesammelt. Eine genauere Betrachtung der Umweltgefahren, die von der Mülldeponie ausgehen, schloss sich an. Dabei wurde besonders der Aspekt der Auswirkung des Seveso-Dioxins auf den Menschen behandelt vgl. Katalyse-Umweltgruppe (Hrsg. 1985). Das Sanierungskonzept lernten die Schülerinnen und Schüler vor Ort bei einer Besichtigung der Mülldeponie kennen.

Von Studierenden wurde ein Rollenspiel zur Mülldeponie Georgswerder entwickelt, selbst erprobt und auch mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Unter dem Begriff Simula-

¹Quelle: Praxisnahe Umwelterziehung (1993). Dr. R. Krämer, überarbeitet 2009.

tionsspiel sollen Spielformen wie Rollenspiel, Planspiel, darstellendes Spiel oder Entscheidungsspiel zusammengefasst werden. Spielen ist Handeln mit dem Hinweis des „als ob“, ist Tätigwerden in einer anderen, simulierten Realität. Man wird Spieler durch freie Anerkennung der Regeln. Spiel macht Spaß. Da es sich nicht um die Ernstsituation handelt, können Verhaltensweisen angstfrei und ohne Furcht vor Folgen kreativ und produktiv ausprobiert werden.

Ziele dieses Rollenspiels

Schülerinnen und Schülern sollen Gelerntes engagiert in der Diskussionsrunde zu vertreten. Im Spiel ist es möglich, aktiv zu handeln. Hiermit kann ein Beitrag zum persönlichen Engagement in der heutigen und zukünftigen außerschulischen Umwelt geleistet werden. Zur Vorbereitung des Rollenspiels wurden verschiedene Rollenkarten entwickelt (vgl. Abb. 1 bis 6), Die Schülerinnen und Schüler konnten sich ihre Rollen selbst aussuchen und passende Namen, z.B. Frau Dr. Liebig-Bunsen Chemikerin, auf Namenskarten schreiben. Vertreten waren eine Chemikerin, eine Ärztin, ein Firmenleiter, Anwohner der Deponie und Vertreter der Umweltbehörde. Dies war eine Mischung von Rollen, um die Problematik der Mülldeponie Georgswerder komplex zu beleuchten. Wenn die Schülerinnen und Schüler keine passenden Rollen fanden, entwickelten sie selbst eine eigene Rollenkarte, z.B. Apothekerin an der Mülldeponie. Wichtig ist es, bei einem Rollenspiel eine Diskussionsleiterin, einen Diskussionsleiter zu finden, die/der das Gespräch in Gang hält und sich zentrale Fragen für die Gesprächsrunde überlegt.

Die Schülerinnen und Schüler hatten eine Stunde Zeit, um sich auf ihre Rolle vorzubereiten. Danach wurde die Gesprächsrunde in Form einer Fernsehdiskussion eröffnet: „Guten Abend meine Damen und Herren, wir übertragen jetzt direkt aus Studio 3 die Diskussion zur skandalumwitterten Mülldeponie Georgswerder“. Trotz erheblicher Anstrengungen des Diskussionsleiters lief das Gespräch zunächst nur zögerlich an, verselbständigte sich

aber nach ca. zehn Minuten zu einer engagierten Auseinandersetzung, indem sich besonders die Vertreterinnen und Vertreter der Industrie verteidigen mussten. Wissensreproduktion wechselte nach Rollen differenziert mit der Entwicklung eigener Ideen ab. Das Gespräch wurde zeitweise auf einen Videofilm aufgenommen, dies ermöglichte eine spätere Reflexion des vertretenen Rollenverhaltens. Gegen Ende der Stunde musste die Debatte beendet werden. Das Fernsehstudio verwandelte sich zurück in einen normalen Schulraum. In den letzten fünf Minuten wurden noch Auswege aus der Dioxinmisere gesucht: „Die Dioxinproduzenten sollten selbst rückstandsfrei entsorgen und den Bau von Hochtemperaturverbrennungsanlagen bezahlen, da sie die Verursacher der Umweltbelastungen sind. Intelligente Chemikerinnen und Chemiker sollen Produktionsprozesse entwickeln, bei denen keine Giftstoffe anfallen“. Zudem waren die Schülerinnen und Schüler der Meinung, dass sie zu Hause und in der Schule verstärkt auf Müllvermeidung und -verminderung achten sollten. Hier müsste sich ein neues Unterrichtsprojekt zum Thema „Abfallvermeidung und -verminderung in der Schule“ anschließen. Nach dem Klingeln endete die Stunde nicht sofort, obwohl es eine 7. Stunde war, die Schülerinnen und Schüler hatten noch ein starkes Reflexionsbedürfnis.

Literaturhinweise

Bort, S. et al. (1989): Hydrologie der Deponie Georgswerder, In: Die Geowissenschaften 7, S. 187-195.

Chemie-Gruppe Bergedorf (Hrsg. 1983): Chemiestadt Hamburg: Angeklagt Boehringer vor dem Internationalen Wassertribunal, Rotterdam.

Domeier, H.-J./Janson, E. (1983): Zum Töten von Fliegen und Menschen. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH. Reinbek bei Hamburg.

Drutjans, P. u.a. (Hrsg. 1979): Müll. Unterricht Biologie. Heft 38.

Fremdling, H. (1992): Sickerwasserbehandlung auf der Deponie Georgswerder. Erfah-

rungen und Weiterentwicklungen. In: Wasser und Boden 44, H. 5, S. 311-313.

Hellweger, S. (1981): Chemieunterricht 5-10. Urban und Schwarzenberg. München.

Katalyse-Umweltgruppe (Hrsg. 1985): Umwelt-Lexikon. Kiepenheuer und Witsch. Köln.

Kilger, R. et al. (1989): Dechlorierung der Georgswerder-Sickeröle. In: VDI-Berichte 745.

Sokollek, V. (1990): Das Überwachungsprogramm für das Oberflächenabdichtungssystem der Deponie Hamburg-Georgswerder. In: Zeitschrift dt. geol. Gesellschaft. 141, S. 369-375, Hannover.

Spill, E./Wingert, E. (Hrsg. 1990): Brennpunkt Müll. Verlag Gruner und Jahr. Hamburg.

Umweltbehörde Hamburg (1988): Die Deponie Georgswerder. Entstehung. Gefahren für die Umwelt. Sanierung.

Umweltbehörde Hamburg (1988): Sanierung der Deponie Georgswerder.

Weidenbach, T./Kerner, I.(Radek, D. (1984): Dioxin – die chemische Zeitbombe. Kiepenheuer und Witsch. Köln.

Zeitschrift Wasser und Boden, 41. Jahrgang, Heft 9, Sept. 1989: Mit fünf Beiträgen zur Deponie Georgswerder von Wolf/Zart/Klenner et al., Rudolph/Lewitz, Dorgarten et al.

Altlastensanierung im Internet:

Umweltbehörde Hamburg (1995): Deponie Georgswerder. Sanierung 1984 - 1995, www.hamburg.de/altlastensanierung.

Sanierung der Deponie Georgswerder 1984 - 1995²

Geschichte

Die Region um die Deponie Georgswerder liegt im Elbeurstromtal, einer typischen Marschenlandschaft, die ursprünglich landwirtschaftlich genutzt wurde. Später wurde die Landwirtschaft durch den Abbau der zur Ziegelherstellung benötigten oberflächennahen Kleischicht zurückgedrängt. Den Grundstein für die spätere Deponie Georgswerder legte Mitte der 30er Jahre die damalige Stadt Harburg-Wilhelmsburg, indem sie eine kleine Hausmüllkippe einrichtete.

Während des 2. Weltkrieges diente das Gelände um die heutige Deponie durch Flakstellungen zur Verteidigung Hamburgs. Etwa 100 Bombenkrater in der Geländeoberfläche sind auf die Luftangriffe aus dieser Zeit zurückzuführen. Mit dem Ende des Krieges wurde der Deponie durch das Ablagern von Trümmerschutt und später von Hausmüll endgültig ihre Aufgabe zugewiesen.

Da die Privatwirtschaft, damals zuständig für die Sonderabfallentsorgung, diese Aufgabe nicht mit genügend Sorgfalt betrieb, schaltete sich die Stadt Hamburg, primär aus Sorge um das Grundwasser, ein. So übernahm 1969 die Stadtreinigung, eine Abteilung der Baubehörde, die Regie für die Ablagerung auf der Deponie.

Die Schließung der Sonderabfalldeponie Muggenburger Straße 1967 hatte zur Folge, dass die Stadt den privaten Firmen (die vorher die Muggenburger Straße genutzt hatten) eine Fläche auf der Deponie Georgswerder für das Ablagern von Sonderabfällen aus Gewerbe und Industrie einräumte, mit dem Ziel, unerwünschte, untergeordnete und unkontrollierte Ablagerungen zu vermeiden.

Für diesen Zweck baute die Stadt im Zeitraum von 1967 – 1974 zehn spezielle Flüssigkeitsbecken. Zunächst waren dies

²Quelle: Umweltbehörde Hamburg (1995): Deponie Georgswerder. Sanierung 1984- 1995, Auszug S. 8 - 10 (vollständig unter: www.hamburg.de/altlastensanierung).

einfache, ungedichtete Erdbecken im Müll zur Ablagerung von Flüssigabfällen. Später wurden die Becken mit einer Folie abgedichtet und durch Schwimmroste abgedeckt. Zusätzlich wurden vier Fasslager eingebaut.

Im Juli 1971 wurde das hamburgische Abfallbeseitigungsgesetz, das erste derartige Gesetz eines Bundeslandes, erlassen. Es bildete eine wichtige Grundlage für das dann ein Jahr später erlassene Abfallbeseitigungsgesetz des Bundes vom Juni 1972. Durch den Erlass des Abfallbeseitigungsgesetz wurde die umweltgefährdende Deponierung von Sonderabfällen im schleswig-holsteinischen und niedersächsischen Umland von den dortigen Behörden zunehmend verboten. Obwohl die angebliche Ablagerung von 149 Parathion-Fässern (Handelsname E 605) auf der Deponie Georgswerder im Jahre 1970 erheblich zum beschleunigten Erlass dieses Gesetzes beigetragen hatte, hielt die Stadtreinigung bis Ende 1974 sowohl aus ökonomischen wie auch aus technischen Gründen (chlor- und schwefelhaltige Produktionsabfälle waren nur in geringen mengen verbrennbar) zunächst an der Sonderabfallbeseitigung auf der Deponie Georgswerder fest.

Allerdings passte die Stadtreinigung den Deponiebetrieb und die Deponietechnik mit wachsendem Umweltbewusstsein wiederholt dem Stand der Technik an. So entwickelte sich die Deponie von einer wilden, ungeordneten Abkipffläche langsam zu einer zentralen Großdeponie, auf der Müll hochverdichtet eingebaut und regelmäßig mit Boden abgedeckt wurde. Verschiedene Maßnahmen sollten helfen, Belästigungen und Beeinträchtigungen der Umgebung zu vermeiden.



Abb.: Die Deponie zur Zeit der Ablagerung

Als Beispiele seien hier genannt:

- die Abdichtung und Abdeckung der Flüssigbecken zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen,
- das Aufstellen von Papierfangzäunen,
- das tägliche Abdecken des Mülls mit Boden, um Vögel fernzuhalten,
- der Bau des Inneren Randgrabens und von Ölabscheidern zur Fassung und Reinigung des Deponiesicherwassers und dessen Einleitung in das öffentliche Sied.

1979 wurden die Ablagerungen eingestellt und damit begonnen, die Deponie zu rekultivieren, um so ein Naherholungsgebiet zu gestalten. Die Rekultivierung hatte das Ziel, eine topographisch reizvolle Landschaft zur Freizeitgestaltung im Süden Hamburgs zu schaffen. Doch als Bäume und Sträucher im oberen Bereich der Deponie nicht wuchsen, verursacht durch Entgasungsprozesse, waren Konsequenzen erforderlich. 1982 wurde eine erste Versuchsanlage mit drei Gassonden in Betrieb genommen. Ab 1983 wurde darauf basierend eine umfassende Entgasungsanlage mit 36 Sonden gebaut.

Die Pläne für ein Naherholungsgebiet scheiterten vollends 1983, als Dioxin in

der öligen Phase des Sickerwassers nachgewiesen wurde. Der Senat beauftragte daraufhin im Dezember 1983 die Baubehörde, ein Konzept vorzulegen, mit dem unter anderem zur Frage einer etwaigen Sanierung Stellung genommen wurde. Im Januar 1984 berief der damals zuständige Senator für Energiepolitik, Ver- und Entsorgung einen „Beauftragten für die Sanierung Georgswerder“. Im Februar 1984 trafen sich in Hamburg Experten unter der fachlichen Leitung des Umweltbundesamtes und der TU Hamburg-Harburg, da die Verwaltung nur wenig Erfahrungen mit Deponiesanierungen, insbesondere von der Größenordnung der Deponie Georgswerder, verfügte. Aufbauend auf den Expertengesprächen entstand ein Untersuchungsprogramm zur Sanierung der Deponie.

Die Ergebnisse der Untersuchungen und der Vorplanungen wurden im Spätsommer 1984 im Entwurf eines Sanierungskonzeptes zusammengefasst und 1985 vom Senat beschlossen.

Beteiligung Betroffener

Die Dioxinfunde auf der Deponie Georgswerder führten ab 1984 zu heftigen Bürgerprotesten in Hamburg, und hier insbesondere im betroffenen Stadtteil Wilhelmsburg. Im Zusammenhang mit der damals noch in Hamburg Pestizide produzierenden Firma Boehringer Ingelheim sowie mit der europaweiten Suche nach den Seveso-Giftfässern stand der Stoff bereits in der öffentlichen Debatte.

Obwohl in Deutschland damals noch keine Erfahrungen im konfliktlösenden oder -minimierenden Umgang zwischen Betroffenen und Verwaltung vorlagen (wie z.B. die Bildung von Beiräten oder Mediations-Verfahren), hat Hamburg eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die im „Sondergutachten Altlasten“ des Rates der Sachverständigen für Umweltfragen (1989/90) als beispielhaft Erwähnung fanden.

Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Sanierung der Deponie Georgswerder:

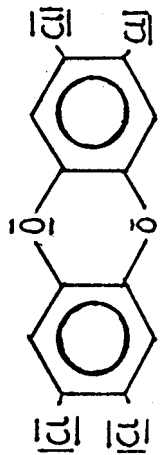
- zwei Tagungen zu Fragen der Deponieüberwachung und -sanierung sowie der Gesundheitsgefährdung, an denen sich die betroffenen und interessierten Bürger beteiligen konnten,
- Veröffentlichung von sechs Berichten über den jeweils aktuellen Stand der Arbeit in hohen Auflagen,
- Offenlegung aller Maßnahmen von der Deponie,
- Einrichtung einer Informations- und Beratungsstelle in einer nahegelegenen Schule mit regelmäßigen Sprechzeiten für die Anwohner,
- zahlreiche themenbezogene Abendveranstaltungen, die Gelegenheit zur Diskussion mit den beteiligten Behörden boten,
- Einrichtung eines Informationspavillon auf dem Gelände der Deponie, der auch zu Vortragsveranstaltungen genutzt wurde,
- Beteiligung von Behördenvertretern an Versammlungen und Gesprächskreisen betroffener Bürger
- Einrichtung eines Sonderausschusses der Bezirksversammlung Harburg, dessen Sitzungen öffentlich waren,
- kontinuierliche Information der Presse,
- kontinuierliche Information der Bürgerschaft.

Die Umweltbehörde kommt im nachhinein zu dem Schluss, dass ohne diese Maßnahmen die Akzeptanz für das Sanierungskonzept vermutlich nicht so weitgehend hätte herbeigeführt werden können, und führt auch das Verständnis der Bevölkerung für Schwierigkeiten und unvermeidliche Verzögerungen darauf zurück.



Chemiker/in

Die Chemikerin ist naturwissenschaftlich orientiert, die im Dioxin eine Chemikalie sieht wie jede andere. Sie erläutert den Namen der Verbindung mit Hilfe der Formel:




2,3,7,8 Tetrachlordibenzodioxin (TCDD)

Die sehr stabile, wasserlösliche Substanz lässt sich bei Temperaturen von 1200° C in Kohlendioxid und Salzsäure zersetzen. Diese Stoffe können industriell weiterverwendet werden. Solange der Grenzwert von 100 ng Dioxin pro kg Körpergewicht eingehalten wird und die Dioxinquellen kontrolliert werden, besteht keine akute Gefährdung der Bevölkerung.

Die Mülldeponie Georgswerder sieht die Chemikerin als gelungenes Objekt der Umweltbehörde, da die Sanierung und Sicherung durch Maßnahmen wie Abdecken, Unterziehen einer Folie zur Sicherung des Grundwassers, Kontrolle der eventuell dioxinhaltenen Sickerwässer, Endlagerung der Abfallbehälter und Kontrolle durch Experten, gewährleistet sind.

Abb. 1: Rollenkarte für einen Chemiker/in (nach H. Diel-Schmitz)



Anwohner

Als wir von den Dioxinfunden erfuhr, haben wir uns sofort an den Protesten vor Ort beteiligt. Wie konnte so etwas geschehen und welche Folgen haben diese Funde für unser weiteres Leben?

Können wir noch Obst und Gemüse aus unseren Gärten essen? Können unsere Kinder ungefährdet auf dem Spielplatz spielen? Woran erkennt man die Verseuchung?

Viele Nachbarn zogen in andere Stadtteile um, da sie ihre Familien vor möglichen Verseuchungen schützen wollten.

Wir aber blieben, auch weil wir schnell am Sanierungskonzept beteiligt wurden und wir so nähere Informationen über Risiken, Maßnahmen und möglichen Folgeerscheinungen erhielten. Noch heute gibt es die Möglichkeit sich bei der Umweltbehörde und im Internet über die Sanierung zu informieren.

Wir fordern, weiter bei Maßnahmen an der Deponie Georgswerder beteiligt zu werden. Unsere Meinungen sollten bei Entscheidungen einbezogen werden, weil wir den Berg täglich vor Augen haben. Wir unterstützen die Öffnung der Deponie für Besucherinnen und Besucher und dem Umbau zum Energiepark. Wir erhoffen uns daraus einen positiven Imagewandel vom Müllberg zum Energieberg und Aussichtsberg.

Abb. 2: Rollenkarte für einen Anwohner der Deponie



Medizinische Erfahrungen mit TCDD konnten vor allem bei Unfällen in der chemischen Industrie (z.B. in Seveso 1976) und nach den Entlaubungsaktionen der USA im Vietnamkrieg gesammelt werden.

500 kg dieses Supergiftes wurden in Vietnam versprüht, um einerseits den Guerillas die Deckung in den Wälder zu nehmen und andererseits den Flüchtlingsstrom in die Städte zu verstärken, um die Bevölkerung so besser überwachen zu können.

2,5 kg TCDD entwichen in Seveso am 10. Juli 1976 in die Umwelt. Vermutlich war ein Fabrikessel überhitzt worden.

4,5 kg dieses hochgiftigen Stoffes liegen nach Berechnungen einer Bürgerinitiative in der Mülldeponie Georgswerder im Volksmund schon Dioxinberg genannt.

Wie wirkt sich Dioxin auf den Menschen aus?

Ärzte und Wissenschaftler sind sich einig: Dioxin wirkt schon in sehr geringen Konzentration, d.h. in Konzentrationen von einem Milliardstel Gram (0,000 000 000 1 g). Es ist krebserzeugend und verursacht genetische Veränderungen. Es kommt zu Chromosomenveränderungen wie Ringchromosomenbildungen und anderen schwerwiegenden Veränderungen. Dies lässt sich an Fotos von Neugeborenen und Fehlgeburten belegen. Sie bestehen oft nur aus einem Unterkörper ohne Kopf und Gliedmaßen oder haben kein Gehirn. Fruchtwasseruntersuchungen sind notwendig, um frühzeitig genetische Schäden der Erbanlagen feststellen zu können.

Aber nicht nur die Erbanlagen der Keimzellen verändern sich, sondern auch die normale Körperzelle degeneriert bei einem Kontakt mit TCDD. Es entstehen Krebsgeschwüre, es kommt zu Nervenkrankheiten und die Immunabwehr wird geschwächt. Krebs tritt gehäuft in der Leber auf, bedingt durch ihre Aufgabe den Körper zu entgiften. Aber auch andere Organe können systematisch im Körper abgebaut werden. Häufig können Infekte, Abgeschlagenheit und Mattigkeit beobachtet werden. Experimente an Affen haben ergeben, dass die äußerlich entstellten Tiere innerlich verbluten. Die Augenlider schwellen an, bis sie nicht mehr sehen können. Sie verlieren ihre Haare. Das TCDD-Gift zersetzt den Körper von Innen.

Chlorakne, ein brennender Hautausschlag, ist das sichtbare Alarmzeichen, dass der Körper mit chlorhaltigen Kohlenwasserstoffen in Kontakt gekommen ist. Entweder wurde die Giftsubstanz eingeatmet oder durch Speisen zu sich genommen. Der Körper scheidet das Gift mit der Akne aus. Im Zyklus von drei bis vier Wochen blüht der juckende Schorfausschlag stärker auf und flaut dann wieder ab. Vor allem waren es die Kinder in Seveso, die beim Spielen draußen, nur wenig bekleidet von der Giftwolke überrascht wurden. Durch Seveso wissen wir, dass vor allem der kindliche Körper stark auf chlorhaltige Gifte reagiert. Eine Heilungsmethode für Chlorakne gibt es nicht.

Abb. 3: Rollenkarte für einen Arzi/eine Ärztin nach M. Tiarks



Wir sind ein führendes Unternehmen in der Insektizidproduktion. Insektizide sind Pflanzenschutzmittel, z.B. Lindan. Sie schützen die Pflanzen vor gefräßigen Insekten und tragen dazu bei, dass Nutzpflanzen nicht abgefressen werden, sondern als Nahrung für den Menschen erhalten bleiben. Besonders für die Bevölkerung in Entwicklungsländern ist dies wichtig, damit sie nicht verhungern.

Leider fällt bei der Produktion von Lindan als unerwünschtes Nebenprodukt Dioxin an. Wir haben dieses Nebenprodukt aber immer entsprechend den vorhandenen Gesetzen auf den Deponien abgelagert. Die Arbeitsbedingungen im Betrieb entsprechen den modernsten Anforderungen: Kantine, Toiletten, Duschen, Waschgel. Sie können gern eine Betriebsbesichtigung bei uns durchführen. Gelegentlich erkranken Arbeiter verstärkt, aber es gibt ja genug Arbeitslose, die dann die Arbeit übernehmen können.

Unverständlicherweise wurde uns schon angedroht, dass unser Werk geschlossen werden soll. Wenn dieser Fall jedoch tatsächlich eintreten sollte, haben wir keine Probleme weiter zu produzieren. In Spanien, in den Pyrenäen, haben wir ein Zweigwerk eröffnet. Die Menschen dort sind froh, endlich eine Arbeit gefunden zu haben.

Abb. 4: Rollenkarte für einen Firmenleiter/in



Vertreter/in der Umweltbehörde



Staatliche Pressestelle


19. April 1990

Wichtiger Abschnitt für die Sanierung der Deponie Georgswerder
Umweltbehörde erteilt Auftrag für völlige Abdeckung der Deponie bis 1994.

Ein weiterer wichtiger Sanierungsabschnitt der Deponie Georgswerder kann beginnen. Hamburger Senat und Bürgerschaft haben jetzt beschlossen, insgesamt 80 Millionen Mark für die völlige Abdeckung der Deponie Georgswerder in den nächsten vier Jahren auszugeben. Eine zwei Meter dicke mehrschichtige Erdabdeckung soll die Deponie weitgehend luft-, wasser- und gasdicht von der Umwelt abkapseln.

Eine Folie und die Deckschicht aus einer Million Kubikmetern sauberer Erde sollen das Eindringen von Regenwasser einerseits und ein Austreten von giftigen Flüssigkeiten andererseits unterbinden. Gleichzeitig verhindert die Abdeckung ein unkontrolliertes Entweichen von Deponiegasen. Eine Ringdrainage am Fuß der neuen Abdeckung nimmt Staufflüssigkeit auf und leitet sie in die chemisch/physikalische Reinigungsanlage.

Seit 1986 sind bereits 16 Hektar im oberen Bereich der Deponie versiegelt. Die neuen Sanierungsmaßnahmen sichern nun auch die restlichen unteren 30 Hektar des Müllberges. Parallel dazu soll ein Pilotversuch die Frage er großtechnischen Entnahme hochgiftiger Flüssigkeiten aus dem Inneren der Deponie klären; dieser beginnt demnächst. Dabei anfallende Öle sollen in einem eigens für Georgswerder entwickelten chemischen Verfahren entgiftet werden.

 **Freie und Hansestadt Hamburg**



Politiker/in



Die Deponie Georgswerder war anfänglich nur als Hausmülldeponie geplant. Die Erweiterung zur Sondermülldeponie wurde notwendig, da die Privatwirtschaft die Entsorgung nicht mit genug Sorgfalt betrieb. Wir mussten handeln, da wir befürchteten, dass bei ungeordneten und unkontrollierten Ablagerungen der Industrie verschmutztes Sickerwasser ins Grundwasser gelangen könnte. Durch die Schließung der Deponie in der Müggenburger Straße wurde der Ausbau der Deponie Georgswerder notwendig. Wir mussten der Industrie eine Alternative bieten. Aufgrund der schlechten Erfahrung mit der ungeordneten Abfallbeseitigung erließ Hamburg 1971 das erste Abfallbeseitigungsgesetz deutschlandweit.

Die Stadt Hamburg übernahm den Großteil der Kosten für die Sanierung (100 Mio. €). Die Überwachung und die Betriebskosten der Deponie Georgswerder kosten der Stadt Hamburg jährlich weitere 600.000 €. Momentan arbeiten wir an einer Öffnung der Deponie für Besucherinnen und Besucher und planen gemeinsam mit der IBA 2013 einen Energiepark auf dem Müllberg.

Abb. 5: Rollenkarte für einen Vertreter/in der Umweltbehörde

Abb. 6: Rollenkarte für einen Politiker/in

6. Literatur, Links und Videos

- Werkstatt Boden ist Leben (2005), Natur- und Umweltschutzakademie NRW, 4,00 €
- Heiken u.a (2005): Boden im Unterricht be-greifen, Schneider Verlag, 18,00 €
(z. Zeit der Veröffentlichung vergriffen)
- Ch. Bergstedt (2006): Naturwissenschaften Boden, Cornelsen, 10,95 €
- Dr. Jürgen Mayer (Nachdruck 2009), Bodenuntersuchungen im Schulgarten,
Behörde für Schule und Berufsbildung
- Mönster u. Faltermayr (2001): Was ist da unten los – Das Leben im Boden und in der Erde,
kbv Luzern, 13,80 €
(z. Zeit der Veröffentlichung vergriffen)
- Regina Marek (Hrsg.) (1993): Praxisnahe Umwelterziehung,
Verlag Dr. R. Krämer, Hamburg
- Deponie Georgswerder. Sanierung 1984 - 1995, Umweltbehörde Hamburg (1995)
- Diverse Materialien zum Bestellen bei der Naturschutz- und Umweltakademie NRW
(siehe www.der-boden-lebt.nrw.de)

- Internet-Suchempfehlung: „Boden im Unterricht“
- www.bodenlehrpfad.de (Bodenlehrpfade in HH-Wohldorf und HH-Harburg)
- www.hypersoil.uni-muenster.de
- www.bodenwelten.de
- www.der-boden-lebt.nrw.de
- www.gidw-os.nibis.de/Bodenweb
- www.saarland.de/dokumente/ressort_umwelt/Baustein2_Boden.pdf
- www.enforchange.de/enforchange/index.php?schulen
- www.stmugv.bayern.de/umwelt/boden/lernort
- www.umweltschulen.de
- www.aid-macht-schule.de
- www.kmk.org
- www.nachhaltigkeitlehren.hamburg.de
- www.hamburg.de/boden
- www.webgeo.de

- Rehse, A. (2003): Die Haut der Erde, AID – Vertrieb, Video, 25,00 €

7. Kontaktadressen

Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung

Angebot: Beratung zum Themenfeld Boden
Felix-Dahn-Straße 3, 20357 Hamburg
Ansprechpartnerin: Regina Marek, Projekt Klimaschutz an Schulen,
Gestaltungsreferentin Umwelterziehung
Tel.: (040) 428 01 2360
Fax: (040) 428 01 2975
E-Mail: Regina.Marek@li-hamburg.de
www.li-hamburg.de

Zentrum für Schulbiologie und Umwelterziehung

Angebot: Ausleihe der Bodenwerkstatt, Schülerpraktika zum Thema Boden
Hemmingstedter Weg 142, 22609 Hamburg
Ansprechpartnerin: Dr. Ines von Appen
Tel.: (040) 82 31 42 0
Fax: (040) 82 31 42 22

Grüne Schule im Botanischen Garten der Universität Hamburg

Angebot: Bereitstellung von Bodenproben gegen Gebühr
Hesten 10, 22609 Hamburg
Ansprechpartner: Walter Krohn
Tel.: (040) 428 16 208
E-Mail: gruene.schule@botanik.uni-hamburg.de

ANU Landesverband Hamburg

Geschäftsstelle im Hamburger Umweltzentrum
Angebot: Ausleihe der Bodenwerkstatt und Durchführung von Schülerpraktika
Karlshöhe 60 d, 22175 Hamburg
Tel.: (040) 637 024 90
Fax: (040) 637 024 20
E-Mail: geschaeftsstelle@anu-hamburg.de
www.anu-hamburg.de

Dr. Ursula Martin

Diplombiologin und Umweltpädagogin
Angebot: Umweltbildungsangebote für Kindertagesstätten, Schulklassen und Erwachsene,
Fortbildungen, Beratung und Durchführung von Projekten
E-Mail: ulla@meyer-martin.com

Dipl. Ing. Regina Dieck

Angebot: Berufsbegleitende Jahreskurse für pädagogische Fachkräfte "naturwissenschaftliche
Frühförderung". Themen können auch einzeln gebucht werden.
E-Mail: naturwissen@email.de
www.natur-schafft-wissen.de

Dipl. Biol. Heike Markus-Michalczyk

Naturerlebnis und Umweltbildung
Angebot: Schülerpraktika und Lehrerfortbildung zum Thema Boden
E-Mail: markus-michalczyk@naturundumwelt.info
www.naturundumwelt.info

8. Anhang: Inhaltsverzeichnis der Bodenkisten

Inhalt Bodenwerkstatt 1

6 Plastikterrarien
 1 Bodensieb
 2 Spritzflaschen 500ml
 2 Plastikflaschen 1000 ml
 10 Gläser mit Twist-Off Deckel
 10 Bechergläser 600 ml
 4 Messzylinder 100 ml
 4 Messzylinder 250 ml
 5 Messbecher 500 ml
 1 Messbecher 2000ml
 2 Sprühflaschen
 10 Blumentöpfe aus Ton
 10 Untersetzer aus Ton
 10 Esslöffel
 10 Teelöffel
 Filterpapier
 NaCl (Kochsalz)
 CaCl₂ (Calciumchlorid)
 blaue Lebensmittelfarbe
 Flüssigdünger
 destilliertes Wasser
 Kressesamen
 1 Bodenfenster (Tuch 1,50 x 2,50)
 1 Schachtel Pins
 1 Maßband
 2 Stechzylinder
 1 Holzbrett
 1 Gummihammer
 1 Bodenthermometer
 1 Filteranlage aus einer 0,5 Ltr. PET-Flasche

 1 DVD „Haut der Erde“
 1 „Werkstatt Boden ist leben“

Inhalt Bodenwerkstatt 2

2 Hellige pH-Meter
 1 Nachfüll-Indikatorlösung für pH-Meter
 1 Mörser + Pistill
 3 Porzellanschalen
 1 Waage
 1 Bunsenbrenner inkl. Kartusche
 1 Dreifuß + Ton-Dreieck + Drahtnetz
 1 Tiegelzange

1 Feuerzeug
 2 Schutzbrillen
 2 Paar Schutzhandschuhe klein
 2 Paar Schutzhandschuhe mittel
 6 Petri-Schalen aus Glas
 30 Petri-Schalen aus Plastik
 6 Tropfflaschen
 6 Tropfpipetten
 6 Saughütchen
 2 Spritzflaschen 500 ml
 2 Plastikflaschen 1000ml
 2 Messzylinder 500 ml
 1 Messbecher 2000 ml
 10 Bechergläser 600 ml
 10 Blumentöpfe aus Ton
 5 Esslöffel
 10 Teelöffel
 10 Glasstäbe
 Filterpapier
 Essig (10%) / Essigessenz
 10%ige Salzsäure
 Methylenblau-Lösung 0,01%
 Eosin-Lösung 0,01%
 Kressesamen
 Traubenzucker
 Lackmuspapier
 Indikatorstäbchen
 1 Bodensieb
 verschiedene kalkhaltige Materialien:
 Muscheln, Kreide, Steine, Schneckenhäuser

 1 DVD „Haut der Erde“
 1 „Werkstatt Boden ist leben“
 1 „Boden im Unterricht be-greifen“
 1 „Naturwissenschaften Boden“

außerdem auszuleihen:

Pürckhauer-Bohrstock + Gummihammer
 Handprobennehmer
 Klappspaten