



# Das GLOBE-Programm<sup>®</sup>

„Bodenkunde“

GLOBE - Lehrerhandbuch





---

Übersetzung des Kapitels „Bodenkunde“ aus dem englischsprachigen Lehrerhandbuch „GLOBE Program® Teachers Guide“ (Ausgabe 2000).

Das DLR besitzt das „copyright“ für die deutsche Übersetzung. Vervielfältigungen durch Fotokopie oder andere Verfahren bedürfen der schriftlichen Zustimmung des DLR (Projektleitung GLOBE Germany). Vervielfältigungen für den schulinternen Gebrauch sind ohne weitere Zustimmung zulässig.



# Bodenkunde

## Inhalt

<b>Willkommen beim Studienprogramm "Bodenkunde"</b>	Willkommen-1
Studienprogramm "Bodenkunde" im Überblick	Willkommen-3
Anschreiben der Wissenschaftler an die Schüler	Willkommen-4
Dr. Elissa Levine und Dr. Jim Washburne stellen sich vor	Willkommen-6
<b>Einführung</b>	Einführung-1
Allgemeine Übersicht	Einführung-1
Übersicht über das Meßprogramm	Einführung-10
Vorbereitung auf die Arbeit im Freien	Einführung-15
Pädagogische Aktivitäten	Einführung-17
Leistungsbeurteilungen	Einführung-18
<b>Protokolle</b>	Protokolle-1
<b>Teil I : Durchführung der Bodencharakterisierung</b>	Protokolle-2
Protokoll: Bodencharakterisierung - Feldarbeit	Protokolle-5
Protokoll: Bodencharakterisierung - Laboranalyse	Protokolle-18
<b>Teil II: Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur</b>	Protokolle-27
Protokoll: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit	Protokolle-32
<i>Wahlweise:</i> Protokoll: Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit mit Gipssensoren	Protokolle-36
Protokoll: Infiltration	Protokolle-41
Protokoll: Bodentemperatur	Protokolle-46
<b>Lernschritte</b>	Lernschritte-1
Es läuft einfach durch! (Anfänger)	Lernschritte-2
Es läuft einfach durch! Datenblatt für Anfänger	Lernschritte-6
Es läuft einfach durch!	Lernschritte-9
Vom Schlammkuchen zum Ziegelstein	Lernschritte-16
Der Boden vor meiner Tür	Lernschritte-19
Boden aus der Feldperspektive - Arbeit mit dem Spaten	Lernschritte-22
Bestimmung des Wassergehaltes	Lernschritte-26
Boden als "Kompostfabrik"	Lernschritte-33
Auswertung der Korngrößenbestimmung	Lernschritte-37
Das Datenspiel	Lernschritte-49
<b>Anhang</b>	Anhang-1
Datenblatt zur Bodencharakterisierung	Anhang-2
Datenblatt Dichte -Probenentnahme aus Grube und Oberflächenentnahme	Anhang-3
Datenblatt Dichte -Probenentnahme mittels Edelmanbohrer	Anhang-5
Datenblatt zur Korngrößenverteilung	Anhang-7
Datenblatt zur Boden-pH-Messung	Anhang-9
Datenblatt zur Bodenfruchtbarkeit	Anhang-10



---

Datenblatt zur Bodenfeuchtmessung -sternförmige Probenentnahme	Anhang-13
Datenblatt zur Bodenfeuchtmessung -Probenentnahme entlang der Transekte (lineare Meßstrecke)	Anhang-14
Datenblatt für die Gipssensoren	Anhang-15
Datenblatt für die Gipssensoren -jährlich Eichung	Anhang-16
Datenblatt Infiltration	Anhang-17
Datenblatt Bodentemperatur	Anhang-18
Informationsblatt zur Bodencharakterisierung	Anhang-20
Texturdreieck 3	Anhang-25
Bodenkundliche Begriffe	Anhang-26
GLOBE Dateneingabemasken	Anhang-29



## Studienprogramm "Bodenkunde" im Überblick



Diese Bestimmungen werden einmal an zwei oder mehreren Meßorten für die Bodencharakterisierung durchgeführt. Die Ober- und Untergrenze eines jeden Horizonts des Profils wird bestimmt.

Struktur, Farbe, Konsistenz, Textur

Dichte, Korngrößenverteilung, pH, Bodenfruchtbarkeit (N,P,K) werden in den Proben eines jeden Horizontes gemessen.

Bodeninfiltration

Gefälle des Geländes (in Grad)

Folgende Bestimmungen werden am Meßort für Bodenfeuchte durchgeführt:

Bodenfeuchte (12 Mal pro Jahr)

Bodentemperatur, wöchentlich

Änderung der Bodentemperatur im Tagesverlauf, einmal pro Jahreszeit

Bodeninfiltration, einmal pro Jahreszeit

### Empfohlener Ablauf

- ☛ Lektüre des Begrüßungstexts *Willkommen beim Studienprogramm "Bodenkunde"*
- ☛ Vervielfältigung und Verteilung des *Anschreibens der Wissenschaftler* sowie des *Interviews* an die Schüler.
- ☛ Lektüre der *Protokolle* zwecks Information über die zu erfassenden Größen und einzusetzenden Meßverfahren
- ☛ Lektüre der *Lernschritte auf einen Blick* zu Beginn des Kapitels *Lernschritte*
- ☛ Durchführung der ersten zwei Lernschritte vor Beginn der Protokollarbeit.
- ☛ Kopieren der Datenblätter (Anhang).
- ☛ Durchführung des Protokolls "Bodencharakterisierung".
- ☛ Durchführung des Protokolls "Bodenfeuchte"
- ☛ Aufrufen der GLOBE-Homepage im Internet (zusammen mit den Schülern) und
- ☛ Durchgehen der Dateneingabemasken für Bodendaten
- ☛ Übermittlung Ihrer Daten an den GLOBE Student Data Server
- ☛ Durchführung der übrigen Lernschritte

### ☛ Wichtiger Hinweis

Zum Ausschachten der Untersuchungsgrube kann evtl. fremde Hilfe benötigt werden.



## Anschreiben der Wissenschaftler an die Schüler

Das vorliegende Kapitel besteht aus zwei zusammenhängenden Teilen. Der von Dr. Elissa Levine geleitete Teil "Bodencharakterisierung" hat die Beschreibung von Bodeneigenschaften zum Inhalt. Dr. Jim Washburne leitet das Projekt "Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur", das sich mit dem Wassergehalt und der Temperatur des Bodens befaßt.

Liebe Schüler!

Mein Name ist Elissa Levine, und ich bin Bodenkundlerin bei der National Aeronautics and Space Administration (NASA). Ich freue mich auf unsere Zusammenarbeit.

Oft werde ich gefragt, ob sich die Erforschung des Bodens eigentlich lohnt. "Das ist doch nur Erde!" Auf diese Frage gehe ich am allerliebsten ein. Wir alle betrachten den Erdboden als eine Selbstverständlichkeit - dabei stellt er eine unserer wichtigsten natürlichen Ressourcen dar. Der Boden leitet Wasser, Energie und Wärme und spielt eine wichtige Rolle für die Gewinnung unserer Nahrungsmittel und Kleidung. Wir gehen, spielen und fahren auf dem Boden und errichten unsere Häuser, Schulen und andere Gebäude darauf.

Schon als Mädchen hat mich die Farbe und Beschaffenheit des Bodens sowie die Vielfalt der darin enthaltenen Gesteine, Wurzeln und Tiere fasziniert. Mit zunehmendem Alter weckten dann Fragen der Ernährung und der sachgemäßen Nutzung unserer natürlichen Ressourcen mein Interesse. So kam ich dazu, Bodenkunde zu studieren.

Was macht eine Bodenkundlerin bei der NASA? Ich arbeite am Goddard Space Flight Center in Maryland. Unsere Raumfahrzeuge sind mit Systemen ausgestattet, die aus der Umlaufbahn Aufnahmen von der Erde herstellen. Meine Aufgabe besteht unter anderem darin, die Informationen zu interpretieren, die diese Bilder über unsere Erdoberfläche liefern.

Zusammen werden wir Eure Bodenproben beschreiben. Wir werden herausfinden, warum sie ihre jeweilige Beschaffenheit aufweisen, und was wir tun können, um diesen Bestandteil unserer Umwelt zu schützen. Dabei werdet Ihr auch gründliche Analysen eigener Bodenproben von Eurem jeweiligen Standort durchführen.



Die von Euch gelieferten Daten werden anschließend von Wissenschaftlern ausgewertet, die daraus Erkenntnisse über die unterschiedlichen Bodenverhältnisse auf der Erde ableiten. Eure Daten helfen uns somit, Satellitenaufnahmen besser zu deuten, ein vertieftes Verständnis globaler Wechselwirkungen zu gewinnen und Prognosen über die zukünftige Entwicklung unserer Böden zu erstellen.

Und nun viel Spaß beim Graben und Forschen!

Dr. Elissa Levine, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland (USA)



Liebe Schüler!

Mein Name ist Dr. Jim Washburne. Ich forsche als Hydrologe an der Universität von Arizona in Tucson (USA). Die Hydrologie befaßt sich mit Wasser - seiner Beschaffenheit und seiner Bewegung durch die Atmosphäre, den Boden und tiefer liegende Gesteine. Als Wissenschaftler bin ich für die Bodenfeuchtemessungen im Rahmen des GLOBE-Programms zuständig.



In meiner Jugend interessierte ich mich für die Entdeckung und Beobachtung der Kontinentalverschiebungen und die Ausbreitung der Meeresböden zwischen Gebirgsrücken in der Tiefsee. Heute übt die Untersuchung der Wasserverhältnisse auf unserer Erde für mich dieselbe Faszination aus. Obwohl täglich neue Entdeckungen gemacht werden, sind noch immer viele Fragen ungelöst. Früher wurde die Erde sozusagen stückweise erforscht - Boden, Wasser, Luft, Pflanzen- und Tierwelt waren jeweils Gegenstand separater Disziplinen.

Inzwischen ist uns klargeworden, das unsere Welt ein sehr komplexes System darstellt, das es in seiner Gesamtheit mit all seinen Wechselbeziehungen zu erkunden gilt.

In meinem Fachgebiet - der Erforschung des Wasserhaushalts in Trockengebieten der Welt - stelle ich Fragen wie z.B.

- Wieviel Wasser bleibt nach einem Regen im Boden zurück - und wie lange?
- Wie wird der Wasserhaushalt durch den Menschen beeinflusst?
- Wie genau sind Satellitendaten? Sind sie zur Bildung hydrologischer Modelle geeignet?

Die Wissenschaft setzt heute komplizierte Meßsysteme und sogar Satelliten ein, um Messungen der Bodenfeuchte über große Entfernungen durchzuführen. Um die wichtigen Informationen zu gewinnen, die wir brauchen, müssen diese Satellitendaten jedoch unbedingt durch direkte, langfristige Beobachtungen vor Ort ergänzt werden. Durch die Arbeit an Eurem jeweiligen GLOBE-Standort liefert Ihr den Wissenschaftlern damit wichtige Grundinformationen.

Der Erfolg dieses Projekts hängt davon ab, daß Ihr genau beobachtet und die richtigen Fragen stellt. Ich freue mich auf unsere Zusammenarbeit und wünsche Euch viel Spaß bei der Untersuchung, Messung und Auswertung.

Mit freundlichen Grüßen  
Dr. Jim Washburne  
University of Arizona



---

## Dr. Elissa Levine und Dr. Jim Washburne stellen sich vor

- Dr. Levine:* Ich bin Bodenkundlerin beim Goddard Space Flight Center der NASA in Greenbelt, Maryland (USA). Schwerpunkt unserer Arbeit sind die Erde sowie erdumkreisende Satelliten. Ich interpretiere Satellitenbilder, die uns Erkenntnisse über unsere Umwelt liefern. Auch die Modellierung von Bodenprozessen gehört zu meinem Arbeitsgebiet. Unsere Bodendaten werden in einen Computer eingegeben und unter Berücksichtigung bestimmter weiterer Faktoren (z.B. Vegetation, Klima) zu mathematischen Beschreibungen verarbeitet, welche die Wasserbewegung im Boden und die Veränderung der Bodenverhältnisse im Zeitverlauf darstellen. Wir versuchen, Prognosen zu erstellen.
- Dr. Washburne:* Ich arbeite als Hydrologe an der Universität von Arizona. Hydrologie ist die Wissenschaft vom Wasser. Ich untersuche die Bewegung von Wasserströmen auf unserem Planeten. Das GLOBE-Programm gehört zu meiner Arbeit am NASA-Erdbeobachtungsprojekt (EOS), das auf die Entwicklung der kommenden Generation von Umweltbeobachtungssatelliten zur Sammlung von Erddaten abzielt. Doch wie gut diese Satelliten auch sein mögen - die Bodenfeuchte ist aus dem Weltraum nur sehr schwer meßbar. Es fehlen zuverlässige Datenbanken mit Meßwerten, anhand derer sich unsere Satellitendaten überprüfen lassen.
- GLOBE: Für viele von uns ist der Begriff "Boden" gleichbedeutend mit Erde und Schmutz. Was macht ihn so wichtig?
- Dr. Levine:* Meine Lieblingsfrage. Der Boden stellt eine unserer wichtigsten natürlichen Ressourcen dar. Jeder Teil unseres Ökosystems wird vom Boden entscheidend beeinflusst. Der Boden filtert und reinigt Wasser. Unsere Nahrung, Kleidung und viele Baumaterialien stammen direkt aus dem Boden und sind somit von seinem Zustand abhängig. Der Boden leitet Wasser und Wärme, speichert Nährstoffe. Ich bezeichne ihn gern als "großen Integrator".
- Dr. Washburne:* Die Bodenfeuchte - d.h. der Wassergehalt des Bodens - stellt ein wichtiges Kriterium dar, wenn wir wissen möchten, welche Feldfrüchte, Gräser, Büsche und Bäume an einem bestimmten Ort gedeihen können. Die Wissenschaft möchte außerdem wissen, welcher Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte, Atmosphäre und Klima besteht.
- GLOBE: Welche Fragen hoffen Sie, mit Hilfe der GLOBE-Daten beantworten zu können?
- Dr. Levine:* Welche Bodenarten gibt es auf der Erde? Welche Eigenschaften haben sie? In welchem Zusammenhang stehen sie zu anderen Elementen des Ökosystems?
- GLOBE: Welche Daten sollen die Schüler im Rahmen des GLOBE-Programms für Sie sammeln?





- Dr. Levine:* Die Schüler untersuchen Bodenproben an ihrem jeweiligen Standort und führen daran verschiedene Analysen durch. Sie sollen ein besseres Verständnis der Bodenbeschaffenheit gewinnen, damit wir klären können, wie sich die Feuchtigkeit im Boden bewegt, welcher Zusammenhang zwischen Boden und Vegetation besteht, wie das Klima beeinflusst wird usw. Ich werde diese Daten dann in meinen Modellen verwenden.
- Dr. Washburne:* Die Schüler lernen, wie sich die Bodenfeuchte weltweit im Rhythmus der Jahreszeiten verändert. Dazu brauchen wir möglichst viele Beobachtungen, um Vergleiche mit den Satellitendaten sowie unseren Computermodellen anstellen zu können. Satelliten können die Bodenfeuchte bestenfalls bis in eine Tiefe von 5 cm messen. Anhand der von den Schülern ermittelten Daten können wir die Satellitenmessungen mit den tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort vergleichen.
- GLOBE: Warum müssen diese Daten von Schülern ermittelt werden? Warum wird dies nicht einfach von Wissenschaftlern durchgeführt?
- Dr. Levine:* Dazu würde die Zahl der Wissenschaftler bei weitem nicht ausreichen. Die Bodenverhältnisse auf der Erde sind sehr unterschiedlich. Die Forschung hat sich vorwiegend auf landwirtschaftliche Gebiete konzentriert. Aber es gibt auch Städte, Waldgebiete, Trockengebiete usw., für die uns bisher keinerlei Daten vorliegen.
- Dr. Washburne:* Wenn Wissenschaftler eine gründliche Untersuchung der Bodenfeuchte an einem bestimmten Ort durchführen, stellt dies eben nur eine Messung an einem Ort zum gegebenen Zeitpunkt dar. Die am GLOBE-Programm beteiligten Schüler liefern dagegen ein umfassendes Netz von Bodenfeuchtemessungen und anderen Beobachtungen, das über alle bisherigen Erkenntnisse hinausgeht.
- GLOBE: Wurden bereits früher Schüler zur Sammlung von Bodendaten eingesetzt?
- Dr. Levine:* Nicht in diesem Maße. Die meisten Untersuchungen wurden von einzelnen Wissenschaftlern durchgeführt. Diese weltumspannende Analyse stellt eine Premiere dar.
- Dr. Washburne:* Ich bin sicher, daß die Schüler dieser Aufgabe gewachsen sind. Die Bodenfeuchte ist leicht meßbar. Man entnimmt eine Bodenprobe und wiegt sie. Anschließend wiegt man sie noch einmal im getrockneten Zustand. Aus der Differenz wird deutlich, wieviel Wasser sich zuvor im Boden befand.
- GLOBE: Sie arbeiten beide für die NASA. Nach landläufiger Meinung befaßt sich die NASA mit der Erforschung des Weltraums. Welche Rolle spielt sie bei der Erforschung unserer Erde?
- Dr. Levine:* Für die NASA ist die Erde ein Planet, und somit - wie andere Planeten - Gegenstand ihres wissenschaftlichen Interesses. Die Erforschung der Erde ist sogar eines der wichtigsten NASA-Projekte überhaupt. Nur durch Beobachtung aus dem Weltraum läßt sich die Vielzahl unserer Ökosysteme in



ihren Wechselbeziehungen adäquat untersuchen.

GLOBE: Erzählen Sie uns etwas über sich. Wo sind sie aufgewachsen und zur Schule gegangen?

*Dr. Levine:* Auf Long Island, in einem Vorort von New York City. Zusammen mit meinen Eltern besuchte ich die Naturschutzgebiete, Höhlen und versteinerten Wälder im Norden des Staates New York. Daraus erwuchs bei mir ein starkes Interesse an der Natur. Als Kind hatte ich immer den Traum, in einer Höhle oder unter einem Wasserfall zu leben. So fing es an. In der Schule gehörten Mathematik und Naturwissenschaften zu meinen Lieblingsfächern. Anfang der siebziger Jahre studierte ich am College einige Semester Psychologie, verspürte aber stets den starken idealistischen Wunsch, etwas für den Umweltschutz und gegen den Hunger auf der Welt zu tun. Schließlich ging ich an eine landwirtschaftliche Hochschule, wo ich mich für Bodenkunde zu interessieren begann. In den Sommerferien befaßte ich mich mit Kartographie und praktischem Naturschutz. Nach meinem Diplom folgten Magister- und Promotionsstudium. Dabei setzte ich mich erstmals vertieft mit Bodenprofilen in verschiedenen Teilen der USA und der Welt auseinander. Es erschien mir faszinierend, wie jeder Boden eigene Merkmale entwickelt, die für seine optimale Nutzung bestimmend sind. In dem Maße, in dem ich immer mehr über die Eigenschaften und Entstehung von Böden herausfand, begann ich, diese Daten in mathematische Modelle zu fassen.

GLOBE: Es gibt noch immer zu wenig Frauen in der Naturwissenschaft.

*Dr. Levine:* Ich bin dankbar, daß Sie darauf hinweisen. Auf dem Gymnasium habe ich mich stets für Naturwissenschaften interessiert, entwickelte jedoch nie ein echtes Vertrauen in meine Fähigkeiten.

GLOBE: Weil Sie eine Frau waren?

*Dr. Levine:* Ich glaube, dies war tatsächlich der Grund. Die meisten Menschen in meiner Umgebung sind Männer. Ich habe die Erfahrung gemacht, daß sich die Denkweisen von Männern und Frauen grundsätzlich unterscheiden. Während ich die Welt in ihren großen Zusammenhängen sehe, liegt die Stärke vieler Männer in meiner Umgebung eher darin, sich auf Schwerpunkte zu konzentrieren. Insofern ergänzen wir einander. Wir brauchen jedoch noch mehr Frauen in der Naturwissenschaft, da noch immer ein Ungleichgewicht herrscht. Es kommt darauf an, die verschiedenen Ansätze zusammenzuführen.

GLOBE: Hat man Sie als Frau diskriminiert?

*Dr. Levine:* Im Gymnasium erhielt ich Einsen und Zweien in Naturwissenschaft und Mathematik, aber nicht viel Orientierung aus meiner Umgebung. Zudem mangelte es an konkreten Vorbildern. Ich wollte einen anspruchsvollen Beruf, aber auch eine Familie. Inzwischen habe ich festgestellt, daß man seiner Intuition folgen muß, um ans Ziel zu kommen. Heute bin ich Wissenschaftlerin und habe zwei bezaubernde Kinder. Wissenschaftler, die



selbst Familie haben, bereichern die Forschung um eine positive Dimension. Eine Familie schafft Lebenszweck. Ich engagiere mich für die Welt, weil ich mir für meine Kinder ein glückliches und gesundes Leben wünsche. Familie und Karriere sind durchaus vereinbar.

GLOBE: Gibt es heute schon mehr Frauen in Ihrem Fachgebiet?

*Dr. Levine:* Ja, und es werden ständig mehr. Wir haben unsere eigene Organisation, die "American Women in Soil Science" heißt. Auch auf den internationalen Kongressen für Bodenkunde treffen sich die Frauen. Uns verbinden gemeinsame Erfahrungen.

GLOBE: Und wo sind Sie aufgewachsen, Dr. Washburne?

*Dr. Washburne:* In Denver im US-Bundesstaat Colorado, in dem ich meine gesamte Schulzeit verbrachte. In meiner Jugend habe ich viel Zeit mit Bergwanderungen in den heimischen Rocky Mountains verbracht und auf mancher Ranch gearbeitet. Wie viele Staaten im Westen der USA ist auch Colorado im Sommer sehr trocken, so daß Felder und Rasenflächen bewässert werden müssen. Wasser hat deshalb in meinem Leben recht früh eine Rolle gespielt. Im College hatte ich mich eigentlich für das Hauptfach Physik entschieden, aber da ich in den Rocky Mountains aufgewachsen war, wo die Gesteinsmassen als Zeugnis der Naturgewalt allgegenwärtig zutage liegen, kam als zweites Hauptfach schließlich Geologie hinzu. Nach dem College studierte ich Geophysik an der Colorado School of Mines in Golden, Colorado. Dort lernte ich, unterirdische Bodenschichten mittels elektrischer Fernmeßverfahren auf Mineral- und Ölvorkommen zu untersuchen. Nach einigen erfolgreichen Jahren in dieser Branche ging die Nachfrage nach der Erforschung neuer Lagerstätten zurück. Als ich arbeitslos wurde, beschloß ich, an die Universität zurückzukehren und in Hydrologie zu promovieren - einem hochinteressanten, stark interdisziplinär ausgerichteten Fachgebiet.

GLOBE: Wann begannen Sie, sich für Naturwissenschaften zu interessieren, und was gab den Ausschlag dafür?

*Dr. Washburne:* Die Methodologie der Naturwissenschaften, das gründliche Erforschen konkreter Fragen, liegt mir sehr. Ich habe mich stets gerne mit Naturwissenschaft - den Zusammenhängen in der Welt, die mich umgibt - befaßt. Mit welcher Einfachheit und Kraft die Wissenschaft unser Universum erklären kann, wurde mir jedoch erst im Physikunterricht klar. Naturwissenschaft setzt immer auch ein starkes Engagement voraus. Besonders gefällt mir an ihr, daß sie die Natur erklären hilft und eine Herausforderung darstellt - wie ein Rätsel, das es zu lösen gilt.

GLOBE: Welche Frage aus Ihrem Fachgebiet möchten Sie am dringendsten beantwortet sehen?

*Dr. Levine:* Böden unterscheiden sich in ihrer Schichtung, Farbe, Form und Textur. Sie variieren hinsichtlich ihrer Zusammensetzung sowie der in ihnen lebenden Organismen. Wie ergänzen sich alle diese Elemente innerhalb dieses



komplexen Systems?

*Dr. Washburne:* Wie wird der Mensch während der nächsten 100 Jahre das Klima beeinflussen? Eine Erwärmung unseres Klimas könnte zu einer Aktivierung des hydrologischen Kreislaufs führen. Aber es gibt einfach noch zu viele Fragen, die wir nicht beantworten können.

GLOBE: Wo sehen Sie den Lohn der wissenschaftlichen Tätigkeit?

*Dr. Washburne:* Nach meiner Meinung stellen alle Geowissenschaften und besonders die Hydrologie ein sehr lohnendes und für die Gesellschaft wertvolles Arbeitsgebiet dar. Vielen Wissenschaftlern kommt es bei ihrer Arbeit nicht so sehr auf weltbewegende Erkenntnisse, sondern auf die alltäglichen Entdeckungen und Ergebnisse sowie auf die Erfüllung an, die sich aus der Suche und dem geteilten Wissen ergibt.

Außerdem reizt mich die Tatsache, daß meine Arbeit wichtige soziale und politische Konsequenzen hat. Die Befriedigung, die sich aus dem klaren Verständnis bestimmter Zusammenhänge ergibt, wird noch dadurch verstärkt, daß diese Zusammenhänge von weitreichender Relevanz sind. So sind z.B. meine Untersuchungen der Bodenfeuchte nur ein Teil unserer weitaus umfassenderen Bemühungen, um eine Verbesserung des Klimamodells, das die Wissenschaft einsetzt, um den Einfluß des Menschen auf das Weltklima zu verstehen - ein Thema von enormer sozialer und wirtschaftlicher Tragweite.

Aber auch die alltägliche Bestätigung ist wichtig - also z.B. zu wissen, weshalb die alte unbefestigte Landstraße so rutschig wird, wenn sich der Lehm mit Regenwasser vermischt, oder woher die Farben des Regenbogens kommen. Naturwissenschaft ist ein Prozeß, in dessen Verlauf es viele aufregende Dinge zu entdecken bzw. wieder zu entdecken gibt - sinnvolle Erkenntnisse, die unser persönliches Wissen erweitern. Dabei sollte man auch die kleinen Erkenntnisse würdigen können. Sie halten das Universum ebenso zusammen und geben dem Leben ebenso seine Würze wie die großartigen alten Theorien.

GLOBE: Naturwissenschaftler sind offenbar von Grund auf neugierige Menschen. Identifizieren Sie sich mit dieser Feststellung?

*Dr. Washburne:* Auf jeden Fall. Für den Wissenschaftler kommt es darauf an, Fragen zu stellen. Insofern unterscheiden sie sich nicht von anderen Menschen. Ich glaube, daß es jeder von uns mit genügend Fleiß und Engagement zum Wissenschaftler bringen kann. In der Schule werden wir mit Fakten überschwemmt. Man muß sich bemühen, die Grundlagen dieser Fakten zu begreifen und dieses Wissen auf die Fragen anzuwenden, die einen selbst interessieren.

Trotz all unseren Wissens gibt es noch immer sehr viel über die Welt und das Zusammenwirken ihrer Elemente zu erforschen. Ich glaube, daß sich die GLOBE-Schüler glücklich schätzen können, denn die Ergebnisse der NASA-Erdbeobachtung werden ihnen in ihrer beruflichen Laufbahn zugute kommen. Die Vorstellung, daß es in der Welt, die uns umgibt, noch soviel zu lernen und zu verstehen gibt, ist faszinierend.



- Dr. Levine:* Ich bin gewiß ein neugieriger Mensch. Vielleicht ist es diese Neugier, die uns Wissenschaftler immer wieder feststellen läßt: "Je mehr man lernt, desto klarer wird einem, wie wenig man weiß." Insbesondere bin ich neugierig zu erfahren, welche neuen Bodenergebnisse wir aus den GLOBE-Schülerdaten gewinnen können.
- GLOBE: Arbeiten Sie mit Kollegen im Ausland zusammen?
- Dr. Levine:* Ja. unlängst war ich auf einer Konferenz in China, wo man sich mit ähnlichen Aspekten der Bodenkunde befaßt wie wir hier in den USA. Ich habe schon mit Teams in Australien, Europa, Rußland und den afrikanischen Wüsten gearbeitet.
- Dr. Washburne:* Ich kenne Kollegen in Europa und Lateinamerika und habe schon einige recht entlegene Winkel der Erde bereist. In aller Welt suche ich Mitarbeiter, die zur Betreuung von Schülern und ihrer Ergebnisse im Rahmen des GLOBE-Programms bereit sind.
- GLOBE: Hatten Sie in Ihrer Jugend Vorbilder?
- Dr. Washburne:* Ich wünschte mir immer, ich hätte in der Zeit der großen Expeditionen von Lewis und Clark gelebt oder Captain Cook auf seiner Weltumsegelung begleiten können. Selbst die einfachen Waldläufer waren für mich Helden. Wie aufregend, unbekannte Gebiete zu erforschen, wo jeder Schritt schon eine Entdeckung darstellt!
- GLOBE: Wie sieht Ihr Alltag aus? Arbeiten Sie in Labors?
- Dr. Levine:* Natürlich interessiert mich die Feldforschung. Die meiste Zeit verbringe ich jedoch am Computer - mit Forschung, Modellbildung, dem Verfassen und der Lektüre wissenschaftlicher Artikel sowie der Beantwortung von E-Mail. Wenn ich mich vor Ort mit Bodenuntersuchungen befaße, so geschieht das zumeist im Team mit anderen Wissenschaftlern. Wir beschreiben und überwachen 1 - 2 Wochen lang einen bestimmten Standort unter Boden-, Vegetations- und Klimaaspekten. Die Proben, die wir mitbringen, werden anschließend zur Analyse eingeschickt. Ich benötige die Daten aus der Feldforschung zur Überprüfung und Erstellung meiner Forschungsmodelle.
- Dr. Washburne:* In einer durchschnittlichen Woche nehmen Schreiben und Lesen 40% bzw. 10% meiner Zeit in Anspruch. Insgesamt 30% bringe ich vor dem Computer zu - mit E-Mail, Analyse und Programmieren. Ich würde gern mehr wissenschaftliche Arbeiten anderer Autoren lesen. Dies ist für einen Wissenschaftler sehr wichtig. Zumeist habe ich jedoch gerade genug Zeit, um die Zusammenfassungen zu überfliegen. Etwa 10% meiner Zeit verbringe ich in Konferenzen und Gesprächen mit anderen Wissenschaftlern oder mit der Erarbeitung von Strategien zur Lösung der verschiedensten Probleme.



Wenn in einer Woche einmal nur 10% meiner Zeit nicht verplant ist, ist das schon ein außergewöhnlich gutes Ergebnis. Mir gefällt an meiner Arbeit, daß jeder Tag anders abläuft.

GLOBE: Sie sagten, daß diese Art von Untersuchung nie zuvor mit Schülern durchgeführt wurde. Ist das GLOBE-Programm demnach einzigartig?

*Dr. Levine:* Auf jeden Fall. Es wird unser Verständnis des Bodens erheblich erweitern. Bodenkunde für die Unterstufe ist eine großartige Idee. Die Zahl der Menschen, die sich der Bedeutung des Bodens bewußt sind, läßt sich dadurch erheblich vergrößern. Ich bin froh, daß Bodenkunde in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurde. Man kann nicht früh genug damit beginnen.

GLOBE: Was soll das GLOBE-Programm den Schülern nach Ihrer Meinung vermitteln?

*Dr. Washburne:* Ich hoffe sie lernen ihre Umwelt genauer wahrzunehmen und werden sich der Bedeutung ihrer wissenschaftlichen Mitarbeit bewußt - besonders wenn es darum geht herauszufinden, wie Mensch und Natur harmonischer zusammenleben können.

GLOBE: Was kann einen jungen Menschen heute motivieren, sich mit Bodenkunde zu befassen?

*Dr. Levine:* Der Boden spielt für unser Überleben eine elementare Rolle. Wir brauchen deshalb junge Wissenschaftler, die sich der Funktion des Bodens im Rahmen des übrigen Ökosystems bewußt sind, damit wir unseren Lebensstandard erhalten können, ohne unserer Erde Schaden zuzufügen.

GLOBE: Warum sollte sich ein junger Mensch heute mit Hydrologie befassen?

*Dr. Washburne:* Hydrologie ist ein faszinierendes Fachgebiet, das viele Spezialisierungsrichtungen umfaßt. Eine davon besteht in der Erforschung und Sanierung unseres Grundwassers. Hier ist noch viel zu tun. Auch die globale Hydrologie, in der ich selbst tätig bin, stellt ein wichtiges Gebiet dar. Der Start einer neuen Generation von Erdbeobachtungssatelliten durch die NASA wird sicherlich viele Fragen aufwerfen, deren Beantwortung die Schüler von heute noch jahrelang beschäftigen wird.



GLOBE: Welchen Rat würden Sie jungen Menschen - insbesondere jungen Frauen - geben, die sich heute mit Geowissenschaften befassen möchten?

*Dr. Levine:* Ich würde ihnen zuerst raten, ins Freie zu gehen und die Natur in ihrer Umgebung zu beobachten. Sie sollen sich die Blumen und den Boden ansehen, die Erde unter den Füßen spüren, ein Loch graben und sehen, was darin zum Vorschein kommt. Wenn man einmal ein Gefühl für das Ökosystem entwickelt hat, ergeben die übrigen Fächer wie z.B. Mathematik und Naturwissenschaften, aber auch Geschichte und Sprachen plötzlich völlig neuen Sinn. Der oberste Grundsatz lautet also, ins Freie hinauszugehen.

Den jungen Frauen möchte ich sagen, daß wir sie brauchen. Nehmt Euren Platz neben den Männern ein. Wir haben eine wichtige Funktion zu erfüllen. Männer und Frauen müssen einen ganzheitlicheren, verantwortungsbewußteren Ansatz entwickeln. Und Frauen können überall Erfolg haben, wenn sie nur wollen.

*Dr. Washburne:* Man darf sich nicht auf ein allzu enges Gebiet festlegen. Ich fordere meine Studenten stets auf, sich ein möglichst umfassendes Wissen anzueignen. In der globalen Hydrologie muß man etwas von Böden verstehen, aber auch von Fernmeßtechnik und Meteorologie sowie von den Wechselwirkungen zwischen Bäumen, Pflanzen und Wasser. Es ist ein sehr interdisziplinäres Gebiet. Computer sind wichtig, und Mathematik bildet die Basis für einen Großteil unserer Arbeit. Geht Euren Interessen nach und glaubt nicht, daß alle wichtigen Fragen schon beantwortet sind oder unmittelbar vor der Lösung stehen. Scheut Euch nicht, selbst Fragen zu stellen, denn das ist im Grunde unsere Hauptaufgabe - Fragen zu formulieren und dann nach Antworten zu suchen.



## Willkommen zum Studienprogramm *Bodenkunde*

### Allgemeine Übersicht

Die Festlandsflächen der Erde sind zumeist mit einer dünnen Bodenschicht bedeckt, die als *Pedosphäre* bezeichnet wird. Diese dünne Bodenschicht stellt eine wertvolle natürliche Ressource dar. Ihre Bedeutung für die übrigen Teile des Ökosystems ist so groß, daß man den Boden gelegentlich auch als den "großen Integrator" bezeichnet. Der Boden speichert Nährstoffe und Wasser für Pflanzen und Tiere. Er filtert und reinigt das durchlaufende Wasser, verändert dessen chemische Zusammensetzung und bestimmt die Wassermenge, die in die Atmosphäre abgegeben wird und dort Regen bilden kann. Unsere Nahrung sowie die meisten Papier-, Bau- und Kleidungsstoffe lassen sich nur durch intensive Nutzung des Bodens gewinnen. Wenn Häuser, Straßen, Gebäude oder auch Spielplätze gebaut werden, ist es wichtig Informationen über den Untergrund, den Boden, zu haben. In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie Boden charakterisiert, Bodenfeuchtigkeit, Infiltration und Bodentemperatur bestimmt werden.

Einer der wichtigsten Kennwerte jedes Bodens ist sein Wassergehalt. Wasser - in dampfförmigem oder flüssigem Zustand - stellt etwa ein Viertel des Volumens jedes natürlich aktiven Bodens dar. Wenn der Boden austrocknet und nicht mit Vegetation bedeckt ist, wird er durch Wind abgetragen. Ist andererseits der Boden zu feucht, weicht der Boden durch und kann nur wenige Pflanzen halten, oder bietet einen schlechten Untergrund für Fundamente und Gebäude. Die Geschwindigkeit mit der Wasser im Boden versickert bestimmt, wieviel Wasser bei einem Regenfall abläuft. Trockener, poröser Boden kann große Mengen an Wasser binden und schützt uns vor Überschwemmungen. Boden, der nahezu mit Wasser gesättigt ist oder nur langsam Wasser aufnimmt, erhöht die Wahrscheinlichkeit für Überschwemmungen.

Ein ausreichender Wasseranteil im Boden ist direkte oder indirekte Voraussetzung jeden Lebens auf der Erde. Die Bodenfeuchtigkeit in Verbindung mit anderen Eigenschaften des Landes und des Klimas bestimmen, welche Art von Vegetation wachsen kann. Boden verhält sich wie ein Schwamm. Er hält das Wasser fest, so daß es von den Wurzeln der Pflanzen aufgenommen werden kann. Einige Bodenarten bewerkstelligen dies effektiver als andere. Zum Beispiel hält der Sandboden in der Wüste das Wasser nur sehr schlecht. Kakteen speichern ihr Wasser selbst, während andere Bäume ihre Wurzeln tief, oft zehn, zwanzig Meter oder tiefer in den Boden graben.

Ähnlich der Bodenfeuchtigkeit, beeinflußt auch die Bodentemperatur alle lebenden Organismen. Sie verändert sich viel langsamer als die Lufttemperatur. In vielen gemäßigten Zonen gefriert der Boden im Winter, jedoch friert der Boden ab einer bestimmten Tiefe niemals. Dort ist die Temperatur das ganze Jahr über fast konstant. In kalten Klimazonen findet man eine ständige Eisschicht, Permafrost, unter der Oberfläche. Der Boden isoliert die tieferen Bodenschichten und schützt, was immer dort lebt, vor den extremen Temperaturschwankungen.

Sowohl die Temperatur, als auch die Feuchtigkeit des Bodens an der Oberfläche beeinflussen die Atmosphäre, da ein Austausch von Wärme und Wasserdampf zwischen der Landoberfläche und der Luft stattfindet. Dies geschieht in geringerem Umfang, als es bei Ozeanen, Meeren oder großen Seen der Fall ist, kann sich jedoch merklich auf das Wetter auswirken. Man hat herausgefunden, daß Hurricans an Stärke zunehmen, wenn sie über Boden ziehen, der bereits mit Wasser gesättigt ist. Meteorologen haben herausgefunden, daß sie ihre Wettervorhersage





verbessern können, wenn sie Bodenfaktoren in ihre Berechnungen mit aufnehmen. Wie die Temperatur und Feuchtigkeit der Bodenoberfläche auf Änderungen in der Atmosphäre reagiert, hängt von den Eigenschaften des Oberbodens und der darunter liegenden Schichten ab. Im GLOBE-Programm beinhalten die Messungen viele physikalische und chemische Eigenschaften des Bodens, die uns weitere Erkenntnisse bringen können, welche Rolle der Boden für das Klima spielt.

Abb. SOIL-I-1

<b>Bodeneigenschaften, die sich im Zeitverlauf ändern</b>		
<i>Eigenschaften, die sich im Verlauf von Minuten, Stunden oder Tagen ändern</i>	<i>Eigenschaften, die sich im Verlauf von Monaten oder Jahren ändern</i>	<i>Eigenschaften, die sich über Jahrhunderte oder Jahrtausende ändern</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Temperatur</li><li>- Feuchtigkeit</li><li>- Zusammensetzung der Luft in den Bodenporen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Boden-pH-Wert</li><li>- Bodenfarbe</li><li>- Bodenstruktur</li><li>- Anteil des organischen Materials</li><li>- Mikroorganismen</li><li>- Dichte</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Arten von Mineralien</li><li>- Korngrößenverteilung</li><li>- Ausbildung der Horizonte</li></ul>

Böden bestehen aus drei Hauptbestandteilen: Mineralpartikeln unterschiedlicher Größe, organischen Stoffen aus pflanzlichen und tierischen Überresten, sowie Zwischenräumen, die sich mit Wasser und Luft füllen können. Ein guter Boden, auf dem die meisten Pflanzen gedeihen, sollte etwa 45% Mineralien (in Form eines Gemischs aus Sand, Schluff und Ton), 5% organische Bestandteile, 25% Luft und 25% Wasser enthalten.

Böden stellen ein dynamisches System dar, d.h. ihre Eigenschaften sind im Zeitverlauf veränderlich. Einige Merkmale wie z.B. Temperatur und Wassergehalt (ein Maß für die Bodenfeuchte) verändern sich sehr schnell, d.h. innerhalb von Stunden oder Minuten. Andere Veränderungen - wie z.B. mineralische Umwandlungsprozesse - vollziehen sich sehr langsam über Jahrhunderte oder Jahrtausende.

Die Entstehung von Böden (wissenschaftlich als Pedogenese bezeichnet) und die Entwicklung ihrer Eigenschaften ist das Ergebnis der fünf Boden bildenden Faktoren. Diese Faktoren sind:

- 1. Untergrund:** Das Material, aus dem der Boden gebildet wird. Ausgangsmaterial kann Gestein, organisches Material, eine alte Bodenschicht oder Ablagerungen sein, die durch Wasser, Wind, Gletscher, Vulkane oder topographische Eigenschaften (Gefälle) dort hin transportiert wurden.
- 2. Klima:** Hitze, Regen, Eis, Schnee, Wind, Sonne und andere Umwelteinflüsse, die den Untergrund zerstören und die Geschwindigkeit der Bodenprozesse bestimmen.
- 3. Organismen:** Alle Pflanzen und Tiere, die auf oder in dem Boden leben (einschließlich Mikroorganismen und dem Menschen). Wasseraufnahme und Nährstoffbedarf beeinflussen die Bodenbildung. Im Boden lebende Tiere beeinflussen den Abbau von Abfallstoffen sowie den



"Materialfluß" innerhalb des Bodenprofils. Die abgestorbenen Überreste von Pflanzen und Tieren verwandeln sich zu "organischer Materie", die den Boden düngen. Auch die Nutzung des Bodens durch den Menschen beeinflusst die Bodenbildung.

**4. Topographie:** Die Lage eines Bodens in der Landschaft kann darüber entscheiden, auf welche Weise er von klimatischen Prozessen beeinflusst wird. Böden am Fuße eines Hügels werden besser mit Wasser versorgt als Böden in Hanglagen; die Böden an den Hängen sind wiederum auf der Sonnenseite trockener als auf der Schattenseite usw.

**5. Zeit:** Alle vorgenannten Faktoren wirken im Zeitverlauf, oft über Jahrhunderte oder Jahrtausende.

### **Bodenprofile**

Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen den fünf Boden bildenden Faktoren, ergeben sich stark unterschiedliche Bodenzusammensetzungen. Die einzelnen Bodenzonen einer Landschaft sind individuell ebenso verschieden wie Menschen. Genau wie bei Personen spricht man vom "Profil" des Bodens und meint damit das Aussehen, daß er dem Betrachter in seinem Querschnitt darbietet. Aus der Interpretation dieses Profils lassen sich wichtige Erkenntnisse über die geologische und klimatische Geschichte der Landschaft im Laufe der Jahrtausende, ihre Bewirtschaftung durch frühere Generationen, die heutigen Merkmale des Bodens sowie seine optimale heutige Nutzung gewinnen.

Jedes Bodenprofil besteht aus mehreren Schichten, die als "Horizonte" bezeichnet werden. Die Dicke eines solchen Horizonts kann zwischen einigen wenigen Millimetern und mehreren Metern betragen. Die einzelnen Horizonte lassen sich anhand der verschiedenen Farben und unterschiedlichen Partikelformen identifizieren. Sie fühlen sich anders an und haben andere Eigenschaften als die unmittelbar darüber- bzw. darunterliegenden Schichten.

In der Bodenkunde werden die einzelnen Horizonte anhand eines speziellen Bezeichnungssystems eingeordnet. Nicht alle Böden weisen dieselben Horizonte auf, da diese von der jeweiligen Entstehungsgeschichte abhängen. Hier ist eine Beschreibung der verschiedenen Horizonte:

#### **O-Horizont**

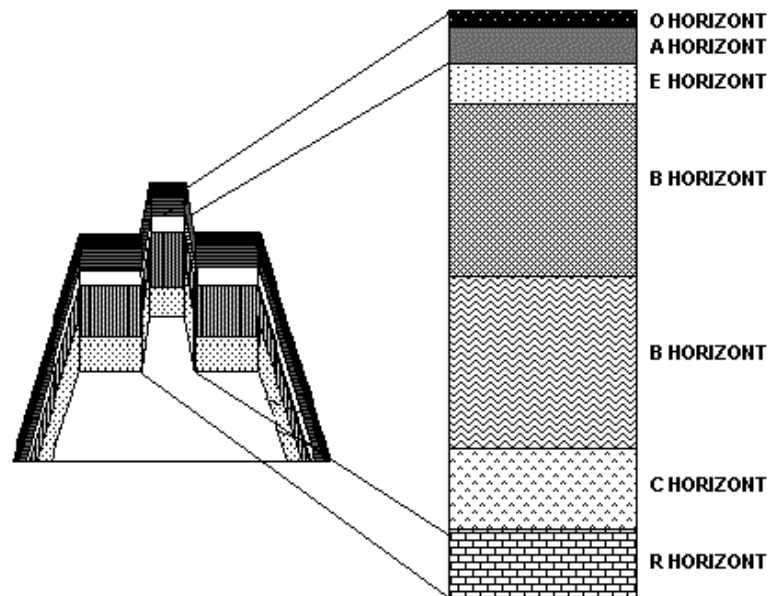
Aufgrund des *organischen* Materials, welches dieser Horizont enthält, wird er als O-Horizont bezeichnet. Er befindet sich an der Oberfläche und besteht zum größten Teil aus organischem Material der umgebenden Vegetation (Blätter, Holz, Zweige etc.). Dazu gehören auch die Ausscheidungen von Tieren und Insekten. Manchmal hat das Material bereits begonnen sich zu zersetzen und es ist schwierig zu sehen, ob es ursprünglich Blätter, Zweige oder etwas anderes gewesen ist. O-Horizonte findet man gewöhnlich in Waldgebieten. Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wüsten oder Grasland haben keinen O-Horizont in ihrem Profil.

#### **A-Horizont**

Der A-Horizont hat seinen Namen, da A der erste Buchstabe im Alphabet und dieser Horizont der erste mineralische Horizont ist. Er wird auch Oberboden genannt. Der A-Horizont besteht hauptsächlich aus mineralischem Material, auch wenn er darüber hinaus zersetztes Material, welches ihm die dunkle Farbe verleiht, enthält. Dieser Horizont ist üblicherweise dunkler als die darunter liegenden Horizonte. Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen wird der A-Horizont bestellt. Wenn sich viel organisches Material angesammelt hat, ist die Struktur granular. Wird dieser Boden kompaktiert, könnte der A-Horizont plattenartige Strukturen aufweisen.



Abb. SOIL-I-2



### **B-Horizont**

Der B-Horizont hat seinen Namen erhalten, da es meistens die zweite mächtige Schicht im Profil, so wie der Buchstabe B der zweite Buchstabe im Alphabet ist. Dieser Horizont besteht hauptsächlich aus dem Material des Untergrunds, welches so stark verwittert ist, daß es nicht mehr als solches zu erkennen ist. Dieser Horizont wird auch als Unterboden bezeichnet. Der Verwitterungsprozess verändert Farbe, Textur und Struktur (sie kann blockartig oder prismatisch sein, hervorgerufen durch Tonpartikel und den chemischen Elementen, die in den B-Horizont gewandert sind. In Trockengebieten kann sie, aufgrund des hohen Natriumgehalts säulenartig sein).

Im B-Horizont (illuvial) sammelt sich Material aus dem A und E Horizont an. Daher ist dieser Horizont reich an Ton, organischem Material, Eisen, Aluminium oder anderen Bodenbestandteilen, die aus höher liegenden Schichten dorthin gelangt sind. Viele B-Horizonte sind rötlich, gelbbraun oder hellbraun, also heller als der A-Horizont. Ist der Boden über längere Zeit mit Wasser gesättigt, kann die Farbe dadurch grau oder grau mit roten oder orangen Streifen werden.

**Anmerkung:** B-Horizonte können sehr mächtig und in zwei oder mehrere Schichten unterteilt sein. Falls mehr als ein B-Horizont vorliegt, können die einzelnen Schichten als B1, B2, B3 usw. bezeichnet werden. Achten Sie auf Veränderungen in Farbe, Textur, Struktur oder Konsistenz, um die einzelnen B-Horizonte zu unterscheiden.

### **C-Horizont**

Der C-Horizont ist der dritte Haupthorizont im Bodenprofil. Der C-Horizont gleicht weitgehend dem Ausgangsmaterial ohne Änderung in Farbe, ohne Struktur (der Boden ist entweder massiv oder körnig). Es wurde kein Material ausgeschwemmt und es liegt keine Beschichtungen oder Ansammlung von organischem Material vor.

### **E-Horizont**

In einigen Böden (die gewöhnlich unter feuchten Bedingungen entstehen) wird ein E-Horizont gebildet. Der E-Horizont wurde nach dem Wort "eluvial" benannt und bedeutet, daß Ton, Eisen,



Aluminium, organisches und anderes Material entfernt (ausgewaschen) wurden. Er erscheint weiß oder heller als die anderen, darüber oder darunter liegenden Horizonte. Häufig ist deren Struktur plattenförmig oder körnig. Diesen Horizont findet man gewöhnlich in Nadelwäldern.

### **R-Horizont**

Der R-Horizont stellt die Gesteinsschicht dar, die manchmal unter dem Bodenprofil gefunden wird. Der Boden kann sich aus diesem Gestein (wie alluviales, glaciales oder vulkanisches Material) oder Ablagerungen an der Oberfläche des Gesteins entwickelt haben.

**Anmerkung:** Es ist möglich, daß Sie nicht alle hier aufgelisteten Schichten in Ihrem Bodenprofil finden. Zum Beispiel treten O- und E-Horizonte nur in Waldgebieten auf. Befindet sich Ihr Profil in einem landwirtschaftlichen Gebiet, in der Wüste oder in einer Graslandschaft, wird es wahrscheinlich mit dem A-Horizont beginnen und keinen E-Horizont aufweisen. Falls Erosion stattgefunden hat, kann Ihr Profil mit dem B-Horizont beginnen. Geringe Bodenschichten oder schlecht entwickelte Böden können vom A-Horizont in den C-Horizont übergehen und keinen B-Horizont aufweisen.

Der Boden kann auch irgendwann durch menschlichen Einfluß verändert worden sein. Dies kann das Ergebnis von Baumaßnahmen sein, wenn die Bauherren die Gruben mit Bodenmaterial aus anderen Gebieten auffüllen oder wenn die Horizonte nicht in der ursprünglichen Reihenfolge aufgefüllt werden. Es kann unterschiedliche Ausgangsmaterialien geben. Ausgangsmaterial, welches durch Wasser, Wind, Gletscher, Vulkanaktivität oder Erdbeben heran getragen wurde, kann auf anderem Ausgangsmaterial oder vorhandenen Bodenprofilen abgelagert werden. Dies kann sich durch plötzliches Ändern von Farbe, Textur oder anderen Eigenschaften äußern, welche anzeigen, daß nicht der ganze Boden aus einem Ausgangsmaterial entstanden ist.



## Böden aus aller Welt

In den folgenden Abbildungen ist die Breite von Bodenprofilen in der Welt dargestellt.

Abb. SOIL-I -3: Graslandboden, südlicher Teil Texas, USA



Abb. SOIL-I -4: Boden, der sich unter einem Wald (fernöstliches Russland, in der Nähe der Stadt Magadan) gebildet hat.

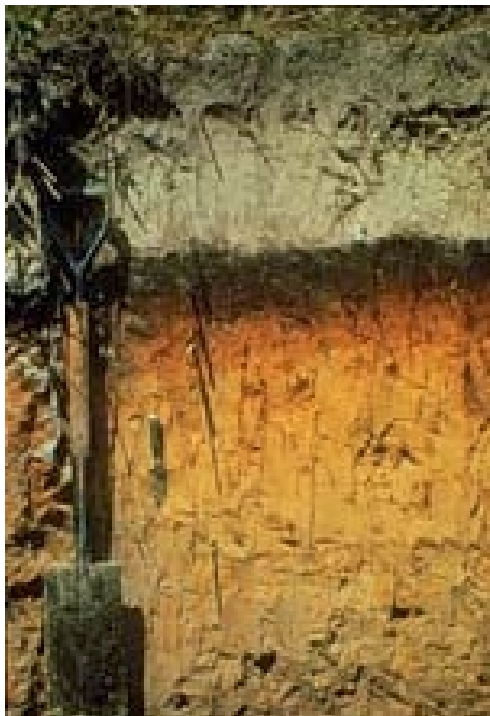




Abb. SOIL-I -5: Tropische Umgebung im Norden von Queensland, Australien





Abb. SOIL-I-6: Boden unter sehr kalten klimatischen Bedingungen in der Nähe von Inuvik im Nordwesten von Kanada



Abb. SOIL-I-7: Boden unter sehr trockenen, ariden Bedingungen in Neu Mexiko, USA

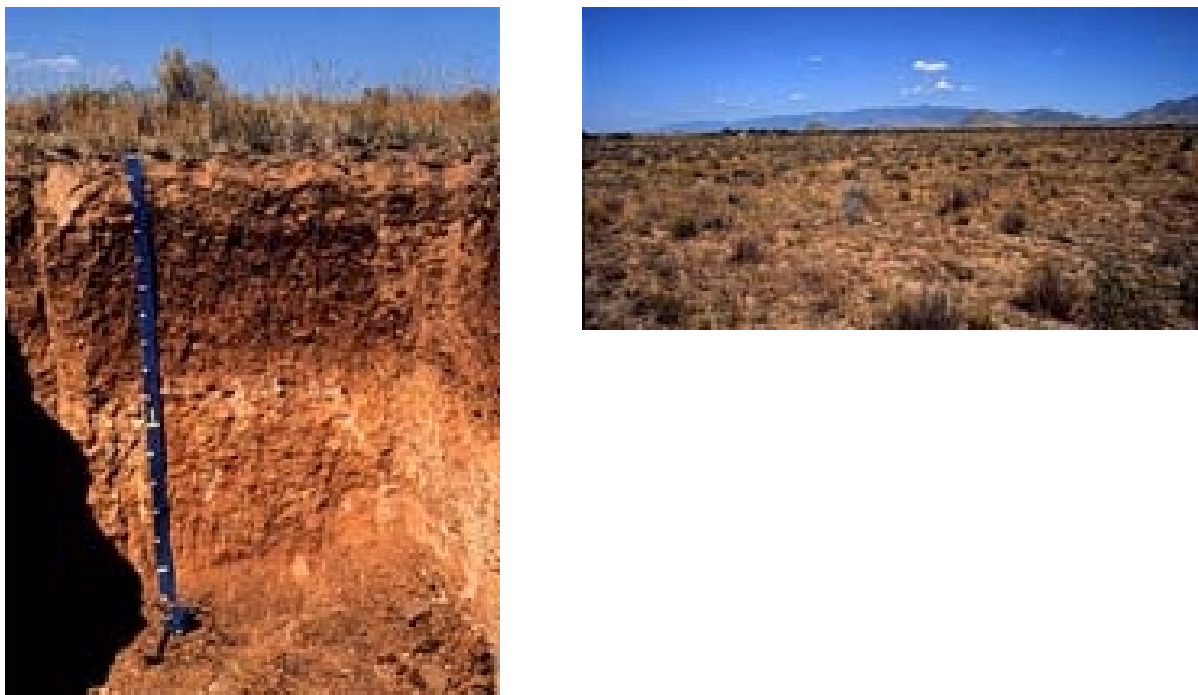




Abb.: SOIL-I -8: Feuchter Boden in Louisiana, USA



Diese Bilder wurden von Dr. John Kingle und Sharon Waltman vom USDA Natural Resource Conservation Service, Lincoln, Nebraska zu Verfügung gestellt





## Übersicht über das Meßprogramm

### Bodencharakterisierung

Im Feld können die Bodenhorizonte innerhalb eines Profils durch Veränderungen in der Struktur, Farbe, Konsistenz, Textur und der Menge an freiem Carbonat unterschieden werden. Nachdem die Proben ins Klassenzimmer oder Labor gebracht wurden findet die Bestimmung von Bodeneigenschaften, wie Dichte, Korngrößenverteilung, pH, und Bodenfruchtbarkeit statt, die ebenso von Horizont zu Horizont variieren können.

#### Struktur:

Die Struktur ist die natürliche Form der Aggregate im Boden. Die Struktur hat Einfluß auf die Größe der Zwischenräume in denen Wurzeln, Luft und Wasser sich bewegen.

#### Farbe:

Die Bodenfarbe verändert sich in Abhängigkeit von der Menge organischen Materials und der im Boden vorhandenen Mineralien (wie Eisen, welches dem Boden eine rote Farbe verleiht, oder Kalziumcarbonat, welches den Boden in Trockengebieten weiß färbt). Die Bodenfarbe hängt auch davon ab wie trocken oder feucht die Bodenprobe ist und kann auch darauf hinweisen, daß der Boden mit Wasser gesättigt ist.

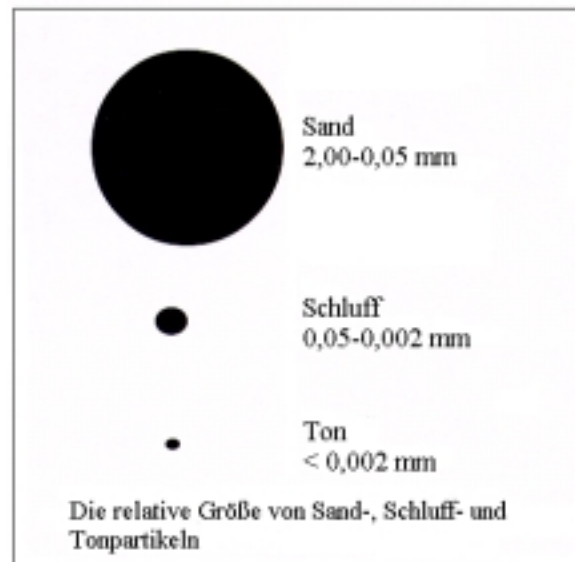
#### Konsistenz:

Die Konsistenz bezieht sich auf die Festigkeit der Bodenaggregate und sagt aus wie leicht sie auseinanderbrechen können. Ein Boden mit fester Konsistenz kann viel schwerer von Wurzeln, Schaufeln oder dem Pflug durchdrungen werden als Boden mit lockerer Konsistenz.

#### Textur:

Die Textur gibt an, wie sich eine Bodenprobe anfühlt und wird durch die Menge von Sand-, Schluff- und Tonpartikeln, die unterschiedlich groß sind, bestimmt.

Die Hände können diese Unterschiede der Korngrößen wahrnehmen, d.h. wir können mit den Händen die Textur bestimmen oder feststellen, wie sich der Boden "anfühlt". Sandpartikel sind die größten. Sie fühlen sich körnig an. Die nächst größeren Partikel sind die Schluffpartikel. Sie fühlen sich weich, mehlig an. Tonpartikel haben die geringste Größe. Ton ist klebrig und schwer zu kneten. Die genaue Menge an Sand, Schluff und Ton einer Bodenprobe wird als Korngrößenverteilung bezeichnet. Sie wird im Klassenzimmer oder Labor bestimmt.



#### Karbonate:

Freie Karbonate sind Substanzen, welche die Partikel im Boden überziehen, wenn der pH-Wert über pH7 liegt. Dies ist vor allem in ariden und semiariden Klimazonen der Fall. Karbonate sind üblicherweise weiß gefärbt und können leicht mit dem Fingernagel abgekratzt werden. Es handelt



sich um Salze des Kalziums und anderer Elemente, die sich in Bereichen ansammeln, welche wenig Verwitterung durch Wasser erfahren. Karbonate können ihren Ursprung im Ausgangsmaterial (z.B. Kalkstein) haben, den Böden hinzugefügt, oder innerhalb des Bodens gebildet worden sein. In trockenen Klimazonen können Karbonate einen sehr harten Horizont hoher Dichte bilden, der Ähnlichkeit mit Zement hat. Er kann von den Wurzeln der Pflanzen nicht durchdrungen werden, folglich können auch keine Pflanzen auf diesem Boden wachsen.

Im GLOBE-Programm erfolgt der Test auf Karbonate mit Essigessenz. Sind Karbonate anwesend, tritt eine chemische Reaktion zwischen dem Essig, der eine Säure ist, und den Karbonaten ein und es entsteht Kohlendioxid. Wenn Kohlendioxid entsteht bilden sich Bläschen oder es die Probe schäumt auf. Je mehr Karbonat vorhanden ist, desto mehr Bläschen werden beobachtet oder desto schäumt die Probe auf.

### **Dichte:**

Die Dichte ist ein Maß wie stark der Boden gepackt oder wie kompakt der Boden ist. Sie wird über das Gewicht der trockenen Bodenprobe bekannten Volumens ( $\text{g/cm}^3$ ) bestimmt. Die Dichte des Bodens hängt von der Struktur (Form) der Aggregate ab, wie dicht diese gepackt sind und aus welchem Material sie zusammengesetzt sind. Mineralische Böden (Sand, Schluff oder Ton) haben eine andere Dichte als Böden, die aus organischem Material bestehen. Im Allgemeinen liegt die Dichte von Böden zwischen  $0,5 \text{ g/cm}^3$ , bei Böden mit vielen Hohlräumen und  $2,0 \text{ g/cm}^3$  oder auch mehr, bei sehr kompakten Horizonten.

Die Dichte ist aus vielen Gründen eine wichtige Kenngröße. Sie sagt etwas über die Porosität (Verteilung des Bodenvolumen also der Poren) aus. Damit wissen wir wie viel Luft oder Wasser im Boden gespeichert werden kann oder wie viel durch den Boden transportiert werden kann. Die Dichte zeigt auch an, wie stark die Partikel zusammengepreßt sind und es ist je nach dem schwer oder einfach für Wurzeln zu wachsen oder für eine Schaufel, den Horizont zu durchdringen. Die Dichte wird auch benötigt, um das Gewicht der Bodenprobe in Volumen umzurechnen. Wenn wir das Gewicht der Bodenprobe kennen, können wir sein Volumen bestimmen, in dem wir das Gewicht durch die Dichte teilen. Kennen wir das Volumen der Probe, können wir sein Gewicht durch Multiplikation des Probenvolumens mit der Dichte erhalten.

### **Korngrößenverteilung:**

Der Anteil von Sand, Schluff und Ton im Boden wird als Korngrößenverteilung bezeichnet. Ist die Verteilung der Korngrößen einer Bodenprobe bekannt, hilft es uns viele Bodeneigenschaften zu verstehen z.B. wieviel Wasser, Wärme und Nährstoffe im Boden enthalten sein können, wie schnell Wasser oder Wärme transportiert werden kann und welche Strukturen oder Konsistenzen möglich sind. Die Verteilung von Sand, Schluff und Ton wird durch Sedimentationsanalyse mit Hilfe eines Aräometers (Spindel, Aräometer) bestimmt. Das Aräometer wird verwendet um den Bodenanteil zu messen, der sich noch in der Suspension befindet, nach dem sich ein Teil des Bodens bereits am Boden des Zylinders abgesetzt hat.

Sandpartikel sind die größte Partikelgruppe, Schluff hat eine mittlere Größe und Tonpartikel sind die kleinsten Teilchen (Siehe Abb. SOIL-I-9). In der wissenschaftlichen Welt gibt es keine einheitliche Einteilung, um Sand und Schluff zu unterscheiden. Im GLOBE-Programm wird Sand und Schluff anhand von folgenden Größendefinitionen bestimmt:

1. US Department of Agriculture (USDA) definiert die Größe von Sand als  
2.0mm - 0.05 mm, die Größe von Schluffpartikel von  
0.05 mm - 0.002 mm.



2. International Soil Science Society (ISSS) definiert die Größe von Sand als 2.0 mm - 0.02 mm und die Größe von Schluffpartikel von 0.02 mm - 0.002 mm

Die GLOBE-Schüler bestimmen Schluff- und Sandanteile anhand beider Definitionen, die Daten können so weltweit von Wissenschaftlern benutzt werden.

Tonpartikel besitzen die geringste Größe und werden in beiden Systemen mit kleiner als 0.002 mm angegeben. Partikel, die größer als 2 mm sind, werden als Steine oder Kies bezeichnet und werden nicht zum Bodenmaterial gerechnet.

Große Teilchen setzen sich als erstes ab. Also wenn die Bodenprobe in einem 500 ml Standzylinder aufgerührt und geschüttelt wurde, setzen sich die Sandpartikel (nach USDA Definition) bereits nach 2 min ab, während Ton und Schluff sich noch in der Suspension befindet. Nach 12 Minuten hat sich Sand, entsprechend der ISSS Definition, abgesetzt und Ton und Schluff befinden sich in der Suspension. Nach 24 Stunden haben sich die Schluffpartikel abgesetzt und nur noch Ton ist suspendiert.

#### **pH:**

Der pH-Wert des Horizonts (wie sauer oder wie basisch ist der Boden) wird im Labor oder Klassenzimmer gemessen. Der pH-Wert hat Einfluß darauf, welche Pflanzen auf dem Boden wachsen können und ist das Ergebnis von Ausgangsmaterial, der chemischen Verunreinigungen des Regens und sonstigen Wassers, welches in den Boden eindringt, Landbearbeitung und der Aktivität von Organismen (Pflanzen, Tiere, Pilze im Boden. Z.B. sind die Nadeln der Pinien stark sauer. Im Laufe der Zeit werden sie Zeit zersetzt und der pH-Wert des Bodens sinkt). Der pH-Wert des Bodens zeigt die Chemie und die Fruchtbarkeit des Bodens an. Wie der pH-Wert des Wassers, ist auch der pH-Wert des Bodens ein logarithmischer Wert (siehe Hydrologie: Allgemeine Übersicht, pH-Wert). Es ist wichtig den pH-Wert des Bodens zu kennen, da er Einfluß auf die chemische Aktivität der Elemente im Boden nimmt und somit viele Eigenschaften mitbestimmt. Jede Pflanzenart hat einen bestimmten pH-Bereich, bei dem sie am besten gedeihen kann. Um optimale Bedingungen für die Pflanzen, die sie anbauen wollen zu schaffen, verwenden Bauern Kalziumkarbonat oder Kalziumsulfat. Sie ändern damit den pH-Wert des Bodens. Der pH-Wert des Boden wirkt sich auch auf den pH-Wert des Grundwassers oder den Wert von Bächen und Seen, welche in der Nähe liegen, aus.

#### **Bodenfruchtbarkeit:**

Die Fruchtbarkeit des Bodens bestimmt wie viele Nährstoff im Boden gespeichert werden können. Stickstoff (N) als Nitrat, Phosphor (P) und Kalium (K) sind die drei für das Pflanzenwachstum wichtigen Nährstoffe. Sie müssen in angemessener Menge im Boden vorliegen. Jeder Nährstoff kann auch aus dem Boden ins Grundwasser ausgewaschen werden. Durch Bestimmung von N, P und K können wir feststellen, welche Mengen dieser Nährstoffe in den einzelnen Horizonten vorhanden sind. Diese Information hilft nachzuvollziehen, warum bestimmte Pflanzen an einer Stelle wachsen und sie kann auch mit der Wasserchemie in Beziehung gesetzt werden.

#### **Technik der Probennahme**

Die Protokolle zur Bodencharakterisierung sollten einmal für jede Meßstelle durchgeführt werden, an der die Bodeneigenschaften eine Auswirkung auf andere Meßparameter haben. Höchste Priorität haben die Untersuchungsfelder für die biometrischen Bestimmungen (Landbedeckung), sowie die Stellen, an denen die Bodenfeuchte gemessen wird. Die Protokolle



sind in "Maßnahmen im Freien" und "Maßnahmen im Klassenzimmer" aufgeteilt. Im Freien werden die Schüler die Bodenprofile beschreiben und Proben entnehmen. Hierzu muß mittels Schaufel oder Bohrer ein ein Meter tiefes Loch gegraben werden. Alle Schüler müssen das Bodenprofil beschreiben und Proben mit ins Klassenzimmer zurücknehmen, um sie dort zu trocknen, zu sieben und die Dichte, pH-Wert, Nitrat, Phosphor, Kalium (N, P, K), sowie die Korngrößenverteilung zu bestimmen. Die Bestimmung der Infiltrationsrate sollte ebenfalls durchgeführt werden.

### **Bodenfeuchte**

Einmal monatlich sollten die Schüler die Bodenfeuchte messen, oder mindestens 12 Mal pro Jahr in regelmäßigen Zeitabständen. Die Entscheidung, über 12 Wochen hinweg wöchentliche Bestimmungen durchzuführen, das ganze Jahr hindurch jeden Monat, oder 12 Mal im Abstand von 2-3 Wochen zu messen, ist den Lehrern und Schülern überlassen. Verschiedene Vorgehensweisen bei der Probennahme können von den Wissenschaftlern unterschiedlich verwendet werden. Dies zeigt den Schülern, daß es unterschiedliche Aspekte bei der Bodenfeuchte zu untersuchen gibt. Messungen sind interessanter für Schüler, wenn deutliche Änderungen beobachtet werden können. Grundsätzlich ändern sich die Verhältnisse der Bodenfeuchtigkeit am schnellsten im Frühsommer oder beim Übergang von feuchten zu trockenen Jahreszeiten. Lehrer und Schüler sollten sich für eine Strategie in der Probennahme entscheiden, welche für ihre Schule am günstigsten ist und 12 Meßergebnisse liefert.

Jede der drei verschiedenen Probenentnahmetechniken können abhängig von den Fähigkeiten der Schüler und den Bedingungen an der Schule eingesetzt werden. Noch einmal sei erwähnt, daß die verschiedenen Techniken Daten ergeben, die auf verschiedene Weise verwendet werden können, um unterschiedliche Aspekte der Bodenfeuchtigkeit zu betrachten. Danach wird der Wassergehalt dieser Proben mittels eines einfachen Trocknungs- und Wägeverfahrens festgestellt.

Die einfachste Vorgehensweise ist Bodenproben in Oberflächennähe (0-5 cm Tiefe), dies entspricht etwa der Tiefe, die von den Feuchtigkeitssensoren der Erdbeobachtungssatelliten erfaßt wird, und in 10 cm Tiefe zu entnehmen. In jeder Tiefe werden drei Proben genommen, um die Ergebnisse jeder Meßstelle zu bestätigen. Eine zweite Technik ist es Proben in einer Tiefe von 0-5 cm zu nehmen. Alle fünf Meter werden entlang einer 50 m langen Strecke (Transsekt) die Proben gesammelt. Dies gibt Aufschlüsse über lokale Unterschiede und charakterisiert einen größeren Bereich. Auch hier werden pro Stelle drei Proben genommen, um die Richtigkeit der Ergebnisse abzusichern. Die Bodenfeuchte wird in der Nähe der Bodenoberfläche von Schülern und mittels Satelliten bestimmt. Diese beiden Meßergebnisse sind direkt vergleichbar. Die Daten der GLOBE-Schulen helfen die Daten von Sensoren, die entweder an Satelliten oder Flugzeugen angebracht sind, zu kalibrieren, zu validieren oder zu interpretieren. In einer letzten Verfahrensweise werden die Proben in fünf verschiedenen Tiefen genommen - 0-5 cm, 10 cm, 30 cm, 60 cm und 90 cm. Dieses Verfahren gibt Aufschluß, wie sich Wasser durch die Bodensäule bewegt und kann in Beziehung zur Wasseraufnahme von Pflanzen gesetzt werden.

Nach Entnahme der Bodenproben werden diese von den Schülern in ein beschriftetes Gefäß gefüllt und gewogen. Danach werden die Proben bei niedrigen Temperaturen (75 - 105°C) getrocknet, bis sie kein Wasser mehr enthalten. Anschließend werden sie erneut auf die Waage gelegt. Der Gewichtsunterschied zwischen frischer und getrockneter Probe entspricht der verdunsteten Wassermenge. In der Wissenschaft wird diese Methode als "*gravimetrisches*" Verfahren (d.h. Messung durch Gewichtsvergleich) bezeichnet. Das Verhältnis von Gewicht des Wassers zum Gewicht der trockenen Probe ist der *Wassergehalt der Probe*. Bitte



berücksichtigen Sie, daß dies keine Prozentangabe ist, da wir das Ergebnis nicht durch das Gesamtgewicht der feuchten Probe dividieren. Das Trockengewicht gibt an wie groß die Probe ist, da die Dichte für eine bestimmte Bodenart ein konstantes, charakteristisches Merkmal ist. Teilen wir das Gewicht des Wassers durch das Trockengewicht, erhalten wir eine Zahl (Wassergehalt), die mit unseren Messungen an anderen Tagen vergleichbar ist, auch wenn die Größe der Bodenprobe von Mal zu Mal ändert.

Der Wassergehalt liegt typischer Weise zwischen 0.05 und 0.40 g/g. Manchmal werden diese Werte mit 100 multipliziert, das sollen auch die Schüler im GLOBE-Programm tun. Wüstenboden hält nur geringe Mengen an Wasser, an der Oberfläche können die Feuchtwerte unter 0.05 g/g liegen. Böden, die reich an organischem Material sind, Torf und einige Tonböden, können große Mengen an Wasser absorbieren, daher können auch Werte, die größer als 0.40 g/g sind auftreten.

### **Infiltration**

Infiltration ist die Geschwindigkeit mit der Wasser im Boden versickert und eine wichtige hydrologische Eigenschaft von Böden. Wissenschaftler benötigen diese Information, um den Ablauf von Niederschlag oder dessen Speicherung im Boden vorherzusagen und zu modellieren. Die Infiltration hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab: Bodenstruktur, Textur, Dichte, Wassergehalt und Anteil organischer Bestandteile im Boden. Die Infiltrationsrate variiert von unter 20 mm/Std. bei Tonböden bis 60 mm/Std. bei lockeren Sandböden.

Die Infiltration soll mindestens drei Mal pro Jahr an der Meßstelle für die Bodenfeuchte und einmal an der Stelle, an dem die Bodencharakterisierung vorgenommen wird, bestimmt werden. Dazu wird ein einfaches Gerät benutzt, das wir Doppelringinfiltrimeter nennen. Wir verwenden zwei konzentrischen Blechdosen (ohne Boden) mit unterschiedlichem Durchmesser. Da die Infiltration von der Bodenfeuchte abhängt, die sich im Laufe der Zeit verändert, führen die Schüler bis zu neun Messungen innerhalb von 45 min durch. Diese Bestimmung soll an den Tagen durchgeführt werden, an denen auch die Proben zur Bestimmung der Bodenfeuchte genommen werden. Da die Infiltrationsrate sich auch um Größenordnungen durch den Einfluß von Pflanzen oder Tiere ändern kann (z.B. Mausloch), messen die Schüler die Infiltration an einem Tag an drei Stellen, die max. 2 Meter voneinander entfernt sind.

### **Bodentemperatur**

Die Bodentemperatur hängt von der minimalen und maximalen Lufttemperatur eines Tages ab, die bei den atmosphärischen Messungen zu bestimmen sind. Die Schüler sollten verstehen, daß ein Vergleich der Bodentemperatur mit der Lufttemperatur, der Wassertemperatur und den Niederschlagsmessungen sinnvoll ist.

Die Bodentemperatur wird am Meßort für die Bodenfeuchte bestimmt, welcher weniger als 100 m vom Wetterhäuschen entfernt sein sollte. Wird an der Schule keine Bodenfeuchtemessung vorgenommen, wird die Bodentemperatur im Umkreis von 10 m des Wetterhäuschens gemessen. Die Messungen werden in 5 cm und 10 cm Tiefe durchgeführt und können direkt in Bezug zu den Bodenfeuchtemessungen gesetzt werden. Die Bodentemperatur soll das ganze Jahr hindurch einmal pro Woche bestimmt werden. Darüber hinaus soll die Temperatur alle drei Monate an zwei aufeinander folgenden Tagen im Laufe eines Tages, im Abstand von je zwei Stunden gemessen werden. So findet man heraus wie stark die Bodentemperatur im Tagesverlauf schwankt.



## Vorbereitung auf die Arbeit im Freien

### Verfahren der Probennahme für die Bodenfeuchtemessungen und Beschreibung der Meßstelle

Alle Meßstellen zur Bestimmung der Bodenfeuchte sollen sich in einem offenen Gelände, weg von Gebäuden, frei von der Abschirmung durch Bäume und entfernt von Straßen befinden. Die Meßorte sollten nicht bewässert sein. Es wäre sehr wünschenswert, die Meßstellen im Umkreis von 100 m des Wetterhäuschens (Meßort für die atmosphärischen Parameter) zu wählen. So könnten die Daten kombiniert werden und man könnte ein verständlicheres Bild der Umwelt im Nahbereich der GLOBE-Schule erhalten.

Im Folgenden werden die drei Verfahren zur Probennahme für die Bodenfeuchtebestimmung beschrieben.

#### Der Stern

Die Schüler entnehmen die Bodenproben zur Feuchtigkeitsbestimmung in zwei Tiefen nahe der Oberfläche. Im Verlauf der zwölf Messungen werden die Proben in einem sternförmigen Muster entnommen, welches einen Durchmesser von 2 m besitzt.

#### Lineare Meßstrecke (Transekte)

Die Schüler sammeln insgesamt 13 Bodenproben entlang einer linearen Meßstrecke (Transekte). Diese Messung eignet sich besonders gut zum Vergleich mit den Satellitenaufnahmen. Hierzu wird auf offenem Gelände eine gerade Strecke von 50 m Länge abgemessen. Die Schüler bestimmen die Bodenfeuchte im Abstand von 5 m. An einer Stelle werden pro Bestimmung drei Proben im Abstand von 25 cm entnommen, um die Reproduzierbarkeit der Daten sicherzustellen.

#### Tiefenprofil

Die Bodenfeuchtemessungen werden an Bohrkernen aus fünf verschiedenen Tiefen (0-5cm, 10cm, 30 cm, 60cm und 90 cm) unter Verwendung eines Edelmannbohrers durchgeführt.

Die Bestimmung der Bodenfeuchte kann auch anhand des wahlweise durchzuführenden Protokolls "Bestimmung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Gipssensoren" durchgeführt werden. Dies wird nur für fortgeschrittene Schüler empfohlen. Die Gipssensoren werden in vier verschiedenen Tiefen - 10 cm, 30 cm, 60 cm und 90 cm - eingebracht. Der Wassergehalt im Gips kann dann direkt anhand einer Messung der elektrischen Leitfähigkeit bestimmt werden. Diese Messungen können auch täglich im Zusammenhang mit den atmosphärischen Messungen ausgeführt werden. Zur Eichung der Gipssensoren wird die gravimetrische Methode verwendet.

### Verbindung zu anderen Untersuchungen im GLOBE-Programms

Dieser Abschnitt dient dazu die Schüler an die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Bodenbedingungen und den umgebenden Land-, Wasser- und Klimaverhältnissen heranzuführen. Durch die Anordnung der verschiedenen Meßstellen innerhalb eines eng begrenzten Bereichs lassen sich Wechselbeziehungen zwischen den betrachteten Meßgrößen verdeutlichen. Interessante Ergebnisse könne man folgendermaßen erzielen:



- wählen Sie den Standort für die Bodencharakterisierung im Untersuchungsfeld für die Landbedeckung, an der Meßstelle für die Bodenfeuchte oder im Untersuchungsfeld zur quantitativen Erfassung der Landbedeckung
- führen Sie die Aktivitäten im Meßprogramm Hydrologie zusammen mit der Bodencharakterisierung und der Bestimmung der Bodenfeuchte ein
- bestimmen Sie die Bodenfeuchte in der Nähe des Wetterhäuschens

### **Zeitkriterien**

Frühjahr und Herbst sind zur Untersuchung der Bodenfeuchtigkeit sowohl in der Nähe der Oberfläche, sowie von Tiefenprofilen am besten geeignet, da der Boden dann weder gefroren noch zu stark ausgetrocknet ist. Die Messungen sollten zu einer Zeit durchgeführt werden, in der sich den Schülern möglichst ausgeprägte Kontraste bieten.

Meist bietet ein Tag nach einem Regenfall die günstigsten Bedingungen, um aufgestaute Nässe, Feuchtigkeit unter Laubschichten, trockene und sonnige Flecken, schlammige Bodensenken sowie die Bodenbedingungen unter geschlossenen Baum- und Strauchdecken zu beobachten.



## Pädagogische Aktivitäten

### Lernziele

Das Bodensystem stellt gewissermaßen ein "natürliches Labor" dar, das zahlreiche naturwissenschaftliche Beobachtungen erlaubt. Durch die Untersuchung des Bodenprofils an verschiedenen Standorten und Betrachtung des Einflusses von Klima, Vegetationsart, Unterboden und Bodennutzung auf die Bodenverhältnisse im Zeitverlauf werden den Schülern nicht nur Grundlagen der Bodenkunde, sondern auch Kenntnisse in Geologie, Biologie und Ökologie vermittelt.

Die Schülern gewinnen damit ein Verständnis für die Funktion von Wärme, Wasser und chemischer Zusammensetzung bei der Bodenbildung (Pedogenese) und werden mit den Bodenverhältnisse am konkreten Untersuchungsort vertraut. Dieses Wissen bildet einen natürlichen Ausgangspunkt für den weiterführenden Unterricht in Chemie und Physik.

Daneben wird den Schülern ein Verständnis für die Feuchtigkeit und Temperatur des Bodens sowie die Bedeutung dieser Faktoren für den Wasser- Kohlenstoff- und Energiehaushalt der Erde vermittelt. Sie erfahren, wie sich mit modernen Fernmeßmethoden die Auswirkungen der Bodenverhältnisse auf regionale und weltweite Prozesse klären läßt. In diesem Zusammenhang wird auch auf Modellbildungsverfahren zur Prognose von Bodenmerkmalen und Einflußgrößen des Ökosystems eingegangen.

Indem sich die Schüler mit den Merkmalen und Eigenschaften des Bodens beschäftigen und erkennen, wie sich aus dem Wechselspiel von Klima, Topographie, Biologie, Untergrund (Geologie) und Zeit verschiedene Böden ergeben, wird zugleich ihre Beobachtungsfähigkeit geschärft. Die Durchführung der Messungen sowie der Umgang mit Proben und die Protokollierung von Ergebnissen vermitteln wichtige praktische Kenntnisse und Fähigkeiten.

Überdies werden die Schüler mit der wissenschaftlichen Terminologie und Nomenklatur vertraut gemacht, damit wird eine klare Kommunikation zwischen Schülern und Wissenschaftlern ermöglicht.

Desweiteren werden Begriffe der Chemie, Physik, Biologie und Mathematik zur Darstellung und Modellierung bodenkundlicher (und damit auch hydrologischer) Merkmale und Abläufe vermittelt. Im Zuge der Ergebnisanalyse spielen auch statistische und graphische Methoden eine wichtige Rolle.





## Leistungsbeurteilung

Zur Leistungsbeurteilung im Rahmen des Programms empfehlen wir eine Bewertung anhand folgender Kriterien:

### Kritisches Denkvermögen

- Klares Begriffsverständnis: Fordern Sie das Verständnis der Schüler, indem Sie andere denkbare Gegenstände der wissenschaftlichen Untersuchung vorstellen. Wie gut werden Fragen, Hypothesen und Instrumentarien zur Untersuchung der jeweiligen Fragestellungen, Interpretationen und Schlußfolgerungen formuliert? Sind die Schüler imstande, die Aussagen von Wissenschaftlern, Mitschülern und Lehrern kritisch zu hinterfragen? Sie sollen dazu angeregt werden, Fragen zu formulieren und vorgelegte Aussagen auf ihre Nachvollziehbarkeit "abzuklopfen". Auf diese Weise entsteht in der Klasse eine wissenschaftliche Gemeinschaft, die von Verständnis für die Standpunkte und Anliegen des anderen geprägt ist.
- Beobachtung und Protokollierung: Um zu gültigen wissenschaftlichen Ergebnissen zu gelangen, kommt es auf genaues Arbeiten an. In ihrer Arbeit sollten die Schüler auch ein Verständnis für Einflüsse entwickeln, die sich auf die gemessenen Daten auswirken können (z.B. fehlende methodische Disziplin, Fehler bei der Probennahme, ungenaue Protokollführung usw.).

Aber auch Fehler sind Teil des wissenschaftlichen Prozesses. Die Schüler sollen begreifen, daß sich Irrtümer nur überwinden lassen, wenn man sie eingesteht. Bestehen Zweifel an der Genauigkeit der Ergebnisse ist es wichtig, daß dies protokolliert wird. Auch wenn man einmal nichts erkennt, kann dies eine wichtige Beobachtung sein. Wer dagegen Daten "erfindet" der lügt und erschwert sich damit nur unnötig die spätere Arbeit.

- Organisation wissenschaftlicher Daten: Die Sachverhalte, auf die es ankommt, sollten klar und übersichtlich dargelegt sein. Untersuchungstätigkeit und Datenmaterial müssen so strukturiert sein, daß sie der Fragestellung gerecht werden. Die Schüler sollen beurteilen lernen, welche methodischen Instrumentarien zur Gewinnung von Erkenntnissen geeignet sind. Zudem sollen sie die Fähigkeit zur Interpretation dieser Daten entwickeln, um zu solide abgesicherten Schlußfolgerungen zu gelangen.

### Kommunikationsfähigkeit:

Der Zweck kontextgestützten Lernens besteht darin, die Schüler auf authentische Situationen vorzubereiten. Wichtiges Element eines solchen Ansatzes ist die Fähigkeit, sich anderen mitzuteilen. Der Schüler soll imstande sein, sich sowohl in zwangloser Umgebung als auch in formellem Rahmen schriftlich und mündlich qualifiziert zu äußern. Er soll in der Diskussion mit Gleichaltrigen sein kritisches Denkvermögen weiterentwickeln und an der Lösung unmittelbar gestellter Aufgaben kooperativ zusammenarbeiten können. Dies sollte sowohl im Gespräch als auch aus der schriftlichen Arbeit erkennbar sein (Gruppengespräche, eigene Protokolle, wöchentliche Ergebnisdarstellungen usw.).

Die Fähigkeit zur formellen Darstellung des angeeigneten Wissens durch Referate und Abschlußberichte ist anzuregen. Diese Referate und Berichte müssen dem Zuhörer bzw. Leser ein umfassendes Bild der Arbeit vermitteln, an welcher der jeweilige Schüler beteiligt war. Der Schüler sollte sich dabei als fähig erweisen, seine Information in knapper und aussagefähiger



Form darzulegen, wie dies auch Wissenschaftler auf Kongressen und in Fachzeitschriften tun. Er soll mit der vermittelten wissenschaftlichen Terminologie vertraut sein und diese souverän beherrschen. Dies erleichtert ihm nicht nur das Verständnis der wissenschaftlichen Literatur, sondern auch die eigene Kommunikation in der Sprache der Wissenschaft.

Die Fähigkeit, sich sowohl informell als auch im Rahmen von Formkonventionen angemessen zu äußern, ist nicht nur wichtiger Bestandteil jeder wissenschaftlichen Tätigkeit, sondern stellt auch eine wichtige Vorbereitung auf verschiedene sonstige Situationen des Erwachsenenlebens dar. Der Schüler muß imstande sein, sich sowohl gegenüber Gleichgestellten als auch in der Gemeinschaft verständlich auszudrücken.

Zur Leistungs- und Fortschrittsbeurteilung im Programmverlauf empfehlen wir eine Bewertung anhand folgender Kriterien: Arbeitshefte, Feldbeobachtungen, Referate und Berichte, Organisation, Begriffsverständnis, Arbeit bei der Durchführung der Messungen, Datenanalyse und -präsentation sowie Schlüssigkeit der Folgerungen.



## PROTOKOLLE



### Teil 1: Durchführung der Bodencharakterisierung

Die Schüler wählen ihren Untersuchungsstandort aus und bereiten das Material für die Arbeit im Feld vor.

#### **Protokoll: Bodencharakterisierung - Feldarbeit**

Die Schüler graben ein Loch, beschreiben die Eigenschaften der einzelnen Horizonte des Bodenprofils und nehmen von jedem Horizont Proben mit ins Labor.

#### **Protokoll: Bodencharakterisierung - Laboranalyse**

Die Schüler bereiten die Proben für die Analyse im Labor vor. Sie bestimmen die Dichte, Korngrößenverteilung, pH-Wert und Bodenfruchtbarkeit.

### Teil 2: Bodenfeuchte und Bodentemperatur

Die Schüler bestimmen den Meßort für die Bodenfeuchte, entscheiden sich für ein Verfahren zur Probenahme und für die Häufigkeit der Messungen.

#### **Protokoll: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte**

Die Schüler bestimmen zwölf Mal pro Jahr den Wassergehalt unter Verwendung einer der drei vorgeschlagenen Probenentnahmetechniken.

#### **Protokoll: Optional: Bestimmung der Bodenfeuchte mit Hilfe von Gipssensoren**

Die Schüler graben die Gipssensoren in vier verschiedenen Tiefen ein, messen täglich die Leitfähigkeit und erstellen eine Eichkurve, welche es erlaubt, die Leitfähigkeitswerte in Bodenfeuchte umzurechnen.

#### **Protokoll: Infiltration**

Die Schüler bestimmen die Geschwindigkeit mit der Wasser im Boden versickert als Funktion der Zeit.

#### **Protokoll: Bodentemperatur**

Die Schüler messen die Bodentemperatur in der Nähe der Oberfläche einmal in der Woche zum Sonnenhöchststand und alle drei Monate im Tagesverlauf.



## Teil 1: Durchführung der Bodencharakterisierung

### Stelle der Probenentnahme

Jede Schule soll die Bodencharakterisierung an mindestens zwei Stellen durchzuführen, von denen eine in unmittelbarer Nähe des Meßortes für die Bodenfeuchte (siehe Teil 2, "Bodenfeuchte und Bodentemperatur") und die andere innerhalb des Biometriefeldes (siehe Landbedeckung/Biologie) liegen muß. An jeder dieser Stellen sollen die Schüler ein Loch graben und den Boden untersuchen. Ein Bodenprofil bis mindestens ein Meter Tiefe soll, sofern möglich, erstellt werden.

Da die Bodencharakterisierung stets nur einmal für einen Standort durchgeführt wird, werden diese Stellen bei GLOBE als Meßorte für die Bodencharakterisierung angegeben.

An vielen Stellen verändern sich die Bodenprofile innerhalb des 15 km x 15 km großen GLOBE-Untersuchungsareals. Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie die Bodencharakterisierung an mehr als die geforderten zwei Orte durchführen. Dies kann wichtige wissenschaftliche Zusatzinformationen liefern und bietet weitere erzieherische Möglichkeiten. Die Anzahl der Meßorte, die Sie auf dem GLOBE-Server eingeben können, ist nicht begrenzt.

Manchmal hat man die Möglichkeit, sich die Bodenprofile anzusehen, ohne selbst graben zu müssen. Zum Beispiel kann man Bodenprofile an einer Straßenböschung erkennen. Auch hier können die Bodenproben entnommen und untersucht werden. Sie sollten jedoch die oberste Schicht entfernen, damit Sie eine frische, nicht verwitterte Oberfläche erhalten. Auch Baugruben sind häufig interessant und nützlich. Achten Sie aber auch hier auf die Sicherheit und holen Sie sich die nötige Genehmigung ein.

### Auswahl des Meßortes für die Bodencharakterisierung

Es gibt mehrere Möglichkeiten, den Boden freizulegen und die Proben zu entnehmen.:

- Heben Sie eine Grube von mindestens einen Meter Tiefe aus. Sie sollte so groß sein, daß das gesamte Profil gut zu erkennen ist.
- Benutzen Sie Straßenböschungen, Baugruben oder andere Ausschachtungen, die Ihnen das Profil bis mindestens ein Meter Tiefe zeigen.
- Verwenden Sie einen Edelmanbohrer, um Proben bis ein Meter Tiefe zu entnehmen.
- Verwenden Sie Gartenkellen oder -schaufeln für die Probenahme bis 10 cm Tiefe, wenn Sie keine Möglichkeit haben, einen Grube auszuheben.

Einige Teile der Protokolle unterscheiden sich in Abhängigkeit von der verwendeten Methode.

Falls Sie eine Grube zur Bestimmung des Profils ausheben,

- Sollten Sie an dieser Stelle ohne Gefahr graben können. Vergewissern Sie sich durch Rücksprache mit lokalen Versorgungsunternehmen, Hausmeistern o.ä., daß durch das Graben am vorgesehenen Ort keine Versorgungskabel, Bewässerungsleitungen o.ä. beschädigt werden können.
- Es sollte eine natürliche bzw. repräsentative Bodenbedeckung vorliegen: Es muß sich um eine relativ ebene Stelle mit typischem natürlichem Bewuchs handeln.



- Die Stelle sollte relativ ungestört sein: Es ist ein Abstand von mindestens 3 m zu Gebäuden, Straßen, Fußwegen, Sportplätzen oder sonstigen Stellen einzuhalten, an denen der Boden möglicherweise verdichtet wurde oder aufgrund früherer Bautätigkeit evtl. nicht mehr seine gewachsene Beschaffenheit aufweist.
- Sonneneinfall: der Standort muß so gewählt sein, daß das frei liegende Bodenprofil von der Sonne beschienen wird. Damit ist gewährleistet, daß sich die Bodencharakteristik sowohl mit dem bloßen Auge als auch fotografisch einwandfrei protokollieren läßt.

## Vorbereiten der Arbeit im Feld

### Behälter zur Dichtebestimmung

Wenn Ihre Schüler Zugang zu einem Trockenofen besitzen, können Sie die Dichte der einzelnen Bodenschichten bestimmen. Besteht diese Möglichkeit nicht, überspringen Sie diesen Abschnitt und fahren Sie mit der Vorbereitung des anderen Materials fort.

Wenn Sie eine Grube ausheben, den Boden in der Nähe der Oberfläche untersuchen, oder anderweitig freigelegte Bodenprofile (Straßenböschung, Baugruben etc.) nutzen:

- Besorgen Sie sich 15 Behälter (ausreichend für 5 Horizonte) oder 3 Behälter, wenn Sie diese Bestimmung nur in Oberflächennähe durchführen.
- Beschriften (Nummerieren) Sie jeden Behälter.
- Bestimmen Sie das genaue Volumen jedes Behälters
  - Füllen Sie den Behälter bis zur Oberkante mit Wasser (soweit wie möglich)
  - Gießen Sie das Wasser in einen Meßzylinder und Lesen sein Volumen in ml (gleich Kubikzentimeter) ab.
  - Tragen Sie das Ergebnis auf dem Datenblatt ein. Das Volumen, des Wassers, welches vom Behälter aufgenommen werden kann, entspricht dem Volumen des Behälters.
- Wenn Sie das Volumen bestimmt haben, versichern Sie sich, daß der Behälter trocken ist und schlagen Sie mit einem Nagel ein kleines Loch in den Boden des Behälters, damit die Luft entweichen kann, wenn Bodensubstanz in den Behälter gepreßt wird.
- Wiegen Sie jeden Behälter.
- Notieren Sie das Gewicht auf dem Datenblatt.
- Jeder Behälter benötigt einen Deckel oder Ähnliches, um ihn zum Transport der Proben vom Feld zum Labor sicher zu verschließen.

Verwenden Sie einen Edelmanbohrer zur Probenentnahme:

1. Besorgen Sie sich 15 Behälter (ausreichend für 5 Horizonte). Beachten Sie bei der Auswahl der Behälter folgende Kriterien:
  - Die Öffnung jedes Behälters sollte so groß sein, daß man die Probe leicht vom Bohrer in den Behälter überführen kann, ohne Bodensubstanz zu verlieren.
  - Die Bodenprobe wird im Ofen getrocknet. Die beste Lösung wäre, den Behälter mit der Probe in den Ofen zum Trocknen zu stellen.
  - Plastiktüten haben zwar eine große Öffnung, aber sie schmelzen, daher müssen die Bodenproben vor dem Trocknen in einen Metall- oder Glasbehälter überführt werden.
  - Das Gesamtgewicht von Probenbehälter und Bodenprobe darf nicht den Meßbereich Ihrer Waage übersteigen.
- Beschriften Sie jeden Behälter.
- Wiegen sie jeden Behälter, in welchem Bodenproben getrocknet werden.



- Notieren Sie das Gewicht auf dem Datenblatt.
- Jeder Behälter benötigt einen Deckel oder Ähnliches, um ihn zum Transport der Proben vom Feld zum Labor sicher zu verschließen.

#### **Vorbereitung von weiterem Material**

Füllen Sie Essigessenz in eine kleine Säureflasche, um damit auf freie Karbonate zu testen.

Füllen Sie Spritzflaschen mit Wasser (das Wasser muß nicht destilliert sein).

Basteln Sie ein Clinometer, sofern Sie dies noch nicht getan haben (siehe Landbedeckung/ Biologie).



## Protokoll: Bodencharakterisierung - Feldarbeit

<p><b>Zweck</b> Beschreibung des Bodens an den gewählten Standorten. Gewinnung zusätzlicher Standortdaten. Sammlung von Bodenproben aus allen Horizonten zwecks späterer Analyse im Klassenzimmer</p> <p><b>Übersicht</b> Dieses Protokoll ist in fünf Aufgaben unterteilt. Die erste Aufgabe ist ein ein Meter tiefes Bodenprofil freizulegen und die einzelnen Horizonte zu bestimmen. Ist dies nicht möglich, kann die Bestimmung ersatzweise an einer Oberflächenprobe aus 10 cm Tiefe durchgeführt werden. Die zweite Aufgabe besteht darin, die Horizonte durch Beobachten von sieben Eigenschaften, zu beschreiben. Anschließend wird die Infiltration bestimmt, um weitere Information über den Meßort zu erhalten. Nehmen Sie Proben für die Dichtebestimmung, die Bestimmung der Korngrößenverteilung, des Boden-pHs und der Bodenfruchtbarkeit. Die letzte Aufgabe besteht darin, die Proben ins Klassenzimmer zu bringen und mit dem Trocknen der Proben zu beginnen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> Vorbereitung: bis zu einer Unterrichtsstunde Ausheben der Grube: Bis zu einem Schultag Bestimmen der Horizonte und Entnahme der Bodenproben: ein bis zwei Unterrichtsstunden Bestimmen des Profils und Probenentnahme mit Edelmannbohrer: ein bis zwei Schulstunden Bestimmung und Probenentnahme der Oberflächenprobe in 10 cm Tiefe: eine Unterrichtsstunde.</p> <p><b>Niveau</b> Alle Schüler</p> <p><b>Häufigkeit</b> einmal an mindestens zwei Meßorten (Meßort für Bodenfeuchte und Biometrie). Jedem Horizont werden drei Proben für die Laboranalyse entnommen.</p>	<p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Bodenhorizont</li><li>- Bodenprofil</li><li>- Farbe</li><li>- Textur</li><li>- Struktur</li><li>- Konsistenz</li><li>- Freie Karbonate</li><li>- Dichte</li><li>- Wurzelverteilung</li><li>- Die Bodenuntersuchungen können durch äußere Faktoren beeinflusst sein. Dazu gehören die Landnutzung, Vegetationsart, Klima, Ausgangsmaterial und Topographie</li><li>- Verfahren der Probenentnahme</li></ul> <p><b>Lernziele</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Beschreibung</i> von Bodenmerkmalen</li><li>- <i>Benutzung</i> eines Neigungsmeßgeräts</li><li>- <i>Beschreibung</i> einer Landschaft</li><li>- <i>Entnahme</i> von Proben</li><li>- <i>Vorbereitung</i> von Proben zur Laboranalyse</li></ul> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Gartenkellen</li><li>- Schaufeln</li><li>- Edelmannbohrer (Spezifikation im "Werkzeugkasten")</li><li>- Wasserflaschen (Spritzflaschen oder gut gespülte Spülmittelflaschen), um den Boden anzufeuchten</li><li>- Plastiktüten, Plane, Brett oder sonstige Oberfläche auf der das Bodenprofil ausgelegt werden kann (Edelmannbohrer)</li><li>- Bodenfarbtabelle</li><li>- kleine Säureflasche mit Essigessenz</li><li>- Behälter zur Dichtebestimmung (oder Probenbehälter, falls die Schule nicht für die Dichtebestimmung ausgestattet ist.</li><li>- Holzblock</li><li>- Hammer</li><li>- Meterstab</li><li>- 20 Nägel oder Dübel, um die Grenzen der Horizonte zu markieren</li><li>- Datenblatt für die Dichtebestimmung</li><li>- Infoblatt für die Bodencharakterisierung</li><li>- Bleistifte</li></ul>
---	--



<ul style="list-style-type: none"><li>- Wasserfeste Filzstifte</li><li>- Schreibunterlage</li><li>- Tücher für die Hände</li><li>- Plastiktüten oder verschließbare Behälter von ca. 1 l Inhalt zum Transport der Proben</li><li>- Eine Rolle Klebeband, um die Behälter zu verschließen</li><li>- Karton, Tasche oder Eimer zum Transport der Bodenproben</li><li>- Clinometer zur Bestimmung des Gefälles (siehe Landbedeckung/Biologie)</li><li>- Kamera mit Farbfilm oder digitale Kamera, um das Profil und die Umgebung zu fotografieren</li><li>- GLOBE Mappe</li></ul>	<p><b>Vorbereitung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Auswahl des Meßortes</li><li>- Einholen der Genehmigung zum Graben</li><li>- Vorbereitung der Behälter zur Dichtebestimmung</li><li>- Geräte und Material zusammenstellen</li></ul> <p><b>Voraussetzung</b></p> <p>Vorausgehende Besprechung über Bodenhorizont, Struktur, Farbe, Konsistenz, Textur, freie Karbonate und Dichte</p>
--	---

### Vorbereitung

Befestigen Sie das Arbeitsblatt für die Bodencharakterisierungsdaten auf der Schreibunterlage (eine Kopie ist ausreichend für sechs Horizonte).

Nehmen Sie das Informationsblatt für die Bodencharakterisierung als Unterstützung für die Bestimmungen aus dem Anhang mit, ebenso die MUC-Tabellen mit den Definitionen (Landbedeckung/Biologie) und die GLOBE-Mappe.

Stellen Sie die Ausrüstung zusammen:

- Geräte zum Graben, je nach Anforderung: (Edelmannbohrer, Schaufel(n), Gartenkelle(n))
- Meterstab oder Maßband
- Nägel, Dübel etc.
- Bodenfarbtabelle
- Spritzflaschen mit Wasser
- Säureflasche mit Essigessenz
- Behälter für die Dichtebestimmung (oder andere Probenbehälter, falls die Schule nicht für die Dichtebestimmungen ausgestattet ist)
- Plastiktüten oder verschließbare Behälter (ca. 1 l Inhalt) zum Transport der Proben
- Clinometer
- Rolle Klebeband, um die Behälter zu verschließen
- Karton, Tasche oder Eimer zum Transport der Bodenproben ins Klassenzimmer
- Handtücher
- Bleistifte
- Wasserfeste Filzstifte
- Kamera
- GPS, wenn verfügbar

Bei Verwendung des Edelmannbohrers benötigen Sie zusätzlich:

- Plastiktüten, Folie, Brett oder andere Oberfläche zum Auslegen des Profils
- Kopien des Arbeitsblatt zur Bestimmung der Dichte (Probenahme mit Edelmannbohrer). Für jeden Horizont wird eine Kopie benötigt. Halten Sie mindestens fünf Kopien bereit.





## Freilegen und Identifizieren der Bodenhorizonte

### Ausheben der Grube

Die Schüler legen das Profil durch Ausheben einer Grube frei.

1. Heben Sie eine ein Meter tiefe Grube aus, die so groß ist, daß das gesamte Profil gut zu erkennen ist. Schütten Sie die Erde jedes Horizonts auf einen separaten Haufen. Nachdem die Bodenproben entnommen wurden, wird die Erde wieder in die Grube gefüllt und zwar in umgekehrter Reihenfolge, d.h. die Erde von der untersten Schicht wird als erstes in die Grube gefüllt.
2. Wenn Sie Hilfe beim Ausheben der Grube brauchen, sprechen Sie Eltern, andere Lehrer, Betreuer etc. an.
3. Lassen Sie die Schüler die der Sonne zugewandte Seite betrachten, damit die Bodeneigenschaften optimal erkennbar sind.
4. Betrachten Sie das Profil von oben nach unten Schicht für Schicht genau, um Veränderungen an der Oberfläche festzustellen.
5. Achten Sie sorgfältig auf Unterscheidungsmerkmale, wie verschiedene Farben, Wurzeln, Größe und Menge der Steine, kleine helle oder dunkle Knöllchen (sog. "Konkretionen"), Würmer und andere Klein- und Kerbtiere, Wurmlöcher bzw. sonstige Auffälligkeiten achten. Ist der Boden sehr trocken, sollten Sie ihn mit der Spritzflasche etwas befeuchten. Dies macht es Ihnen leichter, Farbunterschiede bei den Horizonten zu erkennen.
6. Markieren Sie die Ränder der Horizonte mit einem Nagel, Dübel oder Ähnlichem. Manchmal ist es schwierig die Unterschiede zwischen den einzelnen Horizonten zu erkennen, das die Eigenschaften des gesamten Bodens sehr ähnlich sind. In diesem Falle finden Sie möglicherweise nur wenige, sehr mächtige Horizonte. Notieren Sie so genau wie möglich alle Beobachtungen.
7. Messen Sie die Lage von Ober- und Untergrenze jedes Horizonts in cm genau und notieren Sie die Ergebnisse auf Ihrem Datenblatt.
8. Beschreiben Sie sehr dünne Schichten (< 3cm zwischen Ober- und Unterkante) nicht als eigenständigen Horizont, sondern fassen sie mit der darüber- oder darunter liegenden Schicht zusammen. Diese Schichten sollten Sie aber in der GLOBE Mappe vermerken. Schüler, welche die Horizonte mit Buchstaben, so wie in der Einführung beschrieben, benennen wollen, können dies gerne tun.
9. Fahren Sie damit fort, die Eigenschaften jedes einzelnen Horizonts zu bestimmen. Führen Sie die Charakterisierung so bald wie möglich nach dem Ausheben der Grube durch.
10. Nachdem dieses Protokoll durchgeführt wurde, sollen die Schüler die Grube mit dem ursprünglichen Boden auffüllen. Gibt es didaktische oder andere Gründe, warum die Grube nicht sofort wieder aufgefüllt werden sollte, sichern Sie die Grube ab.

### Bereits freigelegte Bodenprofile (Straßenböschungen, Baugruben etc.)

1. Holen Sie sich für die Entnahme der Bodenproben von Straßenböschungen, Baugruben oder anderen freigelegten Profilen, die Genehmigung ein. Halten Sie alle geforderten Sicherheitsvorkehrungen ein.
2. Tragen Sie mit der Kante einer Gartenkelle oder anderem Gerät die oberste Schicht ab, um eine frische Oberfläche freizulegen.
3. Führen Sie die Schritte 4-10 des vorhergehenden Abschnitts (Ausheben der Grube) durch.

### Verwenden eines Bohrers



Mit diesem Verfahren stellen die Schüler das vertikale Bodenprofil horizontal (am Boden) nach. Versichern Sie sich, daß Sie einen für den Meßort geeigneten Bohrhaken verwenden (siehe "Werkzeugkasten").

1. Suchen Sie einen Bereich, in dem Sie vier Löcher bohren können und die Profile einander ähnlich sind.
2. Breiten Sie eine Plastikfolie, -plane, Brett oder anderes auf dem Boden, neben der Stelle aus, an der Sie bohren wollen.
3. Stellen Sie ein Profil des obersten Meter Bodens zusammen. Entnehmen Sie Bohrkern für Bohrkern und legen Sie diese auf dem Boden aneinander grenzend nebeneinander:
  - Drehen Sie den Haken eine ganze Umdrehung (360°) in den Boden.
  - Nehmen Sie den Haken mit dem Bohrkern aus dem Loch.
  - Halten Sie den Bohrer über die Folie, Plane oder das Brett.
  - Übertragen Sie die Probe aus dem Bohrer auf die Folie, Plane oder das Brett. Setzen Sie die Oberkante des Kerns unter die Unterkante des vorhergehenden.
  - Messen Sie die Tiefe des Bohrlochs. Rücken Sie den Bohrkern so zurecht, daß der Abstand zwischen der Unterkante des Kerns und der Oberkante des Profils nicht größer ist als seine Tiefe des Bohrloches.
4. Betrachten Sie das Profil genau von seiner Oberkante bis zum unteren Ende und versuchen Sie Veränderungen zu erkennen.
5. Achten Sie genau auf alle Unterscheidungsmerkmale wie Farben, Wurzeln, Größe und Anzahl der Steine, kleine helle oder dunkle Knöllchen (sog. "Konkretionen"), Würmer und andere Klein- und Kerbtiere, Wurmlöcher bzw. sonstige Auffälligkeiten.
6. Markieren Sie all diese Veränderungen oder Grenzen mit einem Nagel, Dübel etc. in das nach gebaute Profil. Manchmal ist es schwierig die Unterschiede zwischen den einzelnen Horizonten zu erkennen, da die Eigenschaften des gesamten Bodens sehr ähnlich sind. In diesem Falle finden Sie möglicherweise nur wenige, sehr mächtige Horizonte. Notieren Sie so genau wie möglich alle Beobachtungen.
7. Messen Sie die Lage von Ober- und Untergrenze jedes Horizonts in cm genau und notieren Sie die Ergebnisse auf Ihrem Datenblatt.
8. Beschreiben Sie sehr dünne Schichten (< 3cm zwischen Ober- und Unterkante) nicht als eigenständigen Horizont, sondern fassen sie mit der darüber- oder darunter liegenden Schicht zusammen. Diese Schichten sollten Sie aber in der GLOBE Mappe vermerken. Schüler, welche die Horizonte mit Buchstaben, so wie in der Einführung beschrieben, benennen wollen, können dies gerne tun.
9. Fahren Sie damit fort, die Eigenschaften jedes einzelnen Horizonts zu bestimmen. Führen Sie die Charakterisierung so bald wie möglich nach dem Bohren des Profils durch.
10. Nachdem dieses Protokoll durchgeführt wurde, sollen die Schüler das Bohrloch mit dem ursprünglichen Boden auffüllen.

### **Oberflächenprobe**

1. Es gibt Randbedingungen unter denen es Ihnen nicht möglich ist, ein Profil von ein Meter Tiefe freizulegen. In solchen Fällen können Sie wahlweise eine Bodenprobe von der Oberfläche (10 cm Tiefe) als Beispiel für einen Horizont verwenden.
2. Entfernen Sie mit einer Gartenkelle oder Schaufel vorsichtig die oberen 10 cm eines kleinen Bereichs und legen die Erde auf den Boden.
3. Behandeln Sie diese Probe wie einen Horizont und führen Sie die Bestimmung sämtlicher Eigenschaften durch.



## Beobachten und Bestimmen von Bodeneigenschaften

Für jeden erkannten Horizont sollen folgende Merkmale erfaßt, auf dem Datenblatt festgehalten und an den GLOBE Datenserver übermittelt werden.

**vAnmerkung:** Das Untersuchen der Merkmale soll in der vorgegebenen Reihenfolge durchgeführt werden.

### 1. Struktur des Bodens

Nehmen Sie ein Stück unberührten Bodens in Ihre Hand (aus der Grube, von der Schaufel oder aus dem Bohrer). Betrachten Sie die Erde in Ihrer Hand genau und untersuchen Sie ihre Struktur. Als Bodenstruktur bezeichnet man die Form, die der Boden aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften einnimmt. Jede Einheit der natürlichen Bodenstruktur wird als Aggregat oder im Englischen als "ped" bezeichnet. Mögliche Formen sind Brocken, Blöcke, Platten, Säulen, Prismen, wie in den Abb. SOIL-P-1 bis 5 dargestellt.

Manchmal kann der Boden auch keine Struktur ausweisen, was bedeutet, daß die Erdklumpen in einem Horizont keine besondere Struktur haben. In solchen Fällen wird die Struktur entweder als körnig oder massiv bezeichnet. Körnig entspricht Sand am Strand oder Spielplatz. Die einzelnen Körner hängen nicht aneinander. Massiv ist ein Boden dann, wenn die Substanz als große

Masse zusammenklebt und ohne Struktur zerbricht. Solche Bedingungen werden normalerweise in C-Horizonten gefunden, die Horizonte, bei denen das Ausgangsmaterial am wenigsten verändert wurde. Da das Ausgangsmaterial bislang noch nicht verwittert ist, konnte sich keine Struktur entwickeln. Es ist nicht ungewöhnlich, mehr als einen Strukturtyp in einer Bodenprobe zu finden. Die Schüler sollen jedoch nur den Strukturtyp notieren, der in der Probe vorherrscht. Sie sollten die auftretenden Strukturtypen miteinander diskutieren und sich über die Formen einigen. Liegt keine Struktur in der Probe vor, notieren Sie entweder körnig oder massiv.

Abb. SOIL-P-1: Blöcke

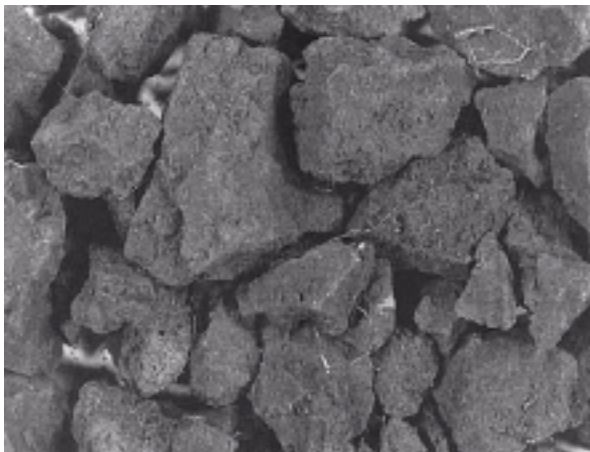


Abb. SOIL-P-2: Säulen



Abb. SOIL-P-3: Krümel

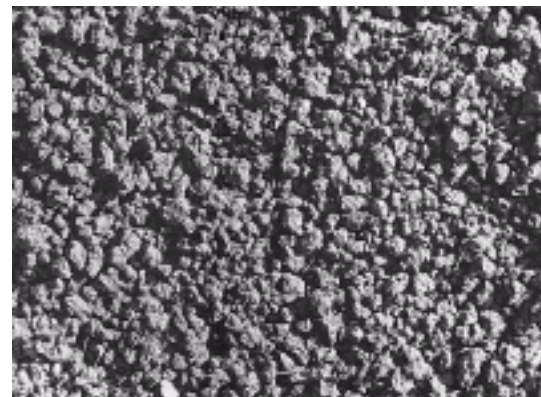




Abb. SOIL-P-4: Platten



Abb. SOIL-P-5: Prismen



## 2. Bodenfarbe

Nehmen Sie einen Klumpen vom Horizont und notieren Sie, ob er feucht, trocken oder naß ist. Ist die Probe trocken, befeuchten Sie diese etwas mit Wasser aus der Spritzflasche. Brechen Sie den Klumpen entzwei und halten ihn neben die Farbtabelle. Suchen Sie die Farbe, die mit der Farbe auf der Innenseite des Klumpens am besten übereinstimmt. Stellen Sie sich dazu mit dem Rücken zur Sonne, damit das Sonnenlicht auf die Farbtafel und die Bodenprobe fällt. Notieren Sie Ihr Ergebnis auf dem Datenblatt.

Manchmal kann eine Probe mehr als eine Farbe aufzeigen. Notieren Sie bis zu zwei Farben, sofern nötig und geben Sie die Hauptfarbe (1) und die zweite dominante Farbe (2) als weitere Farbe an. Alle Schüler sollten sich auf eine Farbe einigen.

## 3. Bodenkonsistenz

Nehmen Sie einen Klumpen vom Bodenhorizont. Notieren Sie auf dem Datenblatt, ob er feucht, trocken oder naß ist. Wenn der Boden sehr trocken ist, befeuchten Sie die Oberfläche mit dem Wasser aus der Spritzflasche und nehmen Sie dann ein Stück zur Bestimmung der Konsistenz aus dem Horizont. Halten Sie den Klumpen zwischen Daumen und Zeigefinger. Drücken Sie vorsichtig bis er zerspringt oder auseinander bricht. Notieren Sie eine der folgenden Möglichkeiten auf dem Datenblatt.

**Locker (loose):** Die Probe zerfällt ohne Zutun

**Bröckelig (friable):** Die Probe bricht bei leichtem Druck auseinander

**Fest (firm):** Die Probe bricht, wenn starker Druck auf sie ausgeübt wird

**Sehr fest (extremely firm):** Die Probe kann nicht mit den Fingern zerdrückt werden (Sie benötigen einen Hammer)

## 4. Textur

Die Textur einer Bodenprobe beschreibt die Menge an Sand, Schluff und Ton. Die Kombination dieser Komponenten bestimmt, wie sich eine Bodenprobe "anfühlt", wenn Sie diese zwischen den Fingern zerreiben. Die Textur unterscheidet sich nach der Menge von Sand, Schluff und Ton in der Bodenprobe. Sandteilchen sind die größten mit bis zu 2 mm, während die Tonpartikel kleiner als 0.002 mm sind. Partikel, die größer als 2 mm sind, werden als Steine oder Kies bezeichnet und



werden nicht zur Bodensubstanz gerechnet. Auch wenn die Unterschiede zwischen Sand, Schluff und Ton gering sind, sie können Sie fühlen und jedes hat seine eigenen Merkmale. Sand fühlt sich grobkörnig, Schluff fühlt sich weich und Ton klebrig an. Üblicherweise findet man in einer Bodenprobe eine Kombination dieser Partikel. Die Wissenschaftler verwenden Diagramme, Texturdreiecke, die helfen, den Anteil von Sand, Schluff und Ton im Boden zu bestimmen. Verwenden Sie die Texturdreiecke 1 und 2, die Ihnen helfen nach folgender Anleitung die Textur der Bodenproben zu bestimmen.

4.1 Nehmen Sie eine Probe von der Größe eines Eies und fügen Sie ausreichend Wasser hinzu. Drücken Sie die Probe zwischen Daumen und Zeigefinger und versuchen Sie eine "Wurst" zu formen.

4.2 Fühlt sich die Probe sehr klebrig (klebt an den Händen und ist schwer zu bearbeiten), hart an und es ist nötig starken Druck aufzuwenden, um die Wurst zu formen, besteht die Probe hauptsächlich aus Tonpartikeln. Klassifizieren Sie sie in diesem Fall als Ton (siehe Diagramm 1).

4.3 Ist die Probe zwar klebrig, lässt sich aber leichter kneten, enthält sie vermutlich weniger Tonpartikel. Klassifizieren Sie sie als toniger Lehm.

4.4 Ist die Probe weich und glatt, leicht zu kneten und fast gar nicht klebrig, bezeichnen Sie sie als Lehm.

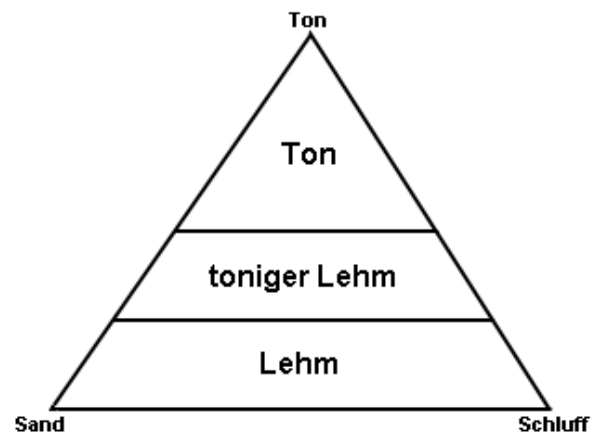
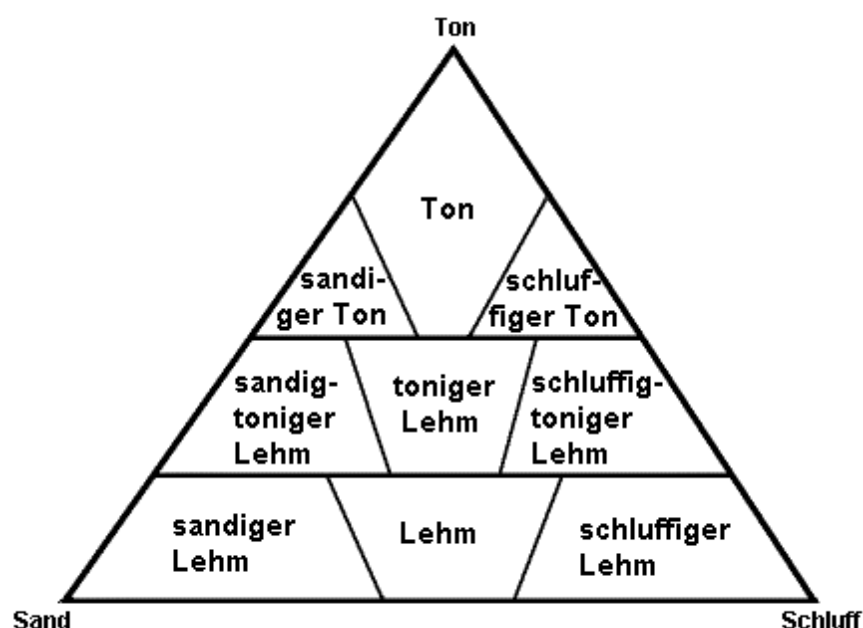


Abb. SOIL-P-6: Texturdreieck 1

Nachdem die Unterteilung in Ton, toniger Lehm und Lehm erfolgt ist, wird diese Klassifizierung verfeinert, abhängig vom Anteil an Sand und Schluff.





- 4.5 Fühlt sich die Probe sehr glatt an ohne Anzeichen von Sandkörnern, fügen sie das Wort "Schluff" oder "schluffig" hinzu. Wie z.B. "schluffiger Ton" oder "schluffiger Lehm" (siehe Diagramm 2). Das bedeutet, in der Probe gibt es mehr Schluffteilchen als Sandteilchen.
- 4.6 Fühlt sich die Probe sehr körnig an, fügen Sie den Begriff "sandig" hinzu, wie z.B. "sandiger Ton". Das heißt, daß die Probe mehr Sand- als Schluffpartikel enthält.
- 4.7 Ist die Probe weder sehr körnig noch sehr glatt, auch wenn Sie etwas Sand fühlen können, lassen Sie die Klassifikation nach dem Diagramm 1 unverändert. Es bedeutet, daß die Probe etwa den gleichen Anteil an Sand- und Schluffpartikeln aufweist und im Falle von Ton können es wenige oder gar keine sein.

**Anmerkung:** Wenn Sie die Knetprobe durchführen, achten Sie darauf, immer möglichst die gleiche Menge Wasser zu verwenden, damit Sie die Proben besser vergleichen können. Die Textur kann sich abhängig von der Wassermenge unterschiedlich anfühlen. Auch der Anteil an organischem Material kann die Probe anders anfühlen lassen. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, daß je dunkler die Probe ist, desto höher ist der organische Anteil.

- 4.8 Notieren Sie auf Ihrem Arbeitsblatt die Bodentextur, der alle Schüler zugestimmt haben. Fügen Sie auch hinzu, ob die Probe trocken, naß oder feucht war und ob viel organisches Material enthalten war (z.B. wenn es eine Probe nahe der Oberfläche war und sehr dunkle Farbe zeigte).

## 5. Anwesenheit von Wurzeln

Untersuchen Sie sorgfältig, ob keine, wenig oder viele Wurzeln im Horizont zu finden sind.

## 6. Anwesenheit von Steinen

Beobachten und notieren Sie, ob keine, wenige oder viele Steine oder Bruchstücke von Steinen im Horizont vorhanden sind. Darunter fallen die Partikel, die größer als 2 mm sind.

## 7. Test auf freie Karbonate

Der Test wird mit Essigessenz, welche auf die Probe gegeben wird, durchgeführt. Sind Karbonate vorhanden, tritt eine chemische Reaktion zwischen dem Essig und den Karbonaten ein und es entsteht Kohlendioxid. Wenn Kohlendioxid entsteht bilden sich Blasen oder die Probe schäumt auf. Je mehr Karbonate vorhanden sind, desto heftiger ist diese Reaktion.

- 7.1 Betrachten Sie sorgfältig das Bodenprofil, ob Bodenpartikel oder Steine mit einem weißen Film überzogen sind. Dies ließe auf die Anwesenheit von freien Karbonaten schließen.
- 7.2 Nehmen sie für den Test eine kleine Menge von der Oberfläche des Profils oder aus dem Bohrloch nahe der Oberfläche, aber berühren Sie diese nicht mit den Händen.
- 7.3 Nach dem die anderen Bodenmerkmale untersucht worden sind, testen Sie auf freies Karbonat. Öffnen Sie die Säureflasche und geben Sie Essig auf die Bodenpartikel in dem Sie sich im Profil von unten nach oben bewegen. Beobachten Sie sorgfältig, ob sich Blasen bilden.
- 7.4 Notieren Sie für jeden Horizont eine der folgenden Möglichkeiten:

**Keine:** Sie beobachten keine Reaktion. Es sind keine Karbonate vorhanden.

**Leicht:** Sie beobachten eine geringfügige Blasenbildung; dies deutet darauf hin, daß etwas Karbonat vorhanden ist.

**Stark:** Es tritt eine starke Reaktion ein (viele große Bläschen). Dies zeigt an, daß viele Karbonate vorhanden sind.

- 7.5 Bringen Sie keine mit Essig behandelten Proben ins Klassenzimmer.



## Gewinnung zusätzlicher Standortinformationen

Wenn Sie die Bodencharakterisierung im Feld vornehmen oder innerhalb von wenigen Monaten sollten Sie sich die Zeit nehmen weitere Details über den Meßort aufzunehmen:

1. Bestimmen Sie die geographischen Koordinaten mittels GPS.
2. Führen Sie das Protokoll "Infiltration" an drei Stellen in der Nähe der Grube oder des Bohrloches, der Stelle für die Oberflächenprobe, über der Straßenböschung oder anderen Aushebungen durch. Es reicht, wenn Sie die Infiltration an einem Tag bestimmen. Die Tage, an denen die Proben entnommen werden, eignen sich am besten dafür.
3. Fotografieren Sie das Bodenprofil, wie bereits beschrieben. Dies sollte an dem Tag geschehen, an dem Sie die Messungen im Feld vornehmen. Haben die Schüler eine Grube ausgehoben oder ein bereits freigelegtes Bodenprofil verwendet, halten Sie ein Maßband oder einen Meterstab an das Profil, so daß die Nullmarke mit der Oberkante des Profils übereinstimmt. Der Fotograf sollte außerhalb der Grube und wenn möglich mit dem Rücken zur Sonne stehen, damit das Sonnenlicht auf das freigelegte Bodenprofil fällt.  
Wurde das Profil durch Bohrkerne zusammengestellt, fotografieren Sie das auf Papier oder einem Brett ausgelegte Profil. Markieren Sie wiederum den Beginn oder das Ende der Bodenschicht mit der Nullmarke des Maßbandes oder Meterstabs. Achten Sie auch hier darauf, daß der Fotograf die Sonne im Rücken hat. In allen Fällen sollten Sie zusätzlich Fotos von der Umgebung des Meßortes machen. Schicken Sie Abzüge der Fotos an das GLOBE Datenarchiv an die im Einführungskapitel genannten Adresse. Falls die Fotografien mit einer digitalen Kamera durchgeführt wurden, können Sie die Bilder elektronisch an das GLOBE Datenarchiv schicken.
4. Mit Hilfe des Neigungsmessers (Landbedeckung/Biologie) ist das Gefälle des Geländes am Meßort zu ermitteln. Diese Angabe muß ebenfalls auf dem Datenblatt zur Bodencharakterisierung eingetragen werden.
  - 4.1 Suchen Sie zwei Schüler aus, deren Augen in etwa der gleichen Höhe liegen, um das Gefälle zu bestimmen.
  - 4.2 Messen Sie die stärkste Neigung am Meßort.
  - 4.3 Der Schüler steht mit dem Clinometer bergaufwärts gerichtet. Der zweite Schüler begibt sich auf die andere Seite des Aushubs.
  - 4.4 Der eine Schüler peilt mit dem Clinometer die Augen des zweiten Schüler an.
  - 4.5 Der Winkel wird in Grad abgelesen und auf dem Datenblatt notiert.
5. Messen und notieren Sie den Abstand zu allen markanten Umgebungspunkten (Gebäude, Strommasten, Straßen usw.)
6. Auch sonstige Besonderheiten des Standorts sind einzutragen.  
(Die nachstehenden Daten werden momentan nicht an GLOBE übermittelt, eignen sich jedoch zur Abspeicherung in einer schuleigenen Datenbank).

### Sie könnten sich folgende Fragen stellen:

- Welche Tier- und Pflanzenarten wurden in der Grube sowie der Umgebung des Untersuchungsstelle vorgefunden? (Auch kleine Lebewesen wie z.B. Erdwürmer, Ameisen usw. vermerken).
- Aus welchem Ausgangsmaterial hat sich der Boden am Standort gebildet? Wenn er aus Grundgestein entstanden ist: um welche Gesteinsart handelt es sich dabei (dies läßt sich z.B. an Gesteinsstücken an der Bodenoberfläche ermitteln). Welche Einflüsse waren für die Ablagerung dieses Bodens maßgeblich (z.B. Wasser, Wind, Gletscher- oder Vulkantätigkeit)? Erforderlichenfalls entnehmen Sie weitere Daten zur Bodengeologie des Standortes aus lokalen Büchereien.



- Wie läßt sich die Lage des Meßortes beschreiben? Liegt dieser auf einem Hügel, an einem Abhang oder am Fuße einer Erhebung? Befindet er sich im Bereich eines Flußufers oder mitten in einer ausgedehnten Ebene?
  - Welche allgemeinen Witterungsbedingungen herrschen am Untersuchungsstandort (sonnig, schattig, heiß, kalt, feucht, trocken)?
  - Wie wurde dieses Gelände in jüngster Zeit genutzt? Handelt es sich um lange unberührtes Gebiet oder haben dort vor kurzem menschliche Eingriffe stattgefunden (Pflügen, Baumbeschnitt, Bautätigkeit o.ä.)?
7. Notieren Sie alle Ergebnisse auf dem Datenblatt zur Bodencharakterisierung. Informationen über den Meßort und die Art der Datenbestimmung (häufig als Metadaten - Zusatzinformation bezeichnet) sollten Sie fortlaufend in Ihrer GLOBE-Mappe notieren und mit dem Datenblatt zusammen abgeheftet werden. Sie müssen all diese Information nicht über den Datenserver eingeben, sie ist aber für die Wissenschaftler und andere, die auf die Daten zurückgreifen wollen eine große Hilfe. Jeder Meßort muß auf dem Server beschrieben werden, bevor die darauf bezogenen Daten eingegeben werden können. Anfangs reicht die Information, wie der Meßort bezeichnet wird, an welchem Tag die Beobachtungen durchgeführt und die Proben genommen wurden. Im Laufe der Zeit werden Sie mehr Informationen über den Meßort sammeln. Diese Daten können nachträglich auf dem Datenserver unter "Bearbeiten der Meßortangaben" hinzugefügt werden.

### **Sammeln der Bodenproben**

Das Verfahren, wie die Proben entnommen werden ist unterschiedlich und richtet sich danach, wie das Bodenprofil freigelegt wurde.

### **Grube und bereits freigelegte Profile**

#### *Proben für die Dichtebestimmung*

Drücken Sie in jeden Horizont einen Behälter bekannten Volumens. Der Boden sollte feucht sein, damit er zusammenhält und das Verfahren dadurch erleichtert wird. Falls nötig, befeuchten Sie den Boden vorher.

Falls es schwer ist den Behälter in den Boden zu drücken, können Sie einen Hammer oder Ähnliches verwenden. Falls nötig, legen Sie ein Stück Holz auf den Boden des Gefäßes und schlagen mit dem Hammer auf das Holz. Dadurch wird die Kraft der Hammerschläge verteilt und die Gefahr, daß der Behälter dadurch verbogen wird, vermindert.

**Anmerkung:** Es macht nichts, wenn der Behälter sich etwas verbiegt, solange das Volumen dadurch nicht mehr als wenige Prozent verändert wird. Wird das Gefäß zu stark verbogen, weil der Boden zu hart oder steinig ist, sollten Sie die Proben für die Dichtebestimmung mit dem Bohrer nehmen (siehe unten). Drücken Sie den Behälter solange in den Boden, bis Erde durch das kleine Loch am Boden des Gefäßes entweicht. Der Behälter ist dann ganz mit Erde gefüllt.

Verwenden Sie eine Kelle oder Schaufel, um den Behälter aus dem ihn umgebenden Boden zu befreien. Schneiden Sie den Behälter vom Boden an den Kanten ab, so daß die Erde im Behälter, dem Volumen des Behälters entspricht.

1. Verschließen Sie den Behälter mit einem Deckel oder anderem Verschuß und bringen ihn zum Klassenzimmer zurück.
2. Wiederholen Sie das Verfahren, bis Sie 3 Proben zur Dichtebestimmung von jedem Horizont haben.





3. Beschriften Sie die Behälter mit der Bezeichnung des Meßortes, den Namen des Horizonts (oder Buchstaben), Ober- und Untergrenze des Horizonts und der Probennummer (1,2 und 3 für jeden Horizont)
4. Bringen Sie die Proben so bald als möglich aus dem Freien ins Klassenzimmer.
5. Entfernen Sie die Deckel.
6. Wiegen Sie jede Probe im Behälter und notieren das Gewicht der feuchten Probe auf dem Datenblatt.
7. Geben Sie die Proben in den Trockenofen.

*Wenn Sie die Dichte nicht bestimmen:*

1. Graben Sie auf jedem Horizont eine reichlich große Probe aus. Vermeiden Sie den Bereich an der Oberfläche, der zum Testen auf Karbonate verwendet wurde. Vermeiden Sie auch den Boden mit den Händen zu berühren, damit er für die pH-Messungen nicht kontaminiert wird.
2. Geben Sie jede Probe in eine Tüte oder Behälter.
3. Beschriften Sie die Tüten mit der Bezeichnung des Meßortes, der Nummer des Horizonts (oder Buchstaben) und der Ober- und Untergrenze des Horizonts.
4. Bringen Sie die Proben nach drinnen.
5. Breiten Sie die Proben auf jeweils einem Plastikteller oder Zeitungspapier aus, damit sie an der Luft trocknen können.

**Bohrer (Auger/Edelmann)**

Von jedem Horizont werden drei Proben benötigt. Jede wird aus einem neuen Bohrloch entnommen.

*Proben für die Dichtebestimmung*

1. Bohren Sie 1-2 cm über der Obergrenze des Horizonts aus dem Sie die Proben entnehmen wollen.
2. Bestimmen Sie die Tiefe des Bohrlochs.
3. Verwenden Sie den Bohrer, um die Probe aus dem Horizont zu entnehmen. Ist der Horizont schmaler, als die Länge des Bohrkopfes, führen Sie nur eine Teildrehung aus, damit die gesamte Probe nur aus einem Horizont stammt. Drehen Sie den Bohrer niemals weiter als 360°, da sonst der Boden kompaktiert werden könnte.
4. Sobald die Probe entnommen wurde, überführen Sie diese in einen Probenbehälter ohne etwas von der Bodensubstanz zu verlieren. Vermeiden Sie möglichst die Erde anzufassen, um sie nicht mit den natürlichen Ölen auf der Haut zu kontaminieren.
5. Messen Sie Durchmesser und Tiefe des Bohrlochs.
6. Beschriften Sie die Behälter außen mit dem Namen des Horizonts, dem Durchmesser und der Tiefe des Lochs vor und nach der Entnahme der Probe (dies ist nötig um das Volumen der Probe zu bestimmen).
7. Wiederholen Sie die Schritte 1-6 für jeden Horizont im Bodenprofil.
8. Wiederholen Sie dieses Verfahren in verschiedenen Bohrlöchern, welche nebeneinander liegen, so daß Sie je drei Proben für jeden Horizont entnehmen können.
9. Bedecken oder verschließen Sie die Behälter und bringen Sie diese ins Klassenzimmer.
10. Bringen Sie die Proben so bald als möglich nach drinnen.
11. Entfernen Sie die Deckel.
12. Wiegen Sie die Proben im Behälter und notieren Sie das Gewicht der feuchten Probe auf dem Datenblatt.
13. Stellen Sie die Proben in den Trockenofen.



*Wenn Sie die Dichte nicht bestimmen:*

Für jedes Bohrloch gilt:

1. Bohren Sie 1-2 cm über der Obergrenze des Horizonts aus dem Sie die Proben entnehmen wollen.
2. Verwenden Sie den Bohrer, um die Probe aus dem Horizont zu entnehmen. Ist der Horizont schmaler, als die Länge des Bohrkopfes, führen Sie nur eine Teildrehung, damit die gesamte Probe nur aus einem Horizont stammt.
3. Geben Sie die Proben in eine Tüte oder einen Probenbehälter. Vermeiden Sie möglichst, die Erde anzufassen.
4. Beschriften Sie jeden Behälter mit dem Namen des Horizonts und der Ober- und Untergrenze des Horizonts.
5. Führen Sie die Schritte 1-4 für jeden Horizont durch.
6. Bringen Sie die Proben nach drinnen. Breiten Sie die Proben auf jeweils einem Plastikteller oder Zeitungspapier aus, damit sie an der Luft trocknen können.

### **Probenentnahme an der Oberfläche**

*Proben für die Dichtebestimmung*

1. Wählen Sie 3 Stellen in der Nähe des Meßortes für die Bodencharakterisierung.
2. Entfernen Sie Pflanzen und anderes Material von der Oberfläche.
3. Für jede der drei Stellen wird folgendermaßen vorgegangen:
  - 3.1. Drücken Sie den Behälter in den Boden. Der Boden sollte feucht sein, damit die Erde zusammenhält und sich der Behälter leicht in den Boden drücken läßt. Falls nötig, befeuchten Sie den Boden, bevor Sie die Bestimmung durchführen. Lassen Sie das Wasser im Boden versickern, bevor Sie die Probe nehmen. Die Probe sollte feuchten, nicht nassen Boden enthalten. Es gibt keine natürlich nassen Böden, außer mit Wasser gesättigte Böden.
  - 3.2. Drücken Sie den Behälter solange in den Boden, bis Erde durch das kleine Loch am Boden des Gefäßes entweicht. Der Behälter ist dann ganz mit Erde gefüllt.
  - 3.3. Falls es schwer ist den Behälter in den Boden zu drücken, können Sie einen Hammer oder Ähnliches verwenden. Falls nötig, legen Sie ein Stück Holz auf den Boden des Gefäßes und schlagen mit dem Hammer auf das Holz. Dadurch wird die Kraft der Hammerschläge verteilt und die Gefahr, daß der Behälter dadurch verbogen wird, vermindert.
  - 3.4. Verwenden Sie eine Kelle oder Schaufel, um den Behälter aus dem ihn umgebenden Boden zu befreien. Schneiden Sie den Behälter vom Boden an den Kanten ab, so daß die Erde im Behälter, dem Volumen des Behälters entspricht.
  - 3.5. Verschießen Sie den Behälter mit einem Deckel oder anderem Verschuß und bringen ihn zum Klassenzimmer zurück.
  - 3.6. Beschriften Sie die Behälter mit der Bezeichnung des Meßortes, den Namen des Horizonts (oder Buchstaben), Ober- und Untergrenze des Horizonts und der Probennummer (1,2 und 3 für jeden Horizont)
4. Bringen Sie die Proben so bald als möglich aus dem Freien ins Klassenzimmer.
5. Entfernen Sie die Deckel.
6. Wiegen Sie jede Probe im Behälter und notieren das Gewicht der feuchten Probe auf dem Datenblatt.
7. Geben Sie die Proben in den Trockenofen.

*Wenn Sie die Dichte nicht bestimmen:*

1. Graben Sie eine Oberflächenprobe in 10 cm Tiefe aus. Vermeiden Sie den Bereich an der Oberfläche, der zum Testen auf Karbonate verwendet wurde. Vermeiden Sie auch den Boden mit den Händen zu berühren, damit er für die pH-Messungen nicht kontaminiert wird.
2. Geben Sie jede Probe in eine Tüte oder Behälter.



3. Beschriften Sie die Tüten mit der Bezeichnung des Meßortes.
4. Bringen Sie die Proben nach drinnen.
5. Breiten Sie die Proben auf jeweils einem Plastikteller oder Zeitungspapier aus, damit sie an der Luft trocknen können.



## Protokoll: Bodencharakterisierung - Laboranalyse

### **Zweck**

Bestimmen der Bodendichte.  
Bestimmung der Korngrößenverteilung.  
Messung des pH-Werts der gesammelten Bodenproben.  
Bestimmen der Bodenfruchtbarkeit durch Messen der Mengen an Nitrat-Stickstoff, Phosphor und Kalium (N,P,K) im Boden.

### **Übersicht**

Im Klassenzimmer/Labor werden die zur Dichtebestimmung gesammelten Bodenproben von den Schülern im Ofen getrocknet, gewogen, gesiebt, die Steine entfernt und das Gewicht, wie das Volumen der Steine bestimmt. Die gesiebten Proben für die Dichtebestimmung, sowie weitere Proben werden auf ihren pH-Wert, die Bodenfruchtbarkeit (N,P,K) sowie die Korngrößenverteilung untersucht.

### **Zeitaufwand**

Trocknen der Proben: lassen Sie die Proben entweder mindestens 10 Stunden bei 95 - 105°C, 24 Std. bei 75 - 95°C oder zwei Tage an der Luft trocknen (dies bindet keine Unterrichtszeit)

Das Vorbereiten der Dispersionslösung nimmt 10 min Zeit vor dem Unterricht in Anspruch.

Das Dispergieren für die Bestimmung der Korngrößenverteilung, das Sieben der trockenen Proben und das Vervollständigen der Dichtebestimmung nimmt eine Unterrichtsstunde ein.

Die Messungen nach 2 und 12 Minuten für die Korngrößenverteilung, der pH-Wert Bestimmung und der Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit - eine Unterrichtsstunde.  
Der Rest der Messung zur Korngrößenverteilung, Aufräumen und die Daten überprüfen - eine Unterrichtsstunde

### **Niveau**

Bodenfruchtbarkeit (N,P,K) - Mittel bis Fortgeschritten  
Die übrigen Messungen - alle

### **Häufigkeit**

einmal für jeden Horizont  
Drei Proben für jeden Horizont

### **Inhalte**

- Volumen
- Dichte
- Dichte des Bodens
- pH-Wert des Bodens
- Bodenfruchtbarkeit
- Bodennährstoffe
- Chemische Reaktionen
- Spezifisches Gewicht
- Textur

### **Lernziele**

- *Umgang* mit Proben
- *Sieben* von Proben
- *Aufzeichnung* von Daten
- *Bedienung* wissenschaftlicher Geräte
- *Beobachten* von Farben
- *Pipettieren*
- *Messen* des pH-Werts, des spezifischen Gewichts und der Bodenfruchtbarkeit
- *Bestimmen* des relativen Nährstoffgehalts
- *Verwendung* eines Aräometers (Spindel)

### **Hilfsmittel**

Notieren Sie während sämtlicher Messungen die Daten

- Datenblatt für die Dichtebestimmung
- Datenblatt für die Korngrößenverteilung
- Datenblatt für den pH-Wert
- Datenblatt für die Bodenfruchtbarkeit

Zum Trocknen und Sieben der Proben:

- Zeitungspapier oder Plastikteller
- Sieb #10 (2mm Maschen)
- Plastiktüten mit 1 l Inhalt, Gefäße oder Behälter zum Aufbewahren der Proben
- Waage
- Gummihandschuhe

Für die Dichtebestimmung

- Trockenofen oder Mikrowelle
- 100 ml Meßzylinder zur Volumenbestimmung der Steine
- Waage



<p><u>Für die Korngrößenverteilung</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Hammer oder anderes Gerät zum Zerkleinern der Klumpen und Trennen der Teilchen</li><li>– 500 ml Meßzylinder aus Plastik</li><li>– Aräometer (Spindel)</li><li>– Thermometer (benötigt eine glatte Oberfläche ohne Schutz, damit auf diese Weise kein Wasser oder Boden verloren gehen)</li><li>– Löffel oder sonstiges zum Umfüllen des Bodens</li><li>– Löffel oder Rührstab zum Umrühren der Suspension</li><li>– Dispersionslösung (50 g Natriumhexametaphosphat/Liter oder pulverförmiges nicht schäumendes Detergent, welches Natrium und Phosphat enthält)</li><li>– 250 ml oder größere Bechergläser</li><li>– Spritzflaschen, um die Erde aus den Bechergläsern zu waschen</li><li>– Stoppuhr oder Uhr mit Sekundenzeiger</li><li>– Plastikfolie oder anderes Material zum Abdecken der Zylinderöffnung während des Schüttelns.</li><li>– 1 l Flasche für die Dispersionslösung</li></ul>	<p><u>Für die pH-Wert Bestimmung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– drei 100 ml Bechergläser</li><li>– Waage</li><li>– Indikatorpapier, pH-Pen oder -Meter</li><li>– Glasrührstab oder Löffel</li><li>– Destilliertes Wasser</li><li>– 100 ml Meßzylinder zum Abmessen des destillierten Wassers</li></ul> <p><u>Bodenfruchtbarkeit:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– destilliertes Wasser</li><li>– Testbestecke für die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit (N,P,K)</li><li>– Teelöffel</li><li>– Tasse oder Reagenzglasgestell zum Halten der Reagenzgläser</li></ul> <p><u>Für den Bodenabfall:</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Eimer oder große wasserdichte Behälter</li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> Eichen des pH-Meters oder pH-Pens</p> <p><b>Voraussetzung</b> Bodencharakterisierung im Feld</p>
--	---

## Bestimmung der Dichte und Vorbereitung der Proben für weitere Analysen

### Dichte der Bodenprobe

1. Trocknen Sie die Proben in den Behältern. Folgen Sie dabei den Anleitungen, die für das Trocknen der Proben im Protokoll "Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte" beschrieben sind.
2. Wiegen Sie jede trockene Probe im Behälter und notieren das Trockengewicht auf dem Datenblatt.
3. Steine halten kein Wasser und speichern keine Nährstoffe, also tragen Sie nicht zur Dichte des Bodens bei. Um die Dichte in der Probe zu bestimmen, verfahren Sie nach folgender Anleitung (falls keine Steine in Ihrer Probe sind, überspringen Sie diesen Abschnitt):
  - 3.1 Legen Sie ein großes Stück Papier (wie z.B. Zeitungspapier) auf den Tisch und stellen Sie ein Sieb #10 (2mm Maschen) darauf. Schütten Sie eine Probe in das Sieb.
  - 3.2 Ziehen Sie Gummihandschuhe an, um zu verhindern, daß die Probe mit den Säuren auf der Haut verunreinigt wird.
  - 3.3 Drücken Sie vorsichtig das getrocknete Bodenmaterial durch das Sieb. Üben Sie dabei keine Kraft aus, da dies die Maschen des Siebes verbiegen könnte. Die Steine passen nicht durch die Maschen, bleiben also im Sieb zurück. Wenn Sie kein Sieb haben, sortieren Sie die Steine vorsichtig mit den Händen aus.
  - 3.4 Heben Sie jede gesiebte Probe für die weiteren Analysen auf.
  - 3.5 Wiegen Sie die Steine und notieren das Ergebnis auf dem Datenblatt



3.6 Geben Sie 30 ml Wasser in einen 100 ml Meßzylinder. Geben Sie die Steine in das Wasser, ohne daß Wasser verspritzt wird. Lesen Sie das Volumen ab, nachdem die Steine hinzugefügt wurden und notieren Sie diesen Wert, sowie das ursprüngliche Volumen des Wassers auf dem Datenblatt.

Wenn Sie die Steine zugeben und feststellen, daß die Wasserlinie sich der 100 ml Marke nähert, lesen Sie das Volumen ab, leeren den Meßzylinder aus und führen die gleiche Prozedur für die verbleibenden Steine durch. In diesem Fall müssen Sie je die Summe der Wasservolumina mit und ohne Steine bilden.

Die Dichte des Bodenmaterials ( in g/ cm<sup>3</sup>) wird nun für jede Bodenprobe berechnet:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Trockengewicht} - \text{Behältergewicht} - \text{Gewicht der Steine}}{\text{Volumen des Behälters oder Bohrlochvolumen} - \text{Volumen der Steine}}$$

$$\text{Bohrlochvolumen} = \pi \times \left[ \frac{\text{Ø-Bohrloch}}{2} \right]^2 \times [\text{Untergrenze d. Bohrlochs} - \text{Obergrenze d. Bohrlochs}]$$

$$\text{Volumen d. Steine} = \text{Volumen d. Wassers mit Steinen} - \text{Wasservolumen vor Hinzufügen d. Steine}$$

Falls Sie die Volumenbestimmung der Steine in mehreren Schritten durchführen mußten, addieren Sie die berechneten Einzelvolumina für das Gesamtvolumen der Steine

### Sinnvolle Daten

Wenn Sie fertig sind, sollten folgende Ergebnisse auf Ihrem Datenblatt stehen und an den Server mit Hilfe der Dateneingabemasken geschickt werden.:

- Volumen des Probenbehälters (ml) (Grube und Oberflächenproben)
- Gewicht des Behälters (g) (Grube und Oberflächenproben)
- Durchmesser des Bohrlochs (cm) (Bohrer)
- Ober- und Untergrenze des Bohrlochs (cm) (Bohrer)
- Gewicht der Behälter (g) (Bohrer)
- Gewicht der feuchten Bodenprobe mit Behälter (g) (nur für die Bestimmung des Wassergehalts erforderlich)
- Gewicht des getrockneten Bodens mit Behälter (g)
- Gewicht der Steine (g)
- Volumen (oder Summe der Volumina) des Wasser, nach dem die Steine hinzugefügt wurden (ml)

### Berechnen des Wassergehalts:

Schon während der Dichtebestimmung, d.h. wenn Sie das Gewicht der feuchten Bodenprobe mit dem Behälter erhalten, haben Sie bereits alle Informationen, die Sie für die Bestimmung des Wassergehalts der Probe benötigen. Zur Berechnung folgen Sie der Anleitung im Protokoll "*Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte*". Die hier gewonnenen Ergebnisse werden nicht an GLOBE übermittelt; sie dienen nur als Übung und zum Vertiefen des Verständnisses bei den Schülern.



**Wenn Sie keine Dichtebestimmung durchführen:**

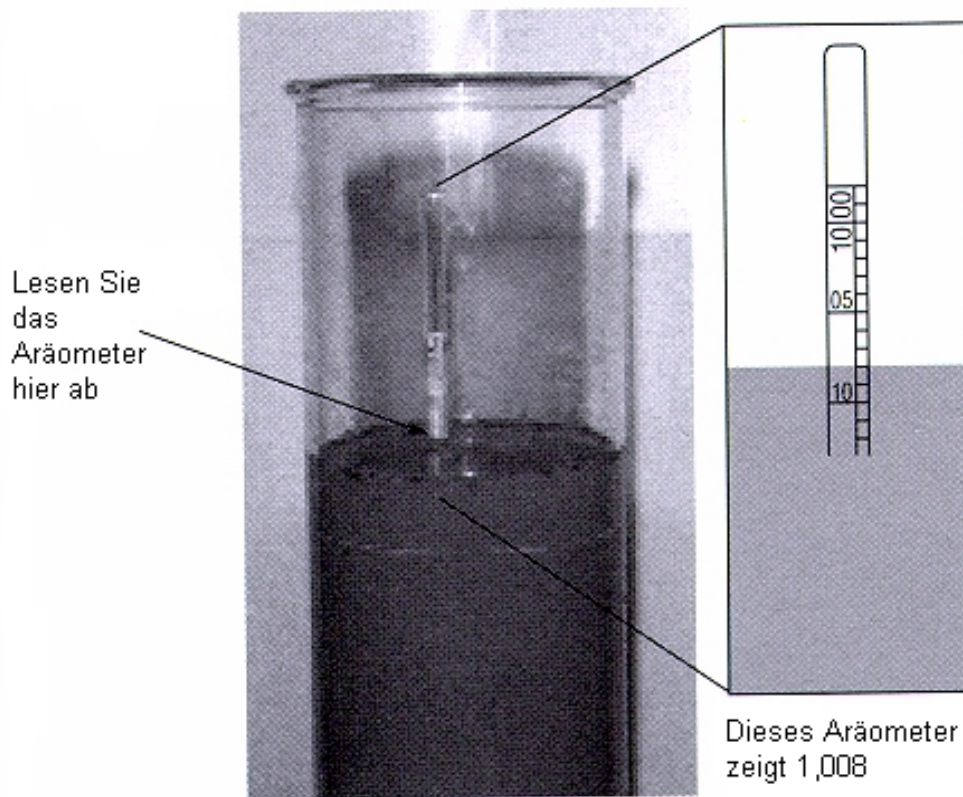
**Vorbereiten der Proben für die Laboranalysen.**

1. Legen Sie ein großes Stück Papier (wie z.B. eine Zeitung) auf den Tisch
2. Stellen Sie einen Sieb #10 (2mm Maschen) darauf.
3. Schütten Sie die Probe in das Sieb. Ziehen Sie Gummihandschuhe an, damit die Säuren auf Ihrer Haut nicht den Boden pH verfälschen.
4. Drücken Sie vorsichtig die getrocknete Bodensubstanz auf das Papier. Wenden Sie dabei keine Kraft an, da dadurch der Draht der Maschen verbogen werden könnte. Steine bleiben im Sieb zurück. Entfernen Sie die Steine (und sonstige Trümmer) mit der Hand.
5. Überführen Sie getrocknete Bodensubstanz ohne Steine, die sich unter dem Sieb befindet in eine saubere, trockene Plastiktüte oder einen Behälter
6. Verschließen Sie den Behälter und beschriften ihn wie im Feld durchgeführt (Name des Horizonts, Ober- und Untergrenze des Horizonts, Datum, Bezeichnung des Meßortes). Diese Bodensubstanz wird für die weiteren Laboranalysen verwendet.
7. Verwaren Sie die Proben bis zu ihrer weiteren Verwendung, an einem sicheren, trockenen Ort.

**Bestimmen der Korngrößenverteilung**

Diese Bestimmung wird drei Mal durchgeführt. Alle Daten werden stets im Datenblatt festgehalten.

1. Bereiten Sie eine Dispersionslösung vor. Mischen Sie 50 g Natriumhexametaphosphat in 1 Liter destilliertes Wasser. Rühren Sie solange, bis sich der gesamte Feststoff gelöst hat.
2. Nachdem die Bodenproben getrocknet (Trockenschrank, 105 Grad Celsius, > 10 Stunden; Anleitung s. auch *Teacher's Guide*, Kap. "Boden", Protokoll 15) und gesiebt wurden, brechen Sie die evtl. noch vorhandenen großen Stücke mit einem Hammer auf.
3. Wiegen Sie 25 g der getrockneten und gesiebten Bodenprobe in ein 250 ml Becherglas ein. Geben Sie zusätzlich 100 ml Dispersionslösung und 50 ml destilliertes Wasser in das Becherglas. Rühren Sie ca. eine Minute lang kräftig mit dem Rührstab um. Versichern Sie sich, daß Lösung und Boden gut vermischt sind und sich nichts am Gefäßboden festgesetzt hat. Achten Sie darauf, nichts von der Suspension zu verspritzen.
4. Wenn Boden und Dispersionslösung gut vermischt sind, spülen Sie Bodenpartikel vom Rührstab mit destilliertem Wasser ins Becherglas. Stellen Sie das Becherglas an einen sicheren Ort und lassen Sie die Suspension sich ca. 24 Stunden absetzen (kann auch über das Wochenende sein).
5. Während die Suspension steht, messen Sie mit einem Lineal oder Meterstab den Abstand vom Boden des Meßzylinders bis zur 500 ml Marke. Sehen Sie auch nach, bei welcher Temperatur das Aräometer geeicht wurde (z.B. 15.6°C oder 20°C). Dies steht irgendwo auf dem Aräometer. Notieren Sie beide Angaben auf dem Datenblatt.
6. Nach ca. 24 Stunden wird die Suspension im Becherglas nochmals aufgerührt und in den 500 ml Meßzylinder geschüttet.
7. Waschen Sie mit Hilfe der Spritzflasche alle Reste aus dem Becherglas in den Meßzylinder.
8. Füllen Sie den Meßzylinder mit destilliertem Wasser bis zur 500 ml Marke auf.
9. Verschließen Sie die Öffnung des Zylinders möglichst dicht mit Hilfe einer Frischhaltefolie oder eines Pfropfens.
10. Mischen Sie die Suspension kräftig, in dem Sie den Zylinder mindestens 10 mal auf den Kopf stellen. Achten Sie darauf, daß nichts am Boden des Zylinders klebt, sondern die gesamte Bodenprobe mit der Lösung gemischt ist. Achten Sie auch darauf, daß nichts von der Lösung aus der Öffnung fließt.



Anmerkung: Der Anstieg des Flüssigkeitsspiegels (über die 500ml-Marke) wird durch die Verdrängung des Aräometers verursacht.

11. Stellen Sie den Zylinder vorsichtig ab und schalten Sie mit der anderen Hand sofort die Stoppuhr ein.
12. Notieren Sie den Zeitpunkt, zu dem der Zylinder abgesetzt wurde auf die Sekunde genau.
13. Senken Sie nach 1 ½ Minuten das Aräometer vorsichtig in die Suspension und beruhigen es (Lassen Sie es nicht hineinfallen).
14. Genau 2 min nachdem der Zylinder abgesetzt wurde, wird das Aräometer abgelesen. Lesen Sie am Boden des Meniskus ab (siehe Protokoll: Salinität).
15. Entfernen Sie das Aräometer, spülen, trocknen es und legen es zur Seite.
16. Tauchen Sie das Thermometer eine Minute lang in die Suspension.
17. Lesen Sie die Temperatur ab und notieren Sie diese auf dem Datenblatt.
18. Spülen Sie das Thermometer und trocknen es.
19. Lassen Sie die Suspension sich ungestört absetzen.
20. Führen Sie nach 12 min eine weitere Bestimmung mit dem Aräometer durch. Tauchen Sie das Aräometer 30 sec. bevor Sie ablesen (nach 11 ½ min) vorsichtig ein und lesen nach genau 12 min ab.
21. Messen Sie erneut die Temperatur.
22. Spülen Sie Aräometer und Thermometer ab und trocknen sie.
23. Notieren Sie diese Ergebnisse auf Ihrem Datenblatt.





24. Lassen Sie den Meßzylinder für 24 Stunden an einem ungestörten Ort stehen.

**Bemerkung:** Bitte halten Sie diese 24 Stunden möglichst genau ein.

25. Führen Sie eine weitere Bestimmung mit dem Aräometer durch und messen Sie nochmals die Temperatur.

26. Notieren Sie die Ergebnisse wiederum auf dem Datenblatt.

27. Entsorgen Sie die Suspension in spezielle Behälter. Bitte schütten Sie sie nicht in den Abfluß.

28. Reinigen Sie Aräometer, Thermometer, Bechergläser, Meßzylinder und führen Sie die Bestimmung noch zwei weitere Male durch.

**Bemerkung:** Diese Messungen sind mit erheblichen Wartezeiten verbunden und müssen für jeden Horizont drei Mal durchgeführt werden. Wie viele Tage Sie investieren müssen, hängt vom Umfang Ihrer Ausstattung ab. Nachdem die Probe mit der Dispersionslösung und Wasser gemischt wurde, sollte sie einen Tag lang stehen, bevor Sie mit der Messung fortfahren. Auch nach den ersten beiden Messungen muß die Probe 24 Stunden ungestört stehen. Wenn Ihr Bodenprofil 5 Horizonte hat, muß dies insgesamt 15 Mal geschehen. Wenn Sie nur einen 500 ml Meßzylinder zur Verfügung haben, muß die Bestimmung aller Proben über viele Tage verteilt werden. Wenn Sie mehrere 500 ml Zylinder besitzen, können Sie diesen Prozeß beschleunigen. Ein Aräometer ist ausreichend, um in mindestens 3 Zylindern im Abstand von je drei Minuten zu messen. Grundsätzlich ist jedoch ein 500 ml Zylinder und ein Aräometer ausreichend für das Protokoll "Salinität" und wenn die Schüler die Bodencharakterisierung nur wenige Male über das Schuljahr verteilt durchführen, kann das Aräometer wieder über mehrere Wochen hinweg für die Bestimmung der Korngrößenverteilung verwendet werden. So sparen Sie Kosten für weitere Geräte.

### **pH-Wert-Bestimmung**

#### **Mischen Sie die Bodensubstanz mit destilliertem Wasser**

Führen Sie diese Messungen für jeden Horizont an drei Proben durch.

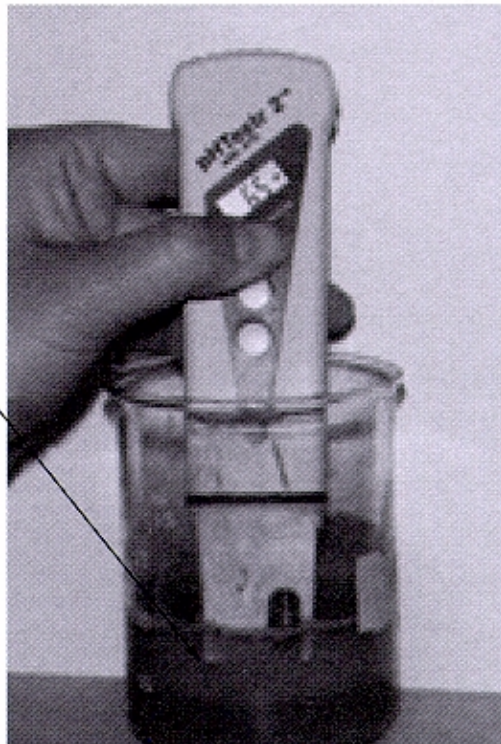
1. Mischen Sie in einer Tasse oder Becherglas getrocknete, gesiebte Erde im Verhältnis 1:1 mit destilliertem Wasser (z.B. vermischen Sie 20g Erde mit 20 ml Wasser oder 50 g Erde mit 50 ml Wasser). Mischen Sie genügend Erde und Wasser, damit Sie die pH-Bestimmung im Überstand (die klare Flüssigkeit über den abgesetzten Bodenpartikeln) durchführen können. Verwenden Sie einen Löffel oder ein anderes Utensil, um den Boden in das Becherglas zu überführen. Bitte machen Sie dies nicht mit den bloßen Händen. Öle und andere Substanzen, die sich auf Ihren Händen befinden, könnten die pH-Messung verfälschen. Rühren Sie mit dem Löffel oder Rührer, bis Boden und Wasser vollständig gemischt sind.
2. Rühren Sie das Boden-Wasser-Gemisch alle drei Minuten über 15 min lang um. Lassen Sie die Mischung nach diesen 15 Minuten stehen, bis sich der Boden abgesetzt und ein klaren Überstand entstanden ist (ca. 5 Minuten)

#### *Indikatorpapier (Anfänger)*

1. Messen Sie in einer Tasse oder Becherglas den pH-Wert des Wassers, welches Sie für die Bestimmung verwenden. Tauchen Sie das Indikatorpapier in das Wasser ein und vergleichen das Farbergebnis mit der Farbkarte (siehe Hydrologie, Protokoll: pH-Wert)
2. Messen Sie den pH-Wert des Überstandes durch Eintauchen des Indikatorpapiers (folgen Sie den Anleitungen für Indikatorpapier im Kapitel Hydrologie)
3. Notieren Sie die Ergebnisse auf dem Datenblatt.



**Tauchen Sie den pH-Pen in die überstehende Flüssigkeit (klare Flüssigkeit über der abgesetzten Erde)**



**Der pH dieser Erde ist 6,5**

*pH- Pen oder pH-Meter (Mittel bis Fortgeschritten):*

1. Das pH-Meßgerät wird mit Pufferlösungen bekannter pH-Werte kalibriert. Hierzu folgen Sie den Anleitungen im Kapitel Hydrologie, Kalibrierung.
2. Bestimmen Sie in einen Becherglas den pH-Wert des Wasser, welches Sie für dieses Protokoll verwenden. Tauchen Sie das Meßgerät in das Wasser ein und lesen den angezeigten Wert ab.
3. Zur Bestimmung des Boden-pHs tauchen Sie die Elektrode des Gerätes in den Überstand (Siehe Abb. SOIL-P-9)
4. Notieren Sie die Ergebnisse auf dem Datenblatt.

## **Messen der Bodenfruchtbarkeit**

*Teil 1: Vorbereitung und Extraktion*

1. Befüllen Sie das Extraktionsröhrchen des Bodentestbestecks bis zur 30 ml Marke mit destilliertem Wasser.
2. Fügen Sie 2 Floc-Ex Tabletten hinzu, verschließen Sie das Röhrchen und schütteln bis sich beide Tabletten aufgelöst haben
3. Entfernen Sie den Verschuß und fügen Sie einen gehäuften Löffel Bodensubstanz (ca. 5ml) hinzu.
4. Verschließen Sie das Röhrchen wieder und schütteln eine Minute lang.
5. Stellen Sie das Röhrchen ab, bis sich die Bodenpartikel abgesetzt haben (gewöhnlich etwa 5 min). Die klare Lösung über dem Boden wird zum Test auf Nitrat-Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) herangezogen.



**Bemerkung:** Bei einigen Böden, insbesondere solchen mit hohem Tonanteil, kann es sein, daß die klare Lösung nicht ausreicht. Wenn Sie mehr klare Lösung benötigen, führen Sie die Schritte 1-5 noch einmal durch.

*Teil 2: Nitrat-Stickstoff (N)*

1. Bringen Sie mit Hilfe der Pipette einen Teil des klaren Überstands in eines der Teströhrchens Ihres Testbesteckes und füllen es bis zur Markierung auf (falls Sie nicht über genügend Lösung verfügen, um bis zur Marke aufzufüllen, wiederholen Sie den Teil 1).
2. Fügen Sie eine der Nitrat WR CTA Tabletten hinzu. Es kann vorkommen, daß die Tablette in kleine Stücke zerbricht. Stellen Sie sicher, daß alle Teile in das Teströhrchen gelangen. Verschließen Sie das Röhrchen und schütteln Sie, bis sich die Tablette aufgelöst hat.
3. Stellen Sie das Röhrchen in einer Tasse oder einem Becherglas ab. Warten Sie etwa 5 min, bis die Farbreaktion eintritt. Warten Sie nicht länger als 10 min.
4. Notieren Sie das Ergebnis (hoch, mittel niedrig, nichts) auf Ihrem Datenblatt.
5. Schütten Sie die Lösung weg und waschen das Röhrchen und die Pipette mit destilliertem Wasser.
6. Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Überstände aller Bodenproben. Achten Sie darauf, daß Röhrchen und Pipette nach jeder Verwendung mit Wasser gereinigt werden.

*Teil 3: Phosphat (P)*

1. Bringen Sie mit einer sauberen Pipette 25 Tropfen des klaren Überstands in ein sauberes Teströhrchen (sofern nicht genügend Lösung vorhanden ist, wiederholen Sie Teil 1)
2. Füllen Sie das Röhrchen bis zur Marke mit destilliertem Wasser auf.
3. Fügen Sie eine Phosphorreagenztablette hinzu und verschließen das Röhrchen. Es kann vorkommen, daß die Tablette in kleine Stücke zerbricht. Stellen Sie sicher, daß alle Teile in das Teströhrchen gelangen. Verschließen Sie das Röhrchen und schütteln Sie, bis sich die Tablette aufgelöst hat.
4. Stellen Sie das Röhrchen in einer Tasse oder Becherglas ab. Warten Sie 5 min, bis die Farbreaktion eintritt. Warten Sie nicht länger als 10 min.
5. Vergleichen Sie die blaue Farbe der Lösung mit der Phosphor-Farbtabelle des Testbesteckes.
6. Notieren Sie das Ergebnis (hoch, mittel niedrig, nichts) auf Ihrem Datenblatt.
7. Schütten Sie die Lösung weg und waschen das Röhrchen und die Pipette mit destilliertem Wasser.
8. Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Überstände aller Bodenproben. Achten Sie darauf, daß Röhrchen und Pipette nach jeder Verwendung mit Wasser gereinigt werden.

*Teil 4: Kalium (K)*

1. Bringen Sie mit Hilfe der Pipette einen Teil des klaren Überstands in eines der Teströhrchens Ihres Testbesteckes und füllen es bis zur Markierung auf (falls Sie nicht über genügend Lösung verfügen, um bis zur Marke aufzufüllen, wiederholen Sie den Teil 1).
2. Fügen Sie eine Kaliumreagenztablette hinzu und verschließen das Röhrchen. Es kann vorkommen, daß die Tablette in kleine Stücke zerbricht. Stellen Sie sicher, daß alle Teile in das Teströhrchen gelangen. Verschließen Sie das Röhrchen und schütteln Sie, bis sich die Tablette aufgelöst hat.
3. Vergleichen Sie die Trübung der Lösung mit der Tabelle des Testbestecks. Halten Sie das Röhrchen über die schwarzen Kästchen der linken Säule und vergleichen Sie Schatten und Trübung mit dem der rechten Säule. Notieren Sie das Ergebnis (hoch mittel, niedrig oder kein) auf dem Datenblatt.
4. Schütten Sie die Lösung weg und waschen das Röhrchen und die Pipette mit destilliertem Wasser.



- 
5. Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Überstände aller Bodenproben. Achten Sie darauf, daß Röhrchen und Pipette nach jeder Verwendung mit Wasser gereinigt werden.

### **Datenübermittlung**

Notieren Sie Ihre Daten für die Bodendichte, Korngrößenverteilung, Boden-pH und Bodenfruchtbarkeit auf den Datenblättern. Zur Beschreibung des vollständigen Profils, kann es sein, daß mehrere Kopien der Datenblätter erforderlich sind. Halten Sie daher zusätzliche Kopien bereit. Heften Sie für ein Bodenprofil sämtliche Arbeitsblätter zusammen. Übermitteln Sie Ihre Ergebnisse dem GLOBE Datenserver.



## Teil 2: Bodenfeuchtigkeit und Bodentemperatur

### Einleitung

Dieser Abschnitt stellt Unterlagen vor, welche für drei Standardprotokolle und einem vierten, wahlweise durchzuführenden Protokoll (fortgeschrittene Schüler) Anwendung finden. Diese Protokolle beziehen sich alle auf Bodenfeuchtigkeit und -temperatur. Am Anfang messen die Schüler die Bodenfeuchtigkeit mit einem einfachen Verfahren. Sie wiegen eine Bodenprobe, lassen sie austrocknen und wiegen sie erneut. Der Gewichtsunterschied entspricht der Feuchtigkeit der Bodenprobe, welche getrocknet wurde. Ein optionales Protokoll für fortgeschrittene Schüler verwendet Gipssensoren und eine Feuchtemeßgerät, an welchem täglich der Wassergehalt abgelesen wird.

Mit Hilfe von zwei neuen Protokollen werden weitere wichtige Bodeneigenschaften bestimmt. Die Geschwindigkeit, mit welcher Wasser im Boden versickert (Infiltration). Dazu werden zwei konzentrische Behälter verwendet. Die Bodentemperatur wird mit Thermometer mit kurzer Sonde (Digital oder Skalenanzeige) gemessen.

### Meßort für diese Bestimmungen

Grundsätzlich sollte der Meßort für die Bodenfeuchtigkeit auf einem offenen Gelände, ohne Belaubung über Kopf und im Umkreis von 100 m des Wetterhäuschens oder ersatzweise einem Pfahl mit Regenmesser liegen. Je nachdem, wie die Probenahme erfolgt (siehe unten), benötigen Sie einen Bereich mit 10 m Durchmesser und nur schwach abfallend, einheitlichen Bodeneigenschaften, natürlicher Bodenfeuchtigkeit und einheitlichem Sonneneinfall. Es ist zweckmäßig die Bodencharakterisierung, Bodentemperatur- und die Infiltrationsmessungen innerhalb des gleichen, homogenen 10 m Bereichs durchzuführen, damit sie in Beziehung zu den Bodenfeuchtigkeitsmessungen gesetzt werden können. Einige Schulen können einen größeren Bereich, 10 m x 60 m, auswählen. Damit werden die oben genannten Kriterien erfüllt, auch wenn Schwankungen bei Gefälle oder anderen Eigenschaften auftreten.

Ihr Meßort für die Bodenfeuchtigkeit sollte:

#### → Unbewässert sein!

Da wir die Reaktion des Bodens auf Sonneneinstrahlung und natürlichem Niederschlag untersuchen wollen, ist es wichtig, daß diese Stelle nicht bewässert wird.

#### → Einheitlich sein!

Die Bodenfeuchtigkeit kann deutlich innerhalb eines kurzen Abstands variieren. Die Herausforderung ist, einen Bereich zu finden, an welchem die Bodenfeuchtigkeit für des Meßort repräsentativ ist. Suchen Sie nach möglichst ebenen Stellen, die einheitliche Bodeneigenschaften und Vegetation besitzen.

#### → Möglichst ungestört sein!

Nehmen Sie die Proben in mindestens drei Meter Entfernung von Gebäuden, Straßen, Wegen, Spielplätzen und andere Stellen, wo der Boden durch menschlichen Einfluß kompaktiert oder stark gestört sein könnte.



### → Sicher zum Graben sein!

Fragen Sie bei den örtlichen Stellen nach um sicher zu gehen, daß Sie kein Kabel, Leitung, Bewässerungsrohr etc. beschädigen oder zerstören. Sie werden nicht tiefer als einen Meter graben.

## Häufigkeit

Bestimmen Sie die Bodenfeuchtigkeit in regelmäßigen Zeitabständen zwölf Mal pro Jahr. Wählen Sie einen Zeitabschnitt aus, in welchem Sie erwarten, daß die Bodenfeuchtigkeit deutliche Veränderungen durchläuft. Wöchentliche Messungen am Anfang der trockenen Jahreszeit wird helfen, Pflanzenwachstum vorherzusagen. Monatliche Beobachtungen über das Jahr verteilt oder alle drei Wochen während des neun- oder zehnmonatigen Schuljahres verschafft den Einblick in wichtige jahreszeitliche Änderungen.

Führen Sie die Bestimmungen immer zur gleichen Tageszeit durch und vermeiden Sie Morgenstunden wegen des Taus. Die Bodenfeuchtigkeit ändert sich langsam, so daß es keine weiteren Anforderungen an die Tageszeit gibt. Wenn Sie alle Messungen zur gleichen Tageszeit durchführen, können Sie sicher sein, daß keine kleinen Tageszyklen, besonders bei den Oberflächenproben, die wöchentlichen oder monatlichen Beobachtungen stören.

Bestimmen Sie die Bodentemperatur einmal pro Woche, am selben Tag und dem selben Ort, wie die Bodenfeuchtemessungen. Mißt Ihre Schule die Bodenfeuchtigkeit nicht, bestimmen Sie die Bodentemperatur im Umkreis von 10 m Ihres Wetterhäuschens. Beachten Sie dabei die Meßanleitung, die Sie unter "Sternförmige Probenentnahme" finden. Wöchentliche Messungen sollten zum Sonnenhöchststand  $\pm 1$  Stunde durchgeführt werden. Alle drei Monate, bevorzugt im März, Juni, September und Dezember, machen Sie bitte Bodentemperaturbestimmungen alle 2-3 Stunden im Laufe eines Tages und auf zwei aufeinander folgenden Tagen. Damit wird die Veränderung der Temperatur im Tagesverlauf gemessen.

Die Bestimmung der Bodeninfiltration werden drei Mal im Verlauf der jährlichen Bodenfeuchtheitsmessungen durchgeführt. Ideal wäre zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Meßperiode und am selben Tag an dem die Bodenfeuchtheitsmessungen erfolgen. Messen Sie die Bodenfeuchtigkeit monatlich, bestimmen Sie die Infiltration einmal pro Jahreszeit.

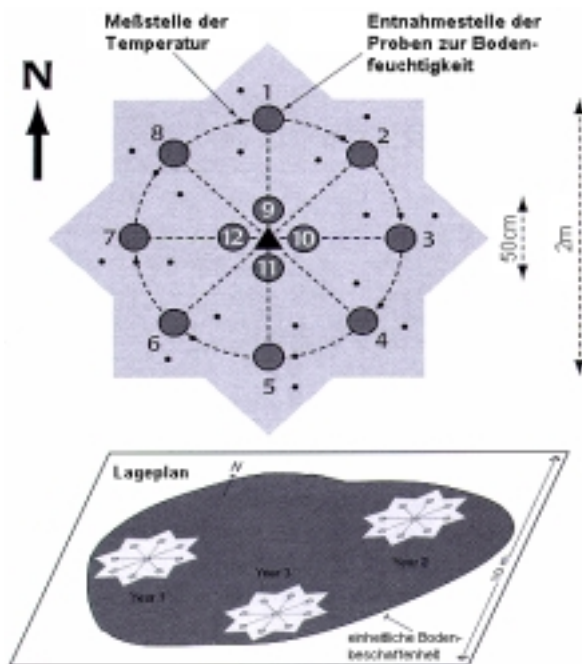


## Probenentnahme und Plan für den Meßort

### Hilfsmittel

- GLOBE-Mappe und Kugelschreiber
- Kompaß und Maßband (10 m lang)
- Lineal (25 cm lang), Meterstab
- Gartenkelle

### Probenentnahme im Sternmuster (6 Behälter)



Die Messungen werden in Form eines Sterns durchgeführt. Die Proben werden jedes Mal an einer anderen Stelle des Sterns entnommen. Die Bodenfeuchteproben kommen aus 0 - 5 cm und 10 cm Tiefe. Jedesmal werden drei Proben entnommen (eine Hauptprobe und zwei zusätzliche Proben im Abstand von 25 cm zur Qualitätskontrolle). Führen Sie die Bestimmung der Bodentemperatur in 5 cm und 10 cm durch, jeweils im Abstand von 25 cm von der Entnahmestelle. Folgen Sie dabei den Anleitungen im Protokoll: Bodentemperatur.

Beschreiben Sie mit Hilfe eines Meterstabs und Kompaß einen einfachen Stern mit 2 Meter Durchmesser. Hierzu ist zunächst ein Mittelpunkt zu markieren, von dem ausgehend dann mit einem Meterstab vier etwa 1 m entfernte Punkte in Nord-, Süd-, Ost- und Westrichtung bestimmt werden.

Abb. SOIL-P-10: Sternförmige Probenentnahme

Danach werden auf einem gedachten Kreis, der diese Punkte verbindet, weitere vier Punkte auf jeweils der Hälfte des Abstandes festgelegt. Auf diese Weise entsteht ein achteckiger Stern. Erforderlichenfalls lassen sich vier weitere Punkte in etwa 25 cm Abstand vom Mittelpunkt auf den Nord-, Süd-, Ost- und Westachsen vorsehen. In jedem Jahr ist ein neuer Mittelpunkt in einem Abstand von 10 m zum Stern des Vorjahres zu markieren. Dort wird dann ein neues Sternmuster gezeichnet. Die Entnahme der sechs oberflächennahen Bodenfeuchtigkeitsproben mittels einer Gartenkelle dürfte etwa 5 - 10 Minuten in Anspruch nehmen.

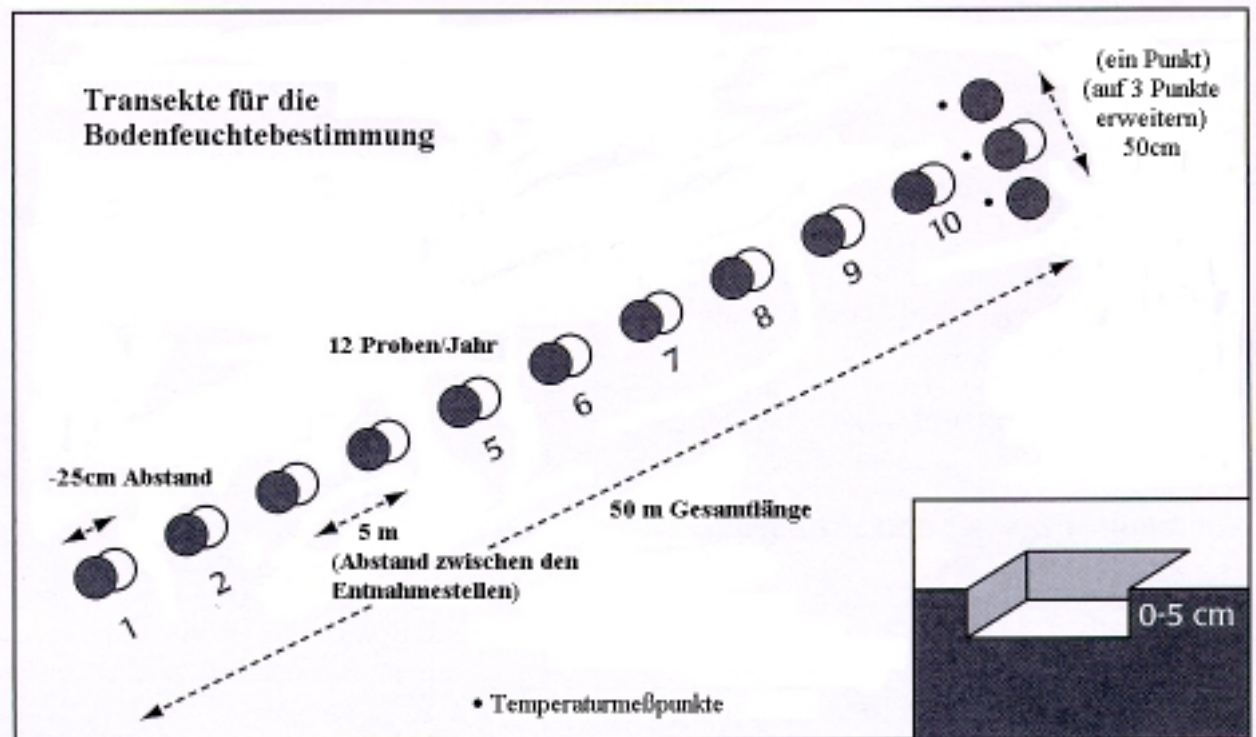
### Probenentnahme entlang einer linearen Meßstrecke/Transekte ( 13 Behälter, 50 m Maßband oder Seil, mit Markierungen alle 5 m)

Schüler, die Zugang zu einem offenen, natürlichen Gelände haben, sollten die Bestimmungen entlang einer linearen Meßstrecke durchführen. Die Proben kommen aus den oberen 5 cm des Bodens. Jedesmal werden dreizehn Proben - zehn reguläre Proben, entlang der Meßstrecke und eine Dreifachprobe (eine Probe entlang der Meßstrecke plus zwei zusätzliche Proben, zur Qualitätskontrolle, im Abstand von 25cm zur ersten) - entnommen. Hierzu ist eine gerade Linie von etwa 50 m Länge (Transekte) auf offenem Gelände, wenn möglich, im Abstand von 100 m von der Regenmeßstelle, festzulegen. Die Schüler entnehmen ihre Bodenfeuchtigkeitsproben in Abständen von jeweils 5 m entlang dieser Linie. Die Enden der Meßstrecke (Transekte) sind

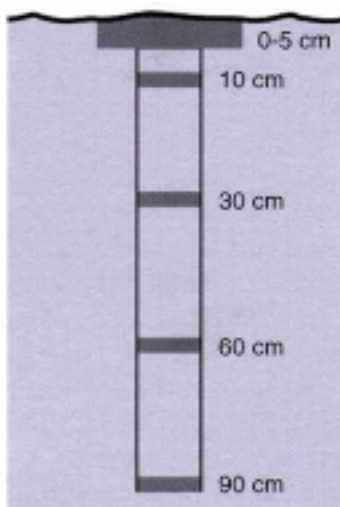


dauerhaft zu markieren, z.B. mit einer Fahne. Das geknotete Seil dient zur Festlegung der Entnahmestellen. Bei der nächsten Probenentnahme sind diese Entnahmestellen dann jeweils um 25 cm zu versetzen, um nicht in den bereits bearbeiteten Bereichen zu graben. Das Anlegen der Transekte und die Probenentnahme dürfte etwa 1 Stunde dauern, vor allem, wenn Hilfsmittel anteilig genutzt werden und die Schüler auch noch weitere Boden- und Geländemerkmale beachten sollen.

Abb. SOIL-P-11:



### Probenentnahme in unterschiedlicher Tiefe (Fünf Behälter, Edelmannbohrer)



Zur Probenentnahme dient wiederum ein Sternmuster. Jedesmal werden die Proben an einer anderen Stelle des Musters entnommen. Die Proben sind für alle fünf Tiefen aus demselben Loch zu gewinnen. Für die Probe in 5 cm Tiefe, verwenden Sie eine Gartenkelle, für die tiefen Entnahmen (in 10, 30, 60 und 90 cm Tiefe) verwenden Sie den Bohrer. Anders als bei den vorher genannten Entnahmetechniken, die nur für offenes Gelände vorgesehen sind, kann diese Methode in offenem Gelände, wie auch bei Laubabdeckung vorgenommen werden, abhängig davon, welche Daten Sie gegenüber stellen möchten (z.B. Vergleich der Bodenfeuchte mit Verdunstung oder Baumwachstum). Erstellen Sie das Sternmuster wie oben beschrieben und ordnen Sie die Bohrlöcher um eine Markierung (Mitte) an. Wenn der Bohrer auf ein Hindernis stößt, ist die Bohrung um 25 cm versetzt zu wiederholen.

Abb. SOIL-P-11





Das Bohren eines 90 cm tiefen Lochs mit Entnahme der jeweiligen Proben dauert je nach Bodenbedingungen etwa 30 - 60 Minuten.

Fortgeschrittene Schüler, die in Bereichen leben, in denen der Boden nicht stark sauer ist, werden aufgefordert das optionale Protokoll: *Bodenfeuchtebestimmung mit Gipsensoren* durchzuführen.



## Protokoll: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit

<p><b>Zweck</b> Gravimetrische Messung des Bodenwassergehalts.</p> <p><b>Übersicht</b> Die Proben zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit werden nach einer der drei beschriebenen Entnahmetechniken gewonnen. In jedem Fall sind folgende Grundschrirte durchzuführen</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Sammlung von Bodenproben.</li><li>2. Wiegen, Trocknen und erneutes Wiegen der Bodenproben.</li><li>3. Datenübermittlung.</li></ol> <p><b>Zeitaufwand</b> Bis zu 15 Minuten für jede Probenentnahme, 15 Minuten für die erste Wägung, 15 Minuten für die zweite Wägung. Die Proben werden über Nacht im Ofen getrocknet.</p> <p><b>Häufigkeit</b> Zwölf Mal pro Jahr in gleichmäßigen Zeitabständen (wöchentlich oder monatlich)</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p> <p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Boden hält Feuchtigkeit</li><li>• Die Bodenfeuchtigkeit ist höher nach Niederschlag. Wie stark die Bodenfeuchtigkeit zunimmt, hängt von vielen Faktoren ab.</li><li>• Die Bodenfeuchtigkeit nimmt unter trockenen, sonnigen Bedingungen ab und die Geschwindigkeit mit welcher der Boden austrocknet hängt wieder von vielen Faktoren ab.</li></ul>	<p><b>Lernziele</b> <i>Entnahme</i> von Bodenproben <i>Umgang</i> mit einer Waage <i>Protokollieren</i> von Ergebnissen</p> <p><b>Hilfsmittel</b> GLOBE-Mappe und Kugelschreiber Arbeitsblätter (Stern und Transekt) Gartenkelle oder geeigneter Bohrer 5-13 Behälter für die Proben (Bodenprobenbehälter, kleine Gläser mit dichtem Verschluß etc.) Beschreibbares Klebeband und Kugelschreiber zur Beschriftung der Behälter Trockenofen Thermometer (geeignet zur Bestimmung von 110°C) Waage mit einer Genauigkeit von 0.1g Topflappen oder Hitzehandschuh, um die Behälter aus dem Ofen zu entnehmen Meterstab</p> <p><b>Vorbereitung</b> Bestimmen des Meßortes Entscheidung über Probenentnahmetechnik und -häufigkeit Zusammentragen der benötigten Materialien</p> <p><b>Voraussetzung</b> Es ist sinnvoll, den Regenmesser in der Nähe installiert und den Meßort für die Bodencharakterisierung in der Nähe des Meßortes für die Bodenfeuchtigkeit zu haben.</p>
--	---

### Vorbereitung

1. Gehen Sie die Anleitungen die Bestimmung des Meßortes und die Entnahmetechnik noch einmal durch.
2. Beschriften Sie alle Probenbehälter eindeutig.
3. Notieren Sie die Lage des Meßortes und die Beschreibung der Stelle.
4. Wählen Sie eine Entnahmestelle aus.



### Ablauf der Probenentnahme: Sternmuster und Transekte

1. Notieren Sie Art der Bodenbedeckung. Handelt es sich um kurzes Gras (< 10 cm), hohes Gras oder nackten Boden? Entfernen Sie etwaige Bodenbedeckung.
2. Graben Sie ein 5,0 cm tiefes Loch von 10 cm Durchmesser. Belassen Sie gelockerten Boden im Loch.
3. Sortieren Sie mehr als Erbsen große (ca. 5 mm) Kiesel und Steine aus. Entfernen Sie auch alle Würmer, Larven und sonstige Tiere.
4. Füllen Sie die Probenbehälter zu etwa 3/4, so daß ungefähr 100 g Material enthalten sind.
5. Numerieren Sie die Behälter und notieren Datum, Uhrzeit, Tiefe und Behälter-Nr. auf dem Datenblatt.

*Für Transekt, die Schritte bis 9 streichen!*

6. Entfernen Sie die Erde bis 8 cm Tiefe.
7. Graben Sie weitere 4 cm tief und belassen Sie die Erde im Bohrloch.
8. Wiederholen Sie die Schritte 3,4 und 5 für diese 4 cm tiefer gelegene Bodenschicht.
9. Schütten Sie das Loch vorsichtig mit überschüssigem Bodenmaterial wieder zu.
10. Verschließen Sie den Behälter dicht und bewahren ihn an einem vor Hitze und Sonnenlicht geschützten Ort auf, um ihn ins Klassenzimmer zurück zu bringen.
11. Bestimmen Sie die Bodentemperatur im Abstand von 25 cm von jeder Probenentnahmestelle in 5 und 10 cm Tiefe. Folgen Sie dabei den Beschreibungen im Protokoll: *Bodentemperatur*.

### Ablauf der Probeentnahme: Proben aus unterschiedlicher Tiefe

1. Nehmen Sie ein Probe von der Oberfläche (5 cm) entsprechend den Schritten 1 -5 im der Beschreibung für die Entnahme im Sternmuster und entlang der Transekte.
2. Bohren Sie das Loch bis knapp unter die erste Solltiefe (10 cm).
3. Ziehen Sie mit Hilfe des Bohrers eine Materialprobe von etwa 100 g.
4. Entnehmen Sie das Material von der Mitte des Bohrlochs aus dem Bohrer.
5. Sortieren Sie mehr als Erbsen große (ca. 5 mm) Kiesel und Steine, Würmer, Larven oder andere Tiere aus.
6. Füllen Sie den Probenbehälter zu etwa 3/4, so daß er ungefähr 100 g Material enthält.
7. Behälter numerieren und Datum, Uhrzeit, Tiefe und Behälter-Nr. auf dem Datenblatt notieren.
8. Verschließen Sie die Behälter dicht und bewahren sie an einem vor Hitze und Sonnenlicht geschützten Ort auf.
9. Wiederholen Sie die Schritte 1 - 8 auf allen Tiefenniveaus (30, 60, 90 cm) desselben Lochs.
10. Füllen Sie das Loch wieder sorgfältig mit übrigem Bodenmaterial auf.
11. Führen Sie drei Temperaturmessungen jeweils in 5 cm und 10 cm Tiefe im Abstand von 25 cm der Entnahmestelle durch.

### Wiegen und Trocknen der Proben

#### Vorbereitung

1. Heizen Sie den Ofen vor.
2. Kalibrieren Sie die Waage mit einem Normgewicht, um die vorgeschriebene Meßgenauigkeit zu gewährleisten.
3. Notieren Sie das Gewicht auf 0,1 g genau in der GLOBE-Mappe. Die Abweichung von der Angabe des Referenzgewichts darf max. 0,25 g betragen.



## Trockenverfahren

1. Entfernen Sie die Klebestreifen vom Probebehälter und die Deckel der Behälter.
2. Wiegen Sie Probebehälter mitsamt Probe. Das so ermittelte Gewicht stellt das *Gewicht der feuchten Bodenprobe* dar.
3. Notieren Sie Datum, Uhrzeit der Probenentnahme, Behälter-Nr. und Gewicht (feuchte Bodenprobe) auf 0,1 g genau auf dem Datenblatt.
4. Legen Sie den unbedeckten Probenbehälter in den Trockenofen und richten Sie sich nach folgenden Minimalanforderungen:
  - Umluftofen, 95 - 105°C, 10 Stunden
  - Trockenofen, 75 - 95°C, 24 Stunden
  - Mikrowellenofen, hohe Stufe, NUR für Mikrowellen geeignete Glasbehälter verwenden. Wiederholen Sie 5 minütige Trockenintervalle, bis das Gewicht sich von einem Schritt zum anderen nicht mehr ändert.
5. Nehmen Sie die Probenbehälter mit Topflappen oder Isolierhandschuh aus dem Ofen und lassen sie fünf Minuten abkühlen.
6. Wiegen Sie die Probenbehälter mitsamt Probe erneut, um das *Trockengewicht* zu erhalten.  
**Anmerkung:** Wenn Sie Bedenken haben, daß die Probe nicht vollständig trocken ist, nehmen Sie sie aus dem Ofen, wiegen Sie und stellen sie für 10 weitere Stunden in den Ofen. Wenn das Gewicht weniger als 0.25 g abnimmt, ist die Probe als trocken zu bezeichnen.
7. Notieren Sie Trockenzeit, gewähltes Trockenverfahren und das Trockengewicht auf 0,1 g genau auf dem Datenblatt. Berechnen Sie das Gewicht des Wassers indem Sie das Trockengewicht vom Naßgewicht abziehen.
8. Entleeren Sie die Probenbehälter vollständig und wischen sie mit einem Papiertuch aus.
9. Wiegen Sie den trockenen, leeren Probenbehälter, um das *Behältergewicht* zu ermitteln.
10. Notieren Sie das Behältergewicht auf 0,1 g genau auf dem Datenblatt und berechnen Sie das Gewicht des trockenen Bodens indem Sie das Behältergewicht von dem Gesamttrockengewicht abziehen.
11. Berechnen Sie den Wassergehalt durch Division des Wassergewichts durch das Trockengewicht des Bodens. Vermerken Sie das Ergebnis auf dem Datenblatt.
12. Wiederholen Sie die Schritte 1 - 11 für jede Bodenprobe.

**Anmerkung:** Der GLOBE Datenserver wird das Wassergewicht, das Trockengewicht der Probe und den Wassergehalt unabhängig berechnen. Er verwendet dazu die von Ihnen eingetragenen Werte bezüglich Naßgewicht, Gesamttrockengewicht und Behältergewicht. Sie können diese Ergebnisse mit den von Ihnen ermittelten Werte vergleichen. Damit können Sie selbst die Genauigkeit der Dateneingabe und die eigenen Berechnungen überprüfen.

## Datenübermittlung

Bitte übermitteln Sie folgende Daten an den GLOBE Student Data Server:

- Datum und Uhrzeit der Probenentnahme
- Probenbehälter-Nr.
- Tiefe (in cm)
- Naßgewicht (in g)
- Trockengewicht (in g)
- Behälterleergewicht (in g)
- Trockenverfahren (eines angeben: 95-105°C, 75-95°C, Mikrowelle)
- Durchschnittliche Trockenzeit (Stunden und/oder Minuten)
- Aktuelle Bedingungen: Ist der Boden mit Wasser gesättigt? (Ja oder Nein angeben)
- Abstand der Entnahmestelle (nur bei Transekt)



Die Schüler können den Wassergehalt (SWC = soil water content) wie unten beschrieben berechnen oder das GLOBE-Datenarchiv diese Berechnung durchführen lassen. Den Wassergehalt selbst auszurechnen und einzugeben ist eine gute Qualitätskontrolle. Unterscheidet sich der von den Schülern berechnete Wert vom Wert des Datenservers um mehr als 1 % wird eine Warnung vom Server gesendet. In diesem Fall sollten die Schüler überprüfen, ob sie die Gewichte richtig eingetragen haben oder ob sie die Berechnungen richtig durchgeführt haben.

Darüber hinaus, bitten wir Sie, folgende Informationen unter "Beschreiben Sie den Meßort für die Bodenfeuchtigkeit (Define a Soil Moisture Study Site)" anzugeben.

- Lage des Meßortes mittels GPS (Mittelpunkt des Sterns, Bohrloch für den Gipssensor oder Markierung am einen Ende der Transekte)
- Abstände und Richtungen zu den anderen Meßorten (Regenmesser, Min/Max Thermometer, nächst gelegener Meßort für die Bodencharakterisierung)
- Wie würden Sie die Bodenoberfläche beschreiben? Wählen Sie eines aus: natürlich, umgepflügt, eingeebnet, aufgeschüttet, kompaktiert oder sonstiges (Andere).
- Wie würden Sie die Oberflächenbedeckung beschreiben? Wählen Sie eines aus: blanke Erde, kurzes Gras (<10 cm) oder langes Gras (> 10 cm).
- Wie würden Sie die Belaubungsdichte beschreiben? Wählen Sie eines aus: Offen, einige Bäume im Umkreis von 30 m oder Belaubung (beantworten Sie diese Frage in der Annahme von Sommer oder der Wachstumsperiode)
- Bodenklassifizierung (Verwenden Sie dazu das Eingabeformular für die Bodencharakterisierung)
- Beschreiben Sie so viele Bodeneigenschaften wie möglich. Verwenden Sie dabei das Protokoll aus Teil 1.
- Klassifizierung der Landbedeckung.

Die Klassifikation des Meßortes für die Bodenfeuchtigkeitshat nach den Hinweisen im Kapitel "Landbedeckung/Biologie" (MUC-Code Stufe 4 und die MUC-Bezeichnung angeben).



## Wahlweise

### Protokoll: Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit mit Gipssensoren

<p><b>Zweck</b> Bestimmung des Bodenwassergehalts über den elektrischen Widerstand von Gipssensoren.</p> <p><b>Übersicht</b> Bestandteil des Protokolls sind:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Einbringen der Gipssensoren in 10, 30, 60 und 90 cm Tiefe</li><li>2. Ablesen des Meßgeräts</li><li>3. Eichen der Gipssensoren</li><li>4. Aufstellen einer Eichkurve</li></ol> <p><b>Zeitaufwand</b> 10 min täglich Die anfänglich Eichung erfordert es, das Protokoll zur Gravimetrischen Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit, 20 Mal über 6-8 Wochen für 30 cm Tiefe durchzuführen.</p> <p><b>Häufigkeit</b> täglich Einmal im Jahr sollten die Gipssensoren erneuert und geeicht werden.</p> <p><b>Niveau</b> Fortgeschrittene</p> <p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Der Widerstand des Gipssensors hängt von der Bodenfeuchtigkeit ab und ist eine Funktion der Feuchtigkeit.</li><li>• Lokale Bedingungen wirken sich auf die Sättigung der Gipssensoren aus, daher müssen sie geeicht werden.</li><li>• Die Bodenfeuchtigkeit ist nach Niederschlag erhöht.</li><li>• Die Bodenfeuchtigkeit nimmt an trockenen, sonnigen Tagen ab.</li><li>• Wie schnell der Boden austrocknet, hängt von vielen Faktoren ab.</li></ul>	<p><b>Lernziele</b> <i>Entnahme</i> von Bodenproben <i>Umgang</i> mit einer Waage <i>Umgang</i> mit dem Meßgerät <i>Protokollieren</i> von Ergebnissen</p> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Erdbohrer</li><li>– Meterstab</li><li>– Vier Gipssensoren</li><li>– Vier PVC-Rohrstücke (10 cm lang x 7,6 cm Ø) als Einführöffnungen</li><li>– 2 Eimer (ca. 5 l Inhalt) zur Mischung und Aufbewahrung</li><li>– 1 l Wasser zum Anrühren von Bodenschlamm</li><li>– PVC Führungsrohr (1 m lang x 2 cm Ø)</li><li>– Besenstiel o.ä. als Stampfwerkzeug</li><li>– GLOBE-Mappe und Kugelschreiber</li><li>– Leitfähigkeitsmeßgerät für Bodenfeuchte</li><li>– Millimeterpapier</li><li>– Taschenrechner</li><li>– Material für das Protokoll: Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit</li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> Bestimmen des Meßortes Bestimmen Sie die nötigen Zusatzinformationen und geben Sie sie ein. Stellen Sie die Geräte und Materialien zusammen.</p> <p><b>Voraussetzung</b> Es ist sinnvoll, den Regenmesser in der Nähe installiert und den Meßort für die Bodencharakterisierung in der Nähe des Meßortes für die Bodenfeuchtigkeit zu haben.</p>
--	--



## Einbringen der Gipssensoren

1. Lassen Sie den Gipssensor in einen mit Wasser gefüllten Behälter 5 Minuten absorbieren.
2. Bohren Sie für jeden Gipssensor ein entsprechend tiefes Loch (10, 30, 60 u. 90 cm). Der Erdbohrer funktioniert nach dem Prinzip des Korkenziehers - während des Drehens lehnt man sich mit dem Körpergewicht auf den Griff. Der Behälter des Erdbohrers sollte jeweils nach einigen wenigen Umdrehungen entleert werden - wenn er zu voll wird, läßt sich das Material nur noch schwer entfernen. Entnommenen Boden in einer großen Wanne sammeln, um den Umkreis des Bohrlochs sauberzuhalten. Es empfiehlt sich, die vier Bohrlöcher nebeneinander in einer Reihe anzuordnen, um Verwechslungen beim Messen und Protokollieren zu vermeiden.
3. Füllen Sie 2 Handvoll Bodenmaterial aus dem Bohrloch in einen kleinen Eimer oder ähnlichen Behälter und vermischen es mit einer geringen Menge Wasser zu einem Schlammklumpen. Der Schlammklumpen muß noch zusammenhalten. (Etwaige Steine bzw. Kiesel entfernen.)
4. Schlammklumpen mittig in das Bohrloch fallen lassen. Kontrollieren, daß er bis auf den Boden des Bohrlochs fällt.
5. Ziehen Sie das Anschlußkabel eines Gipskörpers durch das PVC-Führungsrohr.
6. Fassen Sie das Ende des Anschlußkabels und ziehen es straff, so daß der Sensor fest gegen die gegenüberliegende Rohrkante gezogen wird. Senken Sie den Sensor in diesem Zustand in das Bohrloch ab. Hierzu halten Sie das Anschlußkabel oben am Rohr gestrafft und schieben das Rohr langsam nach unten, bis der Sensor in dem Schlammklumpen am Boden des Bohrlochs liegt.

*Hinweis:* Nach dem Absenken des Sensors läßt sich dieser nicht mehr ohne weiteres dicht mit Bodenmaterial umgeben. Die Funktion des Schlammklumpens besteht darin, für guten Kontakt zwischen Sensor und Bodenpartikeln zu sorgen.

7. Halten Sie den Sensor mit dem Rohr fixiert und bedecken Sie ihn mit Bodenmaterial. Hierzu nur einige wenige Handvoll Bodenmaterial in das Loch werfen und vorsichtig mit einem Besenstiel o.ä. feststampfen. Füllen Sie danach mehr Bodenmaterial ein und stampfen erneut. Während des Feststampfens ist das Rohr jeweils um ein entsprechendes Stück herauszuziehen. Es sollen immer nur ein paar Handvoll Erde eingefüllt und festgestampft werden. Dabei sollten Sie den Anschlußdraht des Sensors straff halten, so daß er möglichst geradlinig zur Oberfläche geführt wird.
8. Nachdem das Bohrloch wieder völlig verschlossen ist, empfiehlt es sich, ein kurzes Stück PVC-Rohr (ca. 10 - 20 mm lang) oder eine Konserven- bzw. Kaffeedose mit herausgeschnittenem Deckel und Boden rund um das Anschlußkabel in den Boden zu stecken, um das Kabel zu schützen und die Meßstelle zu markieren. Hierzu ist wie folgt vorzugehen:

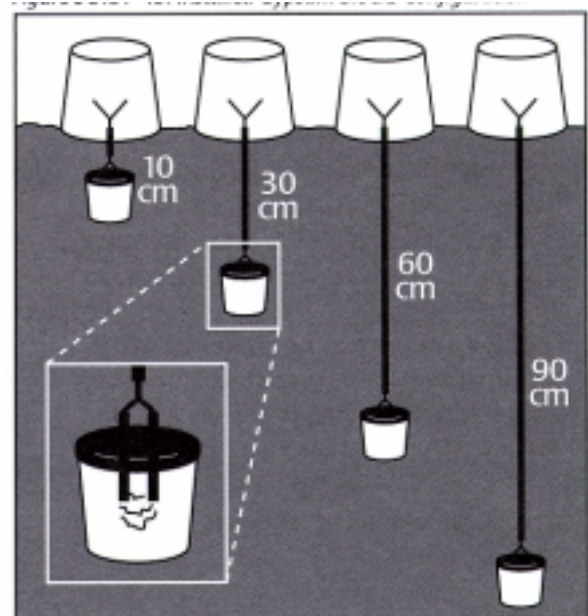


Abb. SOIL-P-13:  
Anordnung der eingebrachten Gipssensoren



- 8.1 Vermerken Sie die Installationstiefe des Sensors auf dem Rohrstück bzw. der Konservendose.
  - 8.2 Führen Sie das Anschlußkabel durch das Rohrstück bzw. die Konservendose und drücken das Rohrstück bzw. die Konservendose etwa 2 - 5 cm tief in den Boden, um es/sie zu fixieren. Anschlußkabel nicht abschneiden, sondern am freien Ende aufwickeln und in das herausragende
  - 8.3 Ende des Rohrs bzw. der Konservendose legen, um es dort bis zur Wiederverwendung geschützt aufzubewahren.
9. Vorstehenden Schritte für jeden Sensor wiederholen.

Es vergeht etwa 1 Woche, bis die Sensoren aussagefähige Meßwerte liefern. Die Anschlußdrähte sind empfindlich und brechen leicht, vor allem an der Anschlußstelle am Meßgerät. Wenn das Sensor-Anschlußkabel abbricht, muß es abisoliert und neu angeschlossen werden. Es ist deshalb wichtig, daß über dem Boden ein genügend langes Kabelstück herausragt.

### **Ablesen des Bodenfeuchtemeßgeräts**

Mit der Installation der Gipssensoren ist der Hauptteil der Arbeit bereits erledigt. Diese brauchen nun lediglich einmal täglich auf Veränderungen der Bodenfeuchte gemessen zu werden - eine unproblematische und angenehme Aufgabe. Bei gefrorenem Boden kann auf die Messung verzichtet werden.

### **Vorbereitung**

Bodenfeuchtigkeitsmeßgerät gemäß den Anweisungen des Herstellers auf einwandfreie Funktion prüfen. Prüfen Sie das Gerät vor jedem Einsatz.

### **Durchführung der Bodenfeuchtigkeitsmessung**

1. Es muß eine Messung pro Gipssensor durchgeführt werden. Hierzu ist wie folgt vorzugehen.
  - a) Bodenfeuchtigkeitsmeßgerät mit den Anschlußdrähten des in 10 cm Tiefe sitzenden Gipssensors verbinden.
  - b) READ-Taste drücken und abwarten, bis sich die Anzeige des Meßgeräts stabilisiert hat. Der Anzeigewert darf nicht negativ sein.
  - c) Datum, Uhrzeit, die aktuellen Bodenverhältnisse und Meßwert in der Spalte mit der richtigen Tiefe notieren.
  - d) Anschlußdrähte abziehen und aufgewickelt in das herausstehende Ende des PVC-Rohrs einlegen.
  - e) Deckel auf das PVC-Rohr aufsetzen.
  - f) Schritte a - e für alle übrigen Gipssensoren (30, 60, 90 cm) wiederholen.
2. Alle vier abgelesenen Meßwerte an den GLOBE Student Data Server übermitteln.
3. Die abgelesenen Meßwerte mittels der Eichkurve in Wassergehalt umrechnen.





## Verwendung des Arbeitsblattes für die täglichen Erhebungen

In der linken Spalte finden Sie die Nummern 1 bis 0. Bitte bezeichnen Sie die Messungen mit fortlaufenden Nummern. Dies ermöglicht es anderen, Ihre Daten durchzusehen, ohne daß Arbeitsblätter verloren gehen. Es steht auch Platz zur Verfügung, die Daten an Ort und Stelle in einen Graph aufzuzeichnen. Sie erwarten normalerweise allmähliche Übergänge, außer wenn die Bodenfeuchtigkeit nach Regenfall stark ansteigt.

## Kalibrierung der Gipssensoren

Die Gipssensoren müssen kalibriert werden, damit sich aus dem Anzeigewert des Meßgeräts der zutreffende Bodenwassergehalt errechnen läßt. Dies kann 6 - 8 Wochen dauern - je nachdem, wie schnell der Boden am Untersuchungsort seinen kompletten Trocknungszyklus durchläuft. Anstatt die Gipssensoren für jede Tiefe zu kalibrieren, wollen wir die Kalibrierung allein anhand des 30-cm-Sensors durchführen. Theoretisch setzt dies ein gleichmäßiges Bodenprofil sowie völlig identische Sensoren voraus. Die Durchführung folgender Schritte nimmt etwa 30 Minuten in Anspruch.

## Inhalt und Vorgehensweise

1. Führen Sie die Bodenfeuchtmessung an dem 30 cm tief sitzenden Gipssensor durch.
2. Wählen Sie willkürlich einen Ort innerhalb von 5 m von diesem 30-cm-Sensor aus.
3. Legen Sie die Bodenoberfläche frei.
4. Bringen Sie eine 30 cm tiefe Bohrung ein und nehmen Sie in dieser Tiefe 100 g Bodenmaterial aus der Mitte des Bohrlochs als Probe. Probe in einen Behälter füllen und diesen beschriften.
5. Schütten Sie das Bohrloch wieder zu und stellen die ursprüngliche Bodendeckung wieder her.
6. Notieren Sie Datum, Uhrzeit, Tiefe und Behälter-Nummer.
7. Folgen Sie den Anleitungen zum Wiegen und Trocknen der Proben im Protokoll: *Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchte*. Notieren Sie die verwendete Trockenmethode und die durchschnittliche Trockenzeit.
8. Notieren Sie auf dem Arbeitsblatt für die jährliche Eichung der Gipssensoren Datum und Zeitpunkt der Messung, Naß-, Trocken- und Behältergewicht und den Anzeigewert des Meßgerätes. Sie haben auch noch Platz den Wassergehalt (SWC = soil water content) auszurechnen.
9. Wiederholen Sie die vorstehenden Schritte 1 - 8 einmal täglich über etwa 20 Tage, während der Boden zwei vollständige Trocknungszyklen durchläuft. Warten Sie solange bis die Anzeige des Gerätes 5% abweicht, bevor Sie eine weitere Probe zur gravimetrischen Bestimmung entnehmen. Erneuern und eichen Sie die Gipssensoren einmal pro Jahr.

## Erstellung einer Eichkurve

### Zeichnen der Eichkurve

1. Füllen Sie das Arbeitsblatt zur jährlichen Eichung aus und verwenden Sie folgende Formel zur Berechnung des Bodenwassergehalts jeder Reihe:

$$\frac{\text{Naßgewicht} - \text{Trockengewicht}}{(\text{Trockengewicht} - \text{Behältergewicht})} = \text{Bodenwassergehalt}$$



Zur Erinnerung:

Naßgewicht = Gewicht des feuchten Bodens + Behälter

Trockengewicht = Gewicht des trockenen Bodens + Behälter

2. Tragen Sie den so berechneten Bodenwassergehalt in einer Kurve gegen den Anzeigewert des Bodenfeuchtigkeitsmeßgerätes auf (Bodenwassergehalt auf der Y-Achse, Anzeigewert auf der X-Achse). Legen Sie eine geeignete quadratische Kurve durch Ihre Wertepaare, diese sollten einen weiten Bereich von Bodenfeuchtigkeit erfassen. Dies ist nun Ihre Eichkurve mit der Sie die vom Meßgerät angezeigten Werte Wassergehalt umrechnen.

Wenn Sie Fragen haben, oder Unterstützung zum Erstellen der Kurve benötigen, wenden Sie sich bitte an den zuständigen GLOBE-Wissenschaftler, der Ihnen gerne zur Verfügung steht. Die Adressen finden Sie im Abschnitt "Willkommen".

Wenn Sie mit der Erstellung Ihrer Eichkurve nun fertig sind, schicken Sie bitte eine Kopie der Kurve und der entsprechenden Arbeitsblätter per Post oder Email an das Datenarchiv. Die Adresse finden Sie im Einleitungskapitel (Implementation Guide) des Lehrerhandbuchs.

Wenn Sie im Verlauf des Jahres Werte erhalten, die entweder größer oder kleiner als in Ihrer Eichkurve abgebildet sind, nehmen Sie eine weitere gravimetrische Probe und ergänzen Sie mit diesem Wertepaar Ihre Eichkurve. Schicken Sie eine Kopie der überarbeiteten Eichkurve und Arbeitsblatt wiederum an das GLOBE-Datenarchiv.

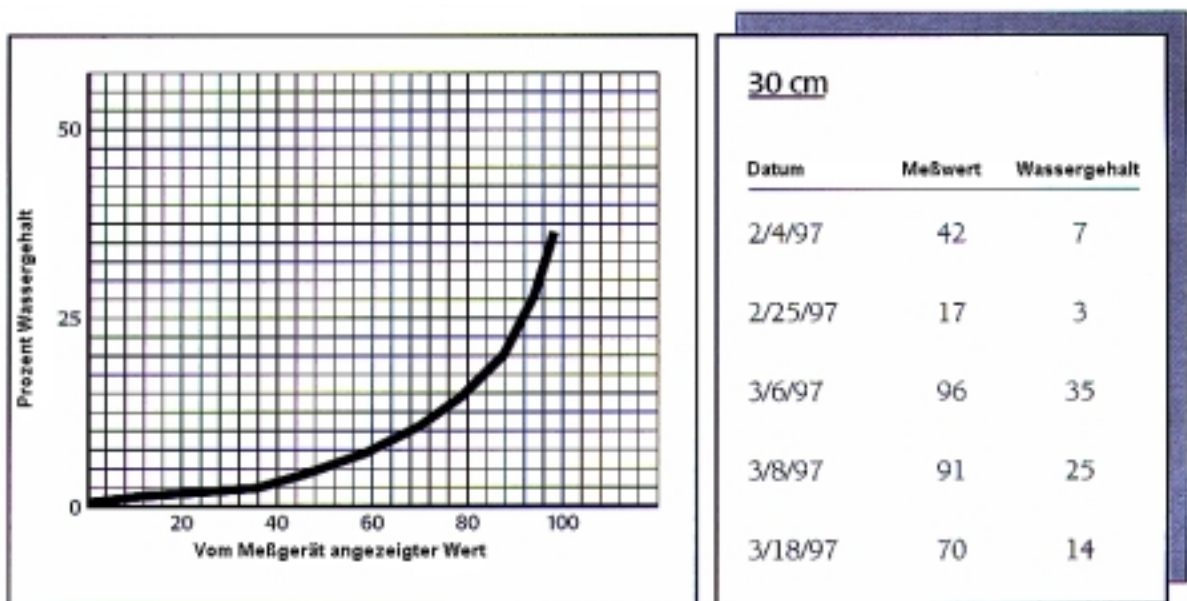


Abb. SOIL-P-14: Beispiel einer Eichkurve für Gipsensoren



## Protokoll: Infiltration

<p><b>Zweck</b> Bestimmen Sie die Geschwindigkeit mit der Wasser im Boden versickert in Abhängigkeit von der Zeit.</p> <p><b>Übersicht</b> Zwei leere Dosen werden in den Boden gedrückt und Wasser bis zu einer Höhe von mindestens 5 cm eingefüllt. Die Zeit, welche das Wasser benötigt, um über 2 -4 cm Höhe im Boden zu versickern wird gestoppt. Der Vorgang wird wiederholt. Die Infiltration gibt an, wie leicht Wasser in senkrechter Richtung durch den Boden fließt. Dies kann Informationen liefern, wie flutgefährdet ein Gebiet ist.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> Eine Unterrichtsstunde um das Doppelringinfiltrometer anzufertigen und zu testen. 45 min oder eine Unterrichtsstunde für die Messung. Dieses Protokoll kann durchgeführt werden, während Sie die Proben für die gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit entnehmen.</p> <p><b>Häufigkeit</b> Drei bis vier Mal pro Jahr am Meßort für die Bodenfeuchtigkeit. Einmal am Meßort für die Bodencharakterisierung. Auf alle Fälle drei Sets im Umkreis von 5 m.</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p>	<p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Die Infiltrationsrate ändert sich mit dem Grad der Wassersättigung des Bodens.</li><li>– Wenn Wasser nicht im Boden gespeichert werden kann, muß es verdunsten oder ablaufen und kann sich dann auf der Oberfläche ansammeln.</li></ul> <p><b>Lernziele</b> <i>Anfertigen</i> eines Infiltrometers <i>Test</i> <i>Organisieren</i> <i>Beobachten</i> <i>Überwachen</i> von Zeitabschnitten <i>Protokollieren</i> von Daten <i>Datenanalyse</i></p> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Zwei Metallzylinder, der kleinere mit einem Durchmesser von 10 - 20 cm und der größer mit einem 5 - 10 cm weiteren Durchmesser (z.B. große Blechdosen sind geeignet. Fragen Sie in Gaststätten, Hotels und Kantinen nach)</li><li>– Eimer oder andere Behälter zum Transport von mindestens 8 l Wasser zum Meßort</li><li>– Lineal</li><li>– Wasserfester Filzstift</li><li>– Stoppuhr oder Uhr mit Sekundenzeiger</li><li>– Holzblock</li><li>– Hammer</li><li>– Drei Probenbehälter zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit</li><li>– Grasschere</li><li>– Trichter</li></ul> <p><b>Voraussetzung</b> Keine</p>
--	---

### Hintergrund

Die Infiltrationsrate ist die Zeit, die nötig ist, damit sich der Wasserspiegel um einen festen Abstand absenkt, wobei das Wasser in der Erde versickert. Die Rate verändert sich im Laufe der Zeit, wenn sich die Bodenporen mit Wasser füllen und erreicht einen stabilen Wert, der für den *gesättigten* Boden charakteristisch ist. Sie werden drei Bereiche feststellen.

**Ungesättigter Fluß** - anfänglich fließt das Wasser schnell ab, da die trockenen Poren sich mit Wasser füllen.



**Gesättigter Fluß** - die Flußrate ist stabil und das Wasser versickert im Boden mit einer Geschwindigkeit, die von der Bodentextur- und struktur abhängig ist.

**Stehendes Wasser** - die Flußrate nähert sich Null, wenn der Boden vollständig mit Wasser gesättigt wird und nicht mehr in der Lage ist, das Wasser durch die Poren zu leiten.

## Vorbereitung

### Auswahl des Meßortes

Der Meßort sollte 2-5 m vom Meßort für die Bodenfeuchtigkeit oder die Bodencharakterisierung liegen. Passen Sie aber auf, daß kein Wasser zu den Entnahmestellen für die Bodenfeuchteproben abläuft!

### Anfertigen des Doppelringinfiltrometers

Entfernen Sie den Boden der beiden Dosen. Markieren Sie mit Hilfe des wasserfesten Filzstifts einen Ring auf der Innenseite des kleineren Zylinders, den Sie als Referenz für die Zeitnahme verwenden. Die Breite des Bandes oder Rings sollte 20 - 40 mm sein und ca. 9 cm vom der Unterseite des Dose entfernt sein. Viele Dosen sind gerippt. Auch wenn sich die Rippen zur Orientierung eignen, sollten Sie die Markierung vornehmen. Auf diese Weise sind die markierten Stellen gut sichtbar. Messen Sie die Höhe des markierten Rings und notieren Sie diese auf dem Datenblatt. Messen Sie die Breite des inneren wie äußeren Zylinders und notieren Sie die Werte in cm auf dem Datenblatt.

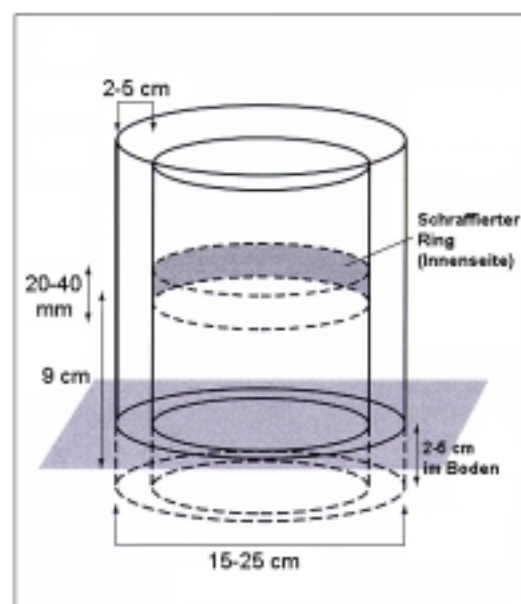


Abb. SOIL-P-15: Doppelringinfiltrometer

## Zeitnahme

Sie können eine Stoppuhr oder eine Uhr mit Sekundenzeiger verwenden, um die Zeit für den Wasserfluß zu bestimmen. Wenn Sie eine Stoppuhr verwenden, starten Sie diese, wenn Sie zum ersten Mal Wasser in den inneren Ring gießen und lesen Sie die jeweils verstrichene Zeit für jeden Start- und Endpunkt ab.

## Übung

Lassen Sie die Schüler dieses Protokoll, einschließlich der Zeitnahme üben. Das gibt ihnen Sicherheit, wenn Sie die Messung zunächst an einer Stelle durchführen, an der sie leicht Wassernachschub erhalten. Sie können die Messung immer wieder von Neuem beginnen und müssen nicht die Messung vollständige 45 min ausführen. Üben die Schüler auf sandigem Untergrund, werden die Zeitabstände für die Infiltration geringer sein und es besteht die Möglichkeit die Messung mehrfach zu machen.



## Bestimmen der Infiltration

1. Schneiden Sie sämtliche Vegetation (Gras) von der Oberfläche ab und entfernen Sie alles organische Material auf einer Fläche, die etwas größer ist als die größere der Dosen. Versuchen Sie nicht, den Boden zu bearbeiten.
2. Drehen Sie die Zylinder 2-5 cm in den Boden. Beginnen Sie mit dem kleineren Zylinder. Sie können die Ringe auch mit einem Hammer in den Boden klopfen. Dann sollten Sie einen Holzblock zwischen Hammer und der Oberfläche des Zylinders legen, damit die Kräfte, die durch das Hämmern entstehen, verteilt werden. Schlagen Sie nicht zu fest, um den Zylinder nicht zu verbiegen.
3. Messen Sie die Höhe vom Boden zur oberen Markierung an der Innenseite des kleineren Zylinders.
4. Eine Schülergruppe von 3-4 Schülern soll folgende Schritte so schnell wie möglich durchführen:
  - 4.1 Gießen Sie in beide Ringe Wasser. Versuchen Sie den Wasserspiegel des äußeren Zylinders ungefähr auf dem Niveau des inneren Zylinders zu halten. Beachten Sie dabei, daß der Wasserspiegel im äußeren Zylinder schneller absinkt.
  - 4.2 Gießen Sie Wasser bis über die obere Markierung im inneren Zylinder.
  - 4.3 Starten Sie die Stoppuhr. Lesen die Zeit auf die Sekunde genau ab und notieren sie auf Ihrem Datenblatt.

**Anmerkung:** Aus dem äußeren Zylinder sollte am unteren Rand kein Wasser heraus laufen. Falls dies passiert, beginnen Sie an einer anderen Stelle und drücken den äußeren Zylinder tiefer in den Boden oder dichten Sie ihn zusätzlich mit Schlamm ab.

5. Wenn der Wasserspiegel im inneren Zylinder die obere Markierung erreicht hat, lesen Sie die verstrichene Zeit ab und notieren Sie sie als Ihre Startzeit.
6. Versuchen Sie während der Zeitnahme den Wasserspiegel im äußeren Zylinder auf dem Niveau des inneren Zylinders zu halten. Achten Sie aber darauf, daß Sie dabei kein Wasser in den inneren Zylinder schütten. Ein Trichter kann dabei helfen.
7. Wenn der Wasserspiegel im inneren Zylinder die untere Markierung erreicht hat:
  - 7.1 Notieren Sie diese Zeit als Ihre Endzeit.
  - 7.2 Berechnen Sie das Zeitintervall auf der Differenz zwischen Start- und Endzeit.
  - 7.3 Gießen Sie wieder Wasser in den inneren Ring, bis der Spiegel über der oberen Markierung steht und heben Sie den Wasserspiegel des äußeren Rings, auf das gleiche Niveau an.
8. Wiederholen Sie die Schritte 5-7, 45 Minuten lang oder solange bis zwei aufeinander folgende Zeitintervalle sich um weniger als 10 Sekunden unterscheiden.
9. Einige Tonböden und kompaktierte Boden sind undurchlässig für Wasser. Der Wasserspiegel wird sich innerhalb von 45 Minuten kaum absenken. In diesem Falle notieren Sie die Änderung des Wasserspiegels, wenn überhaupt eine Änderung erfolgte, auf mm genau. Der Zeitpunkt, an dem Sie Ihre Beobachtungen beendet haben, stoppen Sie als Ihre Endzeit. Als Infiltrationsdaten haben Sie dann nur ein einziges Zeitintervall aufgezeichnet.
10. Entfernen Sie die beiden Zylinder. **WARTEN SIE FÜNF MINUTEN!**
11. Bestimmen Sie die Bodenfeuchtigkeit der oberen 0-5 cm von der Stelle, von der Sie gerade die Zylinder entfernt haben. Folgen Sie dabei den Anleitungen des Protokolls: *Gravimetrische Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit*.



12. Führen Sie zwei weitere Infiltrationsmessungen in einem Bereich von 5 m Durchmesser aus. Setzen Sie, wenn Sie die Messungen am gleichen Tag machen, andere Schülergruppen ein und führen Sie die Messungen über mehrere Tage durch (sofern es nicht regnet und der Wassergehalt des Bodens dadurch verändert wird). Es ist nicht zwingend, daß Sie bei verschiedenen Durchläufen immer die gleiche Anzahl an Datensätzen erhalten. Jedoch übermitteln Sie keine Durchläufe, die nicht komplett durchgeführt wurden (z.B. ein Durchlauf der wegen Zeitmangel abgebrochen wurde). Wenn Sie mehr als 3 Durchläufe ausführen, übermitteln Sie Ihre drei besten Ergebnisse.

### Datenauswertung und -darstellung

Die Infiltrationsrate erhält man, aus der Abnahme des Wasserstandes geteilt durch die dafür benötigte Zeit. Bei GLOBE Messungen ist dies gleich der Höhe des markierten Referenzbands geteilt durch die Differenz aus Start- und Endzeit eines Intervalls.

Verwenden Sie das Datenblatt, um die Werte, die Sie zur Erstellung der Kurve benötigen zu notieren und auszurechnen. Die Flußrate, die wir für jedes Zeitintervall beobachten, ist eigentlich der Mittelwert in diesem Zeitintervall. Daher ist es am besten, den Punkt für die Flußraten in den Mittelpunkt des Zeitintervalls einzuzeichnen. Die Infiltration sollte mit der Zeit abnehmen. Verwenden Sie die kumulierte Zeit (Experimentzeit). Gehen Sie die Tabelle und den Graph in den Abbildungen durch und versichern Sie sich, daß Sie mit den Formeln auf dem Datenblatt diese Berechnungen ausführen können, bevor Sie Ihre eigenen Werte analysieren.

Abb. SOIL-P-16: Infiltration in Jim's Garten

### Änderung des Wasserspiegels = 20 mm

Zeit					Fluß
Start	Ende	Interval	Mittelpunkt	Kumulativ	Rate
[min] [sec]	[min] [sec]	[min]	[min]	[min]	[mm/min]
31 00	32 00	1.00	31.50	0.50	20.0
32 30	34 15	1.75	33.38	2.38	11.43
34 30	36 45	2.25	35.62	4.62	8.89
37 15	40 00	2.75	38.62	7.72	7.27
40 45	44 00	3.25	42.38	11.38	6.15
44 15	47 45	3.50	46.00	15.00	5.71
48 15	52 00	3.75	50.12	19.12	5.33
52 15	56 15	4.00	54.25	23.25	5.00
56 30	00 30	4.00	58.50	27.50	5.00

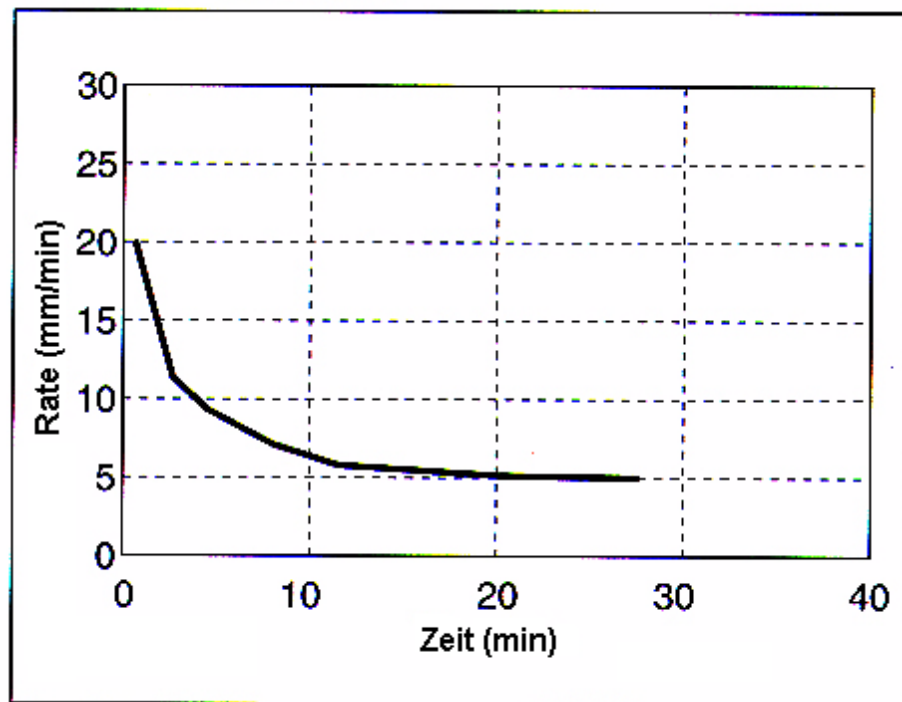


Abb. SOIL-P-17: Infiltration



## Protokoll: Bodentemperatur

<p><b>Zweck</b> Bestimmen der Temperatur in der oberen Bodenschicht. Es sollen Änderungen der Bodentemperatur im Tagesverlauf festgestellt werden. Erfassen der Isolationseigenschaften des Bodens.</p> <p><b>Übersicht</b> Mit Hilfe einer Thermometersonde wird die Bodentemperatur in 5 und 10 cm Tiefe bestimmt. Die Bodentemperatur ist eine Funktion des Klimas, des Bodens, der Bodenfeuchtigkeit, der Tiefe und der geographischen Umgebung.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 10 - 15 Minuten für jeden Durchgang (6 Messungen)</p> <p><b>Häufigkeit</b> <i>Wöchentlich:</i> drei Messungen in jeweils 5 und 10 cm Tiefe  <i>Pro Jahreszeit:</i> eine Messung jeweils in 5 und 10 cm Tiefe alle 2-3 Stunden im Laufe eines Tages oder an zwei aufeinander folgenden Tagen</p>	<p><b>Niveau</b> Alle</p> <p><b>Inhalte</b> – Boden ist eine Isolationsschicht – Die Bodentemperatur verändert sich mit der Tiefe, der Bodenfeuchtigkeit und der Lufttemperatur. – Die Schwankungen in der Bodentemperatur sind geringer als die in der Lufttemperatur.</p> <p><b>Lernziele</b> <i>Ablesen</i> von Skalen <i>Entnehmen</i> von Proben <i>Beobachten</i> von zusammen hängenden Phänomenen <i>Graphische Darstellung</i> von Temperaturzyklen</p> <p><b>Hilfsmittel</b> – Skalen- oder Digitalthermometer – 12 cm langer Nagel und Hammer – Holzblock mit einem Loch von 6 mm Durchmesser – Eichthermometer</p> <p><b>Voraussetzung</b> Keine</p> <p><b>Vorbereitung</b> Keine</p>
--	---

### Auswahl des Meßortes und Zeitplanung

Führen Sie die Bestimmungen neben Ihrem Meßort für die Bodenfeuchtigkeit durch. Ist dies nicht möglich, messen Sie im Umkreis von 10 m Ihres Wetterhäuschens. Gehen Sie die Muster für Stern und Transekte noch einmal durch. Sie sind im Abschnitt "Probenentnahme und Plan für den Meßort" beschrieben und zeigen die brauchbaren Stellen. Wenn Sie diese Bestimmungen am Meßort für die Atmosphärenmessungen durchführen, verwenden Sie das Sternmuster.

1. Wählen Sie einen relativ ebenen, sonnigen Bereich aus.
2. Versuchen Sie einen Bereich zu finden, der in einem Umkreis von 5 m einheitliche Eigenschaften aufweist.
3. Der Boden sollte nicht kompaktiert sein, Bedeckung durch Gras oder Abfall stört jedoch nicht.  
★Notieren Sie auf Ihrem Datenblatt, wenn es innerhalb der letzten 24 Stunden geregnet hat.

Wenn Sie die Messungen an zwei aufeinander folgenden Tagen durchführen, versuchen Sie die Bestimmungen an zwei Tagen mit ähnlichen Wetterbedingungen und an Tagen, die für die





Bodenbedingungen der Woche typisch sind auszuführen. Die Tageszyklen sollten Sie etwa um Mitte März, Juni, September und Dezember bestimmen.

### Vorbereitung der Feldarbeit

Der Sensor des Thermometers sollte etwa 2 cm von der Spitze die Temperaturänderungen messen. Um in 5 und 10 cm Tiefe zu messen, müssen Sie das Thermometer 7 und 12 cm in den Boden drücken.

Bohren Sie in einen Holzblock ein Loch, in welches das Thermometer geschoben werden kann. Die Dicke des Holzblocks sollte so bemessen sein, daß das Thermometer 7 cm aus dem Holzblock heraus ragt. Auf diese Weise können die Schüler sicherstellen, daß sie stets in der gleichen Tiefe von 5 cm messen.

Besorgen Sie sich einen Nagel in der Länge der Sonde Ihres Thermometers oder scheiden Sie einen Nagel auf diese Länge zu.

### Eichung

Überprüfen Sie alle drei Monate die Genauigkeit des Sensors. Dies ist besonders dann wichtig, wenn Sie mehr als ein Thermometer verwenden. Die Unterschiede zwischen den Thermometern oder Abweichungen machen es sonst unmöglich die Daten auszuwerten. Gehen Sie nach folgender Anleitung vor:

1. Verwenden Sie das Kalibrationsthermometer aus der Wetterhütte zur Eichung
2. Stellen Sie die Thermometer bei Raumtemperatur in Wasser. Lesen Sie alle 2 Minuten die Temperaturen ab.
3. Der Unterschied zwischen den beiden Thermometern sollte weniger als 2°C betragen.
4. Ist der Unterschied größer, befolgen die Sie Anleitung des Herstellers, um die richtige Temperatur einzustellen.

### Bestimmen der Bodentemperatur

1. **Bohren Sie ein 5 cm tiefes Loch vor.** Stecken Sie den Nagel durch den Holzblock und schieben ihn bis 2 cm über der Oberfläche des Holzblockes durch. Ist der Untergrund hart, müssen Sie einen Hammer verwenden, um bis zur geforderten Tiefe zu bohren. Ziehen Sie den Nagel mit einer Drehbewegung heraus. Springt der Boden oder wölbt sich beim Herausziehen des Nagels, versuchen Sie es im Abstand von 25 cm noch einmal. Versuchen Sie den Boden möglichst wenig zu zerstören.
2. **Führen Sie das Thermometer bis in 7 cm Tiefe ein.** Stecken Sie das Thermometer durch den Block. Drücken und drehen Sie es vorsichtig, bis der Kopf auf dem Holzblock aufsitzt. Wenden Sie keine Gewalt an, da dies nur Ihr Instrument beschädigt.
3. **Lesen Sie die Temperatur für 5 cm Tiefe ab.** Warten Sie mindestens 2 Minuten. Lesen Sie dann das Thermometer ab. Warten Sie eine weitere Minute und lesen erneut ab. Wiederholen Sie den Vorgang so lange, bis zwei aufeinander folgende Temperaturen sich um weniger als 0.5°C - 1.0°C unterscheiden. Notieren Sie das Ergebnis auf dem Datenblatt.
4. **Entfernen Sie das Thermometer aus dem Block.** Drehen Sie das Thermometer und versuchen Sie den Boden nicht zu zerstören.



5. **Wiederholen Sie die Schritte 1-4 ohne den Holzblock.** Drücken und drehen Sie Ihr Thermometer vollständig in den Boden. Benutzen Sie das gleiche Loch wie vorher. Anstelle von 5 oder 7 cm Tiefe, gehen Sie in eine Tiefe von 10 bzw. 12 cm.
6. Übermitteln Sie die Ergebnisse an den Datenserver (Eingabemaske für die Bodentemperatur).

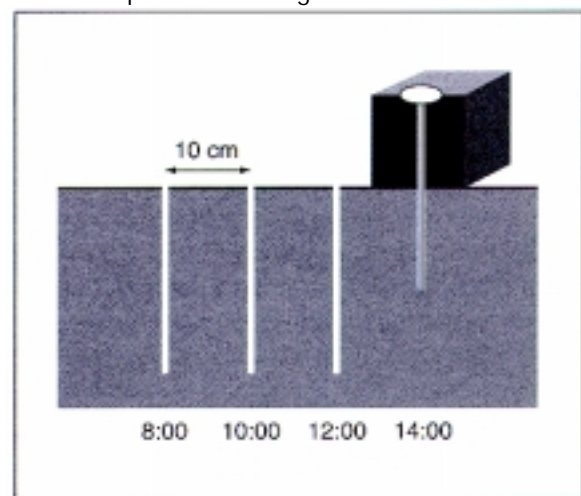
### Wöchentliche Messungen

Führen Sie je drei Messungen neben den Stellen Ihrer aktuellen Bodenfeuchteorten (Stern) oder in der Nähe der Wetterstation in 5 und 10 cm Tiefe durch. Die Messungen sollen zum Sonnenhöchststand  $\pm 1$  Std. innerhalb von 20 min ausgeführt werden. Notieren Sie die Zeit auf 10 min genau (z.B. wenn die 5 cm Messung um XX:06 erfolgt, wählen Sie als 10-Minuten-Marke XX:10 als Zeitpunkt der Messung aus).

### Tageszyklus/Messungen zu den verschiedenen Jahreszeiten

Führen Sie alle drei Monate, vorzugsweise im März, Juni, September und Dezember, die Tagesmessungen durch. Wiederholen Sie die Bestimmungen alle 2-3 Stunden an zwei aufeinander folgenden Tagen. Versuchen Sie mindestens 5 Durchgänge pro Tag zu machen. Verschieben Sie für jede neue Bestimmung den Meßpunkt um 10cm. Siehe Abb. SOIL-P-19. Lesen Sie auch die Lufttemperatur an Ihrer Wetterstation bei jeder Bodentemperaturbestimmung mit ab und notieren Sie sie in Ihrer GLOBE-Mappe.

Abb. SOIL-P-18: Bestimmung der Bodentemperatur im Tagesverlauf



### Datenanalyse und -darstellung

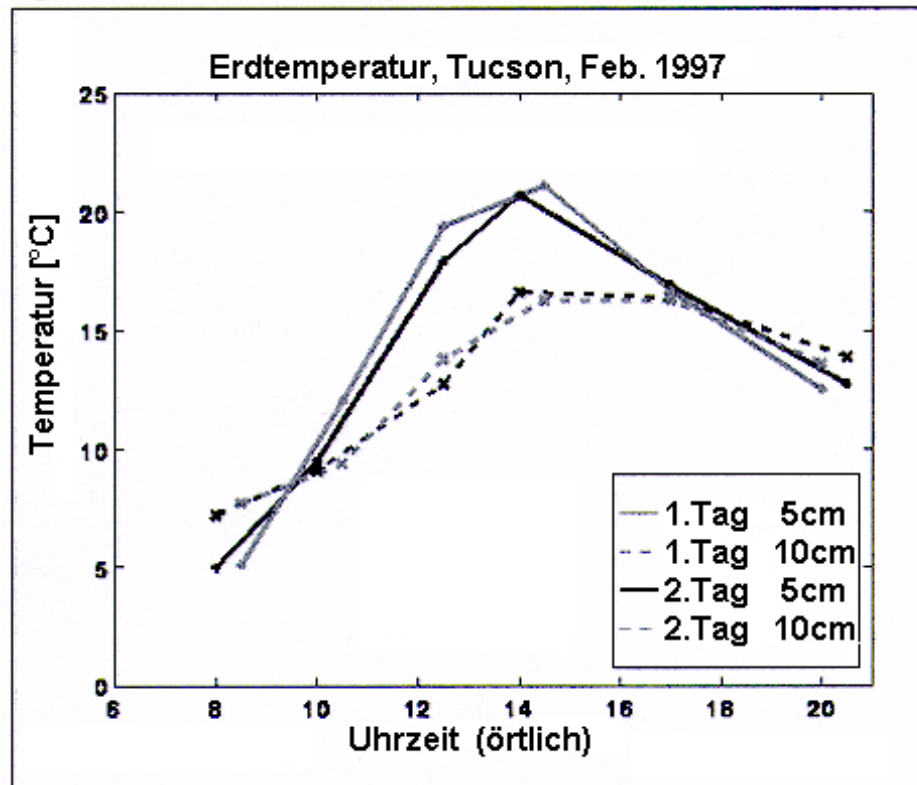
Stellen Sie in Ihrer GLOBE-Mappe eine Tabelle zum Eintragen der Ergebnisse, wie unten auf oder verwenden Sie das Datenblatt. Stellen Sie die Daten graphisch, entsprechend der Abb. SOIL-P-20, dar.

	2/12/97		2/13/97		ND= no data
Ortszeit	5 cm	10 cm	5 cm	10 cm	Lufttemperatur
8:00	ND	ND	ND	ND	ND
10:00	9.5	9.1	8.7	9.5	ND
12:00	17.8	13.0	10.7	10.5	26.2
14:30	20.6	16.5	12.9	12.0	ND
17:00	16.8	16.3	13.6	14.0	ND
20:30	13.0	13.9	11.9	13.0	ND

Abb. SOIL-P-19: Bodentemperaturen Tucson, AZ



Abb. SOIL-P-20: Bodentemperaturen





## Lernschritte



### **Es läuft einfach durch!**

Gerade beginnende Schüler werden in die Grundbegriffe eingeführt, wie Wasser sich durch den Boden bewegt. Dies geschieht in einem Lernschritt, der die wissenschaftliche Methode beschreibt. Fortgeschrittenere Schüler untersuchen den Einfluß von Bodeneigenschaften auf die Infiltration und die Wasserchemie beim Durchgang des Wassers durch den Boden.

### **Vom Schlammkuchen zum Ziegelstein**

Führt in die im Boden vorkommenden Korngrößen ein und die Eigenschaften, die zur Bodencharakteristik beitragen.

### **Der Boden vor meiner Tür**

Die Schüler sammeln, beschreiben und vergleichen Bodenproben aus ihrem eigenen Hof bzw. Garten.

### **Boden und Bodenfeuchte aus der Feldperspektive - Arbeit mit dem Spaten**

Die Schüler lernen, daß Bodenmerkmale wie z.B. Feuchtigkeit und Temperatur innerhalb desselben Geländes erheblich schwanken können.

### **Bestimmung des Wassergehalts**

Die Schüler befassen sich mit der Bodenfeuchte, in dem zunächst Schwämme und dann Bodenproben gewogen und getrocknet werden.

### **Boden als "Kompostfabrik"**

Durch Simulation von Umweltbedingungen stellen die Schüler fest, welche Hauptfaktoren für den Abbau organischer Stoffe im Boden verantwortlich sind.

### **Auswerten der Korngrößenbestimmung**

Die Schüler verwenden die Daten aus dem Protokoll, um die Textur des Bodenhorizonts zu bestimmen.

### **Das Datenspiel**

Bei diesem Spiel sammeln die Schüler Daten und verzerren bewußt bestimmte Meßwerte.



## Es läuft einfach durch! (Anfänger)

### **Zweck**

Es soll ein Verständnis dafür entwickelt werden, wie sich Wasser durch den Boden bewegt und welche Veränderungen es dabei erfährt

### **Übersicht**

Die Schüler stoppen die Zeit, welche das Wasser benötigt um durch verschiedene Böden zu fließen und beobachten, welche Mengen an Wasser von diesen Böden gehalten wird. Sie beobachten auch die Fähigkeit des Bodens als Filter zu wirken, indem Sie die Trübung des Wassers vor und nach dem Durchgang durch den Boden vergleichen.

### **Zeitaufwand**

eine Unterrichtsstunde

### **Niveau**

Anfänger

### **Inhalte**

- Wasser fließt durch den Boden
- Boden hält Wasser
- Die Bodeneigenschaften beeinflussen Flußrate und die Wasserspeicherkapazität

### **Lernziele**

*Fragen stellen*

*Aufstellen* von Hypothesen

*Testen* von Hypothesen

*Beobachten* von Ergebnissen

*Auswerten* von Ergebnissen

*Schlüsse ziehen*

*Zeitnahme*

*Bestimmung* des pH-Werts

### **Hilfsmittel (für jede Gruppe von 3-4 Schülern)**

- Klare 2 Liter Flaschen (Plastikwasser- oder Plastiklimonadenflaschen, auch 1,5 l Volumen ist ausreichend)

- 3 500 ml Bechergläser oder klare Behälter mit cm-Markierungen, die etwa so groß sind, um Wasser auszugießen bzw. aufzufangen.

- Bodenprobe (Nehmen Sie 1,2 l große Proben von verschiedener Art, vom Boden bei der Schule oder zu Hause. Wenn möglich wählen Sie auch einen Oberboden (A-Horizont), Unterboden (B-Horizont), Blumenerde, Sand, zusammen gestampfte Erde, Boden mit Gras auf der Oberfläche und Böden mit deutlich unterschiedlicher Textur aus.

- Feinmaschiges Drahtgitter oder feines Sieb, welches nicht absorbiert oder mit dem Wasser reagiert (1 mm oder kleinere Maschengröße)

- Wasser

- Uhr oder Timer

**Anmerkung:** Es können auch kleinere Behälter, verwendet werden. Sie sollten nur sicher stellen, daß der Bodenbehälter stabil auf dem Auffangbehälter aufsitzt. Verringern Sie in diesem Fall die Mengen an Boden und Wasser - aber denken Sie daran, daß es wichtig für die Schüler ist, stets mit der gleichen Menge zu beginnen.

- *für fortgeschrittenere Anfänger:* Indikatorpapier, pH-Pen oder pH-Meter

### **Voraussetzung**

Keine

### **Vorbereitung**

Diskutieren Sie mit den Schülern allgemein die Bodeneigenschaften oder führen Sie die Lernaktivitäten: "Der Boden vor meiner Tür" oder das Protokoll: "Bodencharakterisierung" durch.



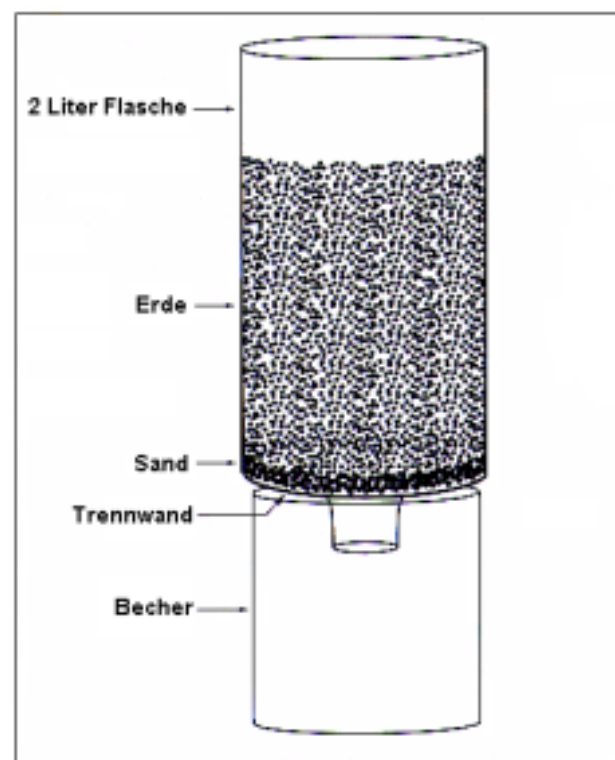
## Hintergrund

Was mit Wasser, das durch den Boden fließt geschieht, hängt von vielen Dingen ab, wie die Größe der Bodenpartikel (Textur und Korngrößenverteilung), wie die Teilchen angeordnet sind (Struktur), wie dicht sie gepackt sind (Dichte) und die Anziehung zwischen den Bodenpartikeln und Wasser. Einige Bodenarten nehmen Wasser schnell auf, halten das Wasser wie ein Schwamm im Boden fest. Dies ermöglicht Pflanzen, einen Teil des Wassers zu nutzen. Andere Bodenarten lassen das Wasser innerhalb von wenigen Sekunden vollständig passieren. Wieder andere Böden halten das Wasser vollständig ab. Keine dieser Bodentypen ist "besser" als der andere, alle sind aus dem einen oder anderen Grund "nützlich". Welchen Bodentyp würden Sie wählen, um einen Garten anzulegen, welchen um eine Straße oder einen Spielplatz zu bauen? Was passiert, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist und eine starker Regenguß niedergeht? Wie kann man die Eigenschaft des Bodens, Wasser zu halten, verändern? Was geschieht mit dem Boden, wenn man organisches Material hinzufügt, und zwar wenn Pflanzen auf der Oberfläche wachsen, wenn er kompaktiert ist oder wenn er umgepflügt ist?

## Vorbereitung

Abb. SOIL-L-1

- Tragen Sie Proben von verschiedenen Bodentypen zusammen.
- Nehmen Sie klare 2-Liter-Plastikflaschen (oder 1,5-Liter Plastikflaschen, je nach Verfügbarkeit). Entfernen Sie die Etiketten und schneiden den unteren Teil der Flasche ab.
- Schneiden Sie ein kreisförmiges Stück aus dem Maschendraht aus und befestigen es in der Flasche, so daß der Ausguß der Flasche abgedeckt wird.
- Schütten Sie 3-4 cm Sand auf das Gitter. Dadurch wird das Gitter fixiert.
- Stellen Sie die Flasche (Ausguß zeigt nach unten) auf ein Becherglas oder anderen klaren Behälter.
- Schütten Sie 1,2 l (bei kleineren Flaschen entsprechend weniger) Bodenmaterial über den Sand.
- Kopieren Sie das Arbeitsblatt für jeden Schüler.



## Inhalt und Vorgehensweise

### Demonstration vor der Klasse

1. Wählen Sie eine Bodenprobe (sandiger Boden funktioniert am besten) für die Demonstration aus und geben Sie davon 1,2 l in die 2-Liter-Flasche.
2. Lassen Sie die Schüler den Boden genau betrachten. Was können sie feststellen: Farbe? Pflanzenmaterial? Fühlt sich schwer oder leicht an? Bröckelig (wie Krümel von Plätzchen) oder blockartig? Notieren Sie an der Tafel, was die Schüler bei der Bodenprobe feststellen.



3. Schütten Sie 300 ml Wasser in ein 500 ml Becherglas oder durchsichtigen Behälter. Zeigen Sie den Schülern, daß das Wasser klar ist.
4. Nehmen Sie einen schwarzen Filzstift und markieren Sie auf dem Behälter, den Wasserstand. Lassen Sie die Schüler die Höhe des Wasserstands in cm abmessen. Schreiben Sie dies an die Tafel.
5. Fragen Sie die Schüler: *“Was passiert, wenn man das Wasser auf den Boden schüttet?”* Bitten Sie die Schüler ihre Vorstellung, wie sich Boden und Wasser verhalten werden, zu erklären. Hier sind noch weitere Fragen, die Sie den Schülern stellen können:
  - *Wird das Wasser unten aus der Flasche laufen?*
  - *Wird alles herauslaufen? Wie viel wird herauslaufen?*Markieren Sie mit einem roten Filzstift auf dem Becherglas, wieviel Wasser, nach Vorstellung der Schüler herauslaufen wird.
  - *Wie schnell wird das Wasser durch den Boden fließen? Die älteren Schüler können die Sekunden stoppen, die jüngeren Schüler streichen die Minuten ab, die der Lehrer stoppt (siehe Arbeitsblatt).*
  - *Wie wird das Wasser aussehen, das unten herausläuft? Klar? Trübe? Sehr schmutzig?*
6. Schreiben Sie die Meinung der Klasse an die Tafel.
7. Gießen Sie das Wasser auf die Erde und beginnen Sie mit der Zeitnahme. Lassen Sie die Schüler beschreiben, was passiert, wenn Sie das Wasser auf den Boden schütten:
  - *Bleibt alles Wasser auf der Oberfläche stehen?*
  - *Wohin läuft es?*
  - *Zeigen sich auf der Wasseroberfläche Blasen?*
  - *Sieht Wasser, das unten aus der Flasche fließt genauso aus, wie das auf den Boden geschüttete?*
  - *Sieht die Erde, durch die das Wasser geflossen ist anders aus?*
8. Schreiben Sie die Beobachtungen der Klasse an die Tafel. Notieren Sie auch, wie lange das Wasser benötigt, um den Boden zu passieren.
9. Lassen Sie die Schüler die Ergebnisse mit ihrer vorherigen Meinung vergleichen.
10. Wenn kein Wasser mehr aus der Flasche tropft, nehmen Sie die Flasche und zeigen den Schülern, das Becherglas mit dem durchgelaufenen Wasser. Fragen Sie die Schüler:
  - *Ist dies die gleiche Wassermenge mit der wir begonnen haben? Wie können wir feststellen, ob es die gleiche Menge ist?*
  - *Schütten Sie das Wasser in den ursprünglichen Behälter zurück. Vergleichen Sie den fehlenden Anteil mit der schwarzen Markierung. Wie viel Wasser fehlt? Wie können wir bestimmen, wie viel Wasser fehlt?*
  - *Vergleichen Sie den Wasserstand mit der roten Linie auf dem Behälter. Ist weniger oder mehr Wasser als gedacht übrig geblieben? Wie können wir die Differenz bestimmen? Warum dachten die Schüler, es wäre mehr oder weniger?*
  - *Was ist mit dem fehlenden Wasser geschehen?*
  - *Ist das durchgelaufene Wasser mehr oder weniger klar? Warum?*
11. Bewahren Sie das Wasser zum Vergleich auf.
12. Nehmen Sie die Flasche mit dem gesättigten Boden und fragen die Schüler was geschehen wird, wenn Sie weitere 300 mL darauf gießen. Schreiben Sie die Meinung der Klasse an die Tafel.
  - *Wird es die gleiche Menge sein, oder wird mehr oder weniger Wasser dieses Mal im Boden zurück bleiben?*
  - *Wird es schneller oder langsamer oder mit der selben Geschwindigkeit durchfließen?*
  - *Wie klar wird das Wasser sein? Genauso, klarer, weniger klar?*
13. Gießen Sie das Wasser auf den Boden, nehmen Sie die Zeit, beobachten Sie was passiert und vergleichen die Ergebnisse mit der Meinung der Schüler. Fragen Sie die Schüler:



- 
- *Ist das Wasser schneller als vorher durchgelaufen? Wie können wir das feststellen?* Vergleichen Sie die beiden Zeitnahmen.
  - *Kam mehr oder weniger Wasser unter heraus? Wie können wir dies herausfinden?* Vergleichen Sie die Mengen in den beiden Bechergläsern.
  - *Ist das Wasser so klar wie beim ersten Mal?* Vergleichen Sie die Farbe des Wassers in den beiden Bechergläsern.





# Es läuft einfach durch! Datenblatt für Anfängergruppe

## Ansehen und Raten

Mein Boden hat die Farbe \_\_\_\_\_

Die Struktur meines Bodens sieht folgendermaßen aus:

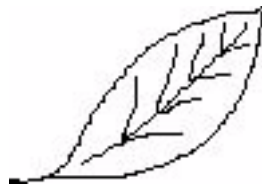


krümelig



blockartig

In meiner Bodenprobe sind

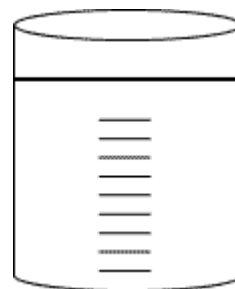


Blätter: JA NEIN

Zeit \_\_\_\_\_



Wie viel Wasser wird heraus laufen?  
Bitte mit ROT markieren.



Wie wird das Wasser aussehen? (Bitte ankreuzen)

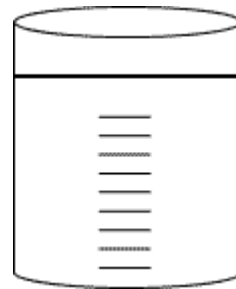




Fortsetzung des Arbeitsblattes "Es läuft einfach durch! Datenblatt für Anfängergruppe"

## Experiment und Bericht

Zeit \_\_\_\_\_



Wie viel Wasser lief heraus?

Wie sieht das Wasser aus? (Bitte ankreuzen)



Mein Bericht

---

---

---

---

---



## Gruppenarbeit

### Experimentieren mit verschiedenen Bodenproben

#### Diskussion

1. Gehen Sie durch die Eigenschaften der verschiedenen Bodenproben.
2. Fragen Sie die Schüler, ob das Wasser durch alle Bodentypen mit der gleichen Geschwindigkeit laufen wird und ob sie die gleiche Menge an Wasser halten werden.
3. Diskutieren Sie, welche Bodenproben sich nach Meinung der Schüler anders verhalten werden.
4. Geben Sie jeder Schülergruppe einen anderen Bodentyp.

#### Beobachtungen und Hypothesen

1. Teilen Sie den Schülern das Arbeitsblatt "Beobachte und Rate" aus.
2. Bitten Sie die Schüler die **Bodenfarbe** einzutragen (in Worten oder mit Farbstiften)
3. Lassen Sie die Schüler ankreuzen, welche **Struktur** ihrer Probe am nächsten kommt.
4. Die Schüler sollen die Probe nach **organischem Material** durchsuchen. Ist organisches Material vorhanden, kreuzen Sie JA an, NEIN, wenn keines vorhanden ist.
5. **Zeit.** Erinnern Sie die Schüler an ihre Beobachtungen bei der Demonstration. Sie sollen nur raten, wie lange das Wasser brauchen wird, um durch ihre Bodenprobe zu fließen.
6. **Menge.** Lassen Sie die Schüler eine ROTE Linie auf das Becherglas zeichnen, die anzeigt, wieviel Wasser nach ihrer Meinung durch ihre Bodenprobe fließen wird.
7. **Trübung.** Bitten Sie die Schüler den Behälter anzukreuzen, welcher der Wassertrübung nach Durchgang durch den Boden am nächsten sein wird.

#### Experiment und Bericht

1. Erklären Sie, daß auf Ihr Startsignal alle ihr Wasser gleichzeitig auf den Boden gießen.
2. Sie werden die Zeitnahme dann beginnen, wenn das Wasser auf den Boden geschüttet wurde.
3. Lassen Sie die Schüler das Arbeitsblatt "Experiment und Bericht" ausfüllen.

Jede Gruppe soll ihre Experimentergebnisse gegenüber der Klasse darstellen. Die Berichte sollten die **Fragen, Meinungen, Beobachtungen und Schlußfolgerungen** bzgl. des Experiments beinhalten. Die Schüler können die Arbeitsblätter zur Vorbereitung der Berichte verwenden.

#### Weitere Untersuchungen

1. Die Schüler bestimmen mit destilliertem Wasser den Wasser pH-Wert.
2. Sie sollen vorher sagen, ob sich der pH-Wert nachdem das Wasser durch den Boden gelaufen ist, verändert sein wird.
3. Lassen Sie Wasser durch die Bodenprobe fließen und testen Sie anschließend den pH-Wert erneut.
4. Lassen Sie die Schüler schließen, ob der Boden den Wasser pH-Wert beeinflusst.

**Anmerkung:** 1. Anhand dieser Anleitung können Sie die Leitfähigkeit des Wassers vor und nach dem Durchgang durch den Boden bestimmen, verwenden Sie zusätzlich auch Salzwasser.

2. Führen Sie ein Filterexperiment durch. Gießen Sie sehr trübes Wasser durch sauberen Sandboden.



## Es läuft einfach durch!

### **Zweck**

Es soll ein Verständnis dafür entwickelt werden, wie sich Wasser durch den Boden bewegt und welche Veränderungen es dabei erfährt

### **Übersicht**

Die Schüler stoppen die Zeit, welche das Wasser benötigt um durch verschiedene Böden zu fließen und beobachten, welche Mengen an Wasser von diesen Böden gehalten wird. Sie beobachten auch die Fähigkeit des Bodens als Filter zu wirken indem sie den pH-Wert, die Trübung des Wassers und die Bodeneigenschaften vor und nach dem Durchgang durch den Boden vergleichen.

### **Zeitaufwand**

eine Unterrichtsstunde für die Einführung  
2-3 Unterrichtsstunden für weitere Untersuchungen

### **Niveau**

Alle

### **Inhalte**

- Wasser fließt durch den Boden
- Boden hält Wasser
- Wasser beeinflusst den Boden
- Die Bodeneigenschaften (Korngrößenverteilung oder Textur, Struktur, organisches Material, Schichtung etc.) beeinflussen Flußrate und die Wasserspeicherkapazität, die Eigenschaften Nährstoffe herauszufiltern etc.

### **Lernziele**

*Fragen stellen*

*Aufstellen von Hypothesen*

*Testen von Hypothesen*

*Beobachten von Ergebnissen*

*Auswerten von Ergebnissen*

*Schlüsse ziehen*

*Volumenbestimmung*

*Zeitnahme*

*Bestimmung des pH-Werts*

*Bestimmen von NPK (Stickstoff, Phosphor, Kalium)*

### **Hilfsmittel (für jede Gruppe von 3-4 Schülern)**

- 2-3 klare 2 Liter Flaschen (Plastikwasser- oder Plastiklimonadenflaschen, auch 1,5 l Volumen ist ausreichend)
- 4-6 500 ml Bechergläser oder klare Behälter mit cm-Markierungen, die etwa so groß sind, um für die Demonstration Wasser auszugießen bzw. aufzufangen. Die Anzahl der Bechergläser hängt von der Anzahl der Schülergruppen ab.
- Bodenprobe (Nehmen Sie 1,2 l große Proben von verschiedener Art, vom Boden bei der Schule oder zu Hause. Wenn möglich wählen Sie auch einen Oberboden (A-Horizont), Unterboden (B-Horizont), Blumenerde, Sand, zusammen gestampfte Erde, Boden mit Gras auf der Oberfläche und Böden mit deutlich unterschiedlicher Textur aus)
- Feinmaschiges Drahtgitter oder feines Sieb welches nicht absorbiert oder mit dem Wasser reagiert (1 mm oder kleinere Maschengröße)
- Reißfestes Klebeband
- Scheren
- Wasser
- Laborgestell mit Ringen, soweit zugänglich (entsprechend der Anzahl von Plastikflaschen, als Halterung). Eine andere Möglichkeit ist es die Flaschen direkt auf den Bechergläsern abzustellen (in diesem Fall benötigen Sie keine Laborgestelle). Aufgrund des Gewichts der Bodenprobe, werden die Flaschen relativ stabil stehen.
- Uhr oder Timer
- Indikatorpapier, pH-Pen oder pH-Meter
- Arbeitsblätter
- GLOBE-Mappe
- *Für weitergehende Untersuchungen:* Destilliertes Wasser, Salz, Essig, Haushaltsnatron, Frischhaltefolie zum Verschließen der Flaschen.
- Leitfähigkeitsmeßgerät
- NPK-Testbesteck
- Grassode oder Mulch
- Testbesteck Alkalität

### **Voraussetzung**



\* Sie können auch 1-Liter-Flaschen und 400 oder 25 mL Bechergläser verwenden. Die Größe des Becherglases hängt vom Durchmesser ihrer Flaschen ab. Die mit dem Gitter versehene Flasche sollte nicht zu tief in das Becherglas eintauchen, damit das Ablesen des Wasservolumens nicht beeinflusst wird. Kleinere Flaschen haben den Vorteil, daß Sie weniger Bodensubstanz benötigen. Unabhängig von der Größe der verwendeten Flaschen ist es wichtig, daß die Menge an Boden und Wasser, sowie die Größe der Bechergläser und Flaschen für alle Experimente, die miteinander verglichen werden, gleich sind.

Keine

#### **Vorbereitung**

Diskutieren Sie mit den Schülern allgemein die Bodeneigenschaften oder führen Sie die Lernaktivitäten: "Der Boden in meinem Garten" oder das Protokoll: "Bodencharakterisierung" durch.

### **Hintergrund**

Was mit Wasser, das durch den Boden fließt geschieht, hängt von vielen Faktoren ab, wie die Größe der Bodenpartikel (Textur und Korngrößenverteilung), die Anordnung der Teilchen (Struktur) die Packungsdichte (Dichte) und die Stärke der Wechselwirkung zwischen den Bodenpartikeln und Wasser. Einige Bodenarten nehmen Wasser schnell auf, sie halten das Wasser wie ein Schwamm im Boden fest. Dies ermöglicht Pflanzen, einen Teil dieses Wassers zu nutzen. Andere Bodenarten lassen das Wasser innerhalb von wenigen Sekunden vollständig passieren. Wieder andere Böden halten das Wasser vollständig ab. Keine dieser Bodentypen ist "besser" als der andere, alle sind aus einem anderen Grund "nützlich". Welchen Bodentyp würden Sie wählen, um einen Garten anzulegen, welchen um eine Straße oder einen Spielplatz zu bauen? Was passiert, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist und eine starker Regenguß niedergeht? Wie kann man die Eigenschaft des Bodens, Wasser zu halten, verändern? Was geschieht mit dem Boden, wenn man organisches Material hinzufügt, z.B. wenn Pflanzen auf der Oberfläche wachsen, wenn er kompaktiert ist oder wenn er umgepflügt ist?

Wasser erfüllt auch beim Transport von Pflanzennährstoffen eine Schlüsselrolle. Die meisten Pflanzen können keine Feststoffe aufnehmen (auch wenn sich einige Pflanzen von Insekten ernähren). Daher nehmen Sie mit ihren Wurzeln Wasser auf und verwerten die vom Wasser aus dem Boden gelösten Nährstoffe. Wie viel Nährstoffe enthält ein Boden? Dies hängt davon ab, wie der Boden gebildet wurde, aus was er entstanden ist und wie er behandelt wurde. Bauern und Gärtner fügen dem Boden häufig Nährstoffe oder Düngemittel hinzu, damit er sich besser für den Anbau ihrer Pflanzen eignet.



## Vorbereitung

- Tragen Sie Proben von verschiedenen Bodentypen zusammen.
- Sammeln Sie einige klare 2-Liter-Plastikflaschen mit geraden Seitenwänden (oder 1.5-Liter Plastikflaschen, je nach Verfügbarkeit). Entfernen Sie die Etiketten und schneiden den unteren Teil sowie den oberen der Flasche ab und stellen sie auf das 500 ml Becherglas oder einen klaren Behälter. Denken Sie daran, den oberen Teil aufzuheben, um die Flasche auf dem Becherglas abzustellen.
- Schneiden Sie ein kreisförmiges Stück aus dem Maschendraht oder Nylonnetz (ca. 3 cm größerer Durchmesser als die Flasche) aus. Befestigen Sie es mit Hilfe eines starken Klebebandes um das Ende der Flasche, an der Stelle wo der obere Teil abgeschnitten wurde.
- Schütten Sie 3-4 cm Sand auf das Gitter. Dadurch wird das Gitter fixiert.
- Stellen Sie die Flasche (Gitter zeigt nach unten) auf das Becherglas oder den Laborring und stellen Sie einen Auffangbehälter darunter.

## Inhalt und Vorgehensweise

### Demonstration vor der Klasse

1. Untersuchen Sie die Eigenschaften der Bodenproben, die Sie später betrachten werden. Notieren Sie alle Informationen über die Bodenproben in der GLOBE-Mappe. Schreiben Sie auch auf, wo und in welcher Tiefe jede Probe gefunden wurde. Wenn Sie schon das Protokoll Bodencharakterisierung durchgeführt haben, notieren Sie auch die Feuchtigkeit, Struktur, Farbe, Konsistenz Textur und Anwesenheit von Steinen, Wurzeln und Karbonaten.
2. Wählen sie einen Bodentyp (sandiger Lehm eignet sich am besten) für die Demonstration aus und geben Sie 1,2 l der Bodenprobe in eine der 2-Liter-Flaschen.
3. Gießen Sie 300 ml Wasser in ein 500 ml Becherglas oder ein anderes Gefäß. Bestimmen Sie den pH-Wert des Wassers. Notieren Sie auch, wie klar das Wasser ist.
4. Fragen Sie die Schüler: *Was wird geschehen, wenn wir das Wasser auf diesen Boden gießen?*  
Weiter mögliche Fragen sind:
  - *Wie viel Wasser wird unten aus der Flasche laufen?*
  - *Wie schnell wird das Wasser durch den Boden laufen?*
  - *Wird sich der pH-Wert des Wassers ändern, und wenn ja, wie?*
  - *Wie wird das Wasser aussehen, das unten aus der Flasche läuft?*
5. Schreiben Sie die Meinung der Klasse an die Tafel und bitten Sie die Schüler ihre Meinung auch in die GLOBE-Mappe zu schreiben.
6. Schütten Sie das Wasser auf den Boden und beginnen Sie mit der Zeitnahme. Lassen Sie die Schüler beschreiben was passiert, wenn Sie das Wasser ausgießen:
  - Wird das Wasser auf den Oberfläche stehen bleiben?
  - Wohin läuft es?
  - Sieht Wasser, das unten aus der Flasche fließt genauso aus, wie das auf den Boden geschüttete?
  - Was geschieht mit der Bodenstruktur, insbesondere an der Bodenoberfläche?
7. Schreiben Sie die Beobachtungen der Klasse an die Tafel und lassen Sie die Schüler diese Information auch in ihre GLOBE-Mappe schreiben. Notieren Sie auch, wie lang das Wasser benötigt, um durch den Boden zu laufen.
8. Lassen Sie die Schüler ihre vorhergehende Meinung mit den Ergebnissen des Experiments vergleichen.
9. Die Schüler sollen ihre eigenen Schlußfolgerungen darüber, wie Boden und Wasser aufeinander wirken, ziehen und in der GLOBE-Mappe notieren.



10. Messen Sie wie viel Wasser aus dem Boden in das Becherglas gelaufen ist, wenn kein Wasser mehr aus dem Boden tropft. Fragen Sie die Schüler:
  - *Was ist mit dem fehlenden Wasser geschehen?*
11. Betrachten Sie die Trübung des Wassers
  - *Ist das durchgelaufene Wasser mehr oder weniger klar?*
12. Testen Sie den pH-Wert des Wassers im Becherglas, das durch den Boden gelaufen ist und notieren Sie die Ergebnisse. Vergleichen Sie den pH-Wert des Wassers vor und nach dem es durch den Boden geflossen ist. Vergleichen Sie das Ergebnis mit der vorher gegangenen Meinung der Schüler.
  - *Hat sich der pH-Wert verändert?*
  - *Wenn ja, wodurch könnte er sich geändert haben?*

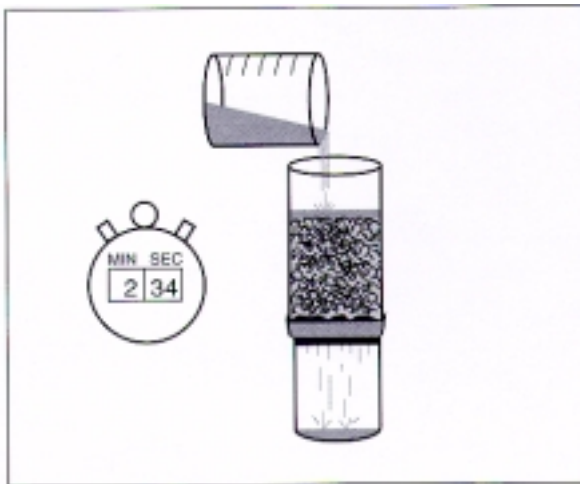


Abb. SOIL-L-2

13. Nehmen Sie die Flasche mit dem gesättigten Boden und fragen die Schüler was geschehen wird, wenn Sie weitere 300 ml darauf gießen. Schreiben Sie die Meinung der Klasse an die Tafel.
  - Wieviel Wasser wird auf der Oberfläche stehen bleiben?
  - Wie schnell wird es durchlaufen?
  - Wird sich der pH-Wert ändern?
  - Wie klar wird das Wasser sein?
14. Gießen Sie das Wasser auf den Boden, nehmen die Zeit, beobachten was passiert und vergleichen die Ergebnisse mit der vorangegangenen Meinung der Schüler.

13. Lassen Sie die Schüler ihre Fragen, Meinungen, Beobachtungen und Schlußfolgerungen in die GLOBE-Mappe schreiben.

## Gruppenarbeit

### Experimentieren mit verschiedenen Bodentypen

1. Gehen Sie durch die Eigenschaften der verschiedenen Bodenproben.
2. Fragen Sie die Schüler, ob das Wasser durch alle Bodentypen mit der gleichen Geschwindigkeit laufen wird und ob sie die gleiche Menge an Wasser halten werden.
3. Diskutieren Sie, welche Bodenproben sich nach Meinung der Schüler anders verhalten werden.
4. Geben Sie jeder Schülergruppe einen anderen Bodentyp.
5. Lassen Sie jede Schülergruppe die Schritte 2-15 mit ihrer Bodenprobe ausführen. Schreiben Sie dieses Mal nicht die Meinungen und Beobachtungen an die Tafel, sondern lassen Sie die Schüler alle Informationen in die GLOBE-Mappe notieren.
6. Jede Gruppe soll die Ergebnisse vor der Klasse präsentieren. Die Berichte sollten Fragen, Meinungen und Beobachtungen bezüglich der folgenden Variablen einschließen. Ebenso sollten sie ihre Schlußfolgerungen zu den einzelnen Variablen ziehen und wie sie das Ergebnis ihres Experiments beeinflussen.
  - Bodeneigenschaften
  - pH-Wert und Trübung vorher
  - Zeit, die das Wasser benötigt, um durch den Boden zu laufen
  - Wassermenge, die durch den Boden gelaufen ist.
  - Veränderung in pH-Wert und Trübung
  - Ergebnisse des Tests auf Sättigung



**Bemerkung:** Anhand der Notizen in der GLOBE-Mappe sollen die Schüler Berichte anfertigen.

7. Gehen Sie alle Ergebnisse mit der ganzen Klasse durch. Lassen Sie die Klasse die Bodeneigenschaften, wie Korngrößenverteilung, Raum zwischen den Bodenpartikeln, organisches Material, wodurch Wasser gehalten wird etc. in Zusammenhang mit der schnellsten und langsamsten Infiltration, Verbleib des Wassers im Boden und Veränderungen des pH-Werts und der Trübung bestimmen.
8. Die Schlußfolgerungen über das Zusammenwirken von Wasser und Boden, die sie durch den Vergleich ihrer vorherigen Meinungen mit den Experimentergebnissen ziehen, sollen in der GLOBE-Mappe notiert werden.
9. Lassen Sie die Schüler selbst entdecken, was sie aus ihrem Experiment gelernt haben z.B. um zu die Probleme von Wasserscheiden und Landnutzung in ihrer Gemeinde zu verstehen. Sie könnten versuchen Fragen wie folgende zu beantworten:
  - *Was könnte passieren, wenn der Boden eines Gebietes stark kompaktiert ist und es stark regnet?*

### Weitergehende Untersuchungen

1. Fordern Sie die Schüler auf, Strategien zum Aufbau von Bodensäulen zu entwickeln, die das Wasser LANGSAMER oder SCHNELLER passieren lassen.  
Ideen für das Brainstorming. Tip: Man könnte den Boden sieben und Schichten mit gleicher Korngröße aufeinanderlegen. Die Schüler können auch Ton oder Mulch hinzufügen. Die Bodensubstanz kann kompaktiert werden. Lassen Sie die Schüler die eigenen Ideen und "Rezepte" aufschreiben. Tip: Für Lehm und tonhaltige Böden kann die Flußrate sehr klein sein. Es könnte empfehlenswert sein, daß die Schüler die Säule an einem Tag aufbauen und am nächsten vor der Unterrichtsstunde den mit dem Wasserdurchfluß beginnen.

Notieren Sie die Ergebnisse der Flußraten. Welche Strategien waren am erfolgreichsten? Bitten Sie die Schüler festzustellen, ob die gleiche Strategie anzuwenden ist, um einen langsamen Fluß zu erhalten und um möglichst viel Wasser im Boden zu halten.

2. Bauen Sie eine Bodensäule nach, die dem Bodenprofil von einem ihrer Meßorte für die Bodencharakterisierung ähnlich ist (verwenden Sie die Proben eines jeden Horizonts in der gleichen Reihenfolge, wie Sie sie im Bodenprofil vorgefunden haben). Beobachten Sie in dieser Bodensimulation das Zusammenwirken von Wasser und Boden.



Abb. SOIL-L-3





### Für Fortgeschrittene

Regen Sie die Schüler dazu an eigene Experimente anhand ihrer Beobachtungen und Ergebnisse zu entwerfen. Damit können sie andere Hypothesen, die sie möglicherweise entwickelt haben, testen. Mögliche Ideen könnten beinhalten:

1. Geben Sie den Schülern die Aufgabe darüber nachzudenken, wie der Boden andere Aspekte der Wasserchemie beeinflussen könnte. Überprüfen Sie die Bodennährstoffe NPK mit dem Bodentestkit zunächst mit dem Boden und der Wasserprobe getrennt. Wiederholen Sie die Messung, nachdem das Wasser durch den Boden gelaufen ist.
2. Die Schüler sollen nun dem Wasser Salz hinzufügen und die vor und nach dem Fluß durch den Boden die Leitfähigkeit oder Salinität überprüfen.
3. Fügen Sie Essig oder Haushaltsnatron zum Wasser und bestimmen Sie pH-Wert und Alkalität von und nach dem Durchlauf.
4. Die Schüler sollen darüber nachdenken, wie die Verdunstung sich auf die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu halten, auswirkt. Durch welche Faktoren wird die Verdunstung kontrolliert? Nehmen Sie zwei Bodenproben vom gleichen Bodentyp, geben Sie diese jeweils in eine Flasche und sättigen sie mit Wasser. Lassen Sie die eine Flasche offen stehen und verschließen Sie die andere mit einer Frischhaltefolie. Stellen Sie beide an ein sonniges Fenster. Das Gewicht des Bodens in jeder der Flaschen wird eine Funktion des Wassers, welches im Zeitverlauf im Boden gehalten wird, sein. Die Schüler können den Gewichtsunterschied im Zeitverlauf für die bedeckte und unbedeckte Probe graphisch darstellen.
5. Legen Sie Mulch oder Grassod über den Boden in der Flasche. Wie wird damit die Geschwindigkeit mit der Wasser durch den Boden fließt, beeinflusst? Wie wirkt es sich auf die Trübung des Wassers, das unten heraus fließt aus? Wie hängt damit die Erosion in der Umwelt zusammen?
6. Fragen Sie die Schüler, welche Veränderungen auftreten, wenn der Boden über eine lange Zeitperiode mit Wasser gesättigt bleibt. Geben Sie Erde in eine Flasche, von welcher der Boden nicht entfernt wurde und sättigen sie mit Wasser. Kann eine Veränderung in der Struktur, Farbe, oder Geruch festgestellt werden? Wie lange dauert es bis Veränderungen eintreten?

Lassen Sie die Schüler die Bodenfeuchtedaten von fünf Stellen untersuchen, an denen ungefähr die gleiche Menge an Niederschlag gefallen ist. Stellen Sie die monatliche Bodenfeuchte für alle fünf Stellen über sechs Monate graphisch dar. Wie unterscheiden sich die Graphen? Mit welchen anderen GLOBE-Daten könnten die Schüler die Schwankungsbreite erklären?

### Leistungsbeurteilung

Die Schüler sollten die wissenschaftliche Methode kennen und wissen, wie sie angewendet wird, um ein Experiment durchzuführen. Auch sollten sie den wissenschaftlichen Hintergrund der Bodenfeuchtigkeit verstehen. Sie sollten in der Lage sein, höheres Denkvermögen zu zeigen, wie z.B. Schlußfolgerungen aus den experimentellen Beobachtungen zu ziehen und diese Schlußfolgerungen mit Beweisen zu untermauern. Die Beurteilung kann anhand der Aufzeichnungen in der GLOBE-Mappe, dem Beitrag an den Diskussionen in der Klasse, dem Beitrag an Fragen, Meinungen, Beobachtungen und Schlußfolgerungen vorgenommen werden. Die Qualität der Vorträge zu beurteilen ist eine weitere Möglichkeit ihren Fortschritt festzustellen. Es ist auch gut, die Schüler einen schriftlichen Bericht oder Papier über ihr Experiment verfassen zu lassen. Die experimentelle Arbeit sollte in Gruppen erfolgen, genauso wie die Präsentationen und Berichte. Auf diese Weise können Sie auch die Fähigkeit zur Zusammenarbeit beurteilen.



Anmerkung: Dieser Lernschritt läßt sich gut in Verbindung mit Protokoll zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit durchführen. Sie können mit diesem Lernschritt beginnen, bevor Sie die Entnahme der Proben organisieren oder Bodenfeuchtmessungen durchführen. Zusätzliche Beobachtungen und das Protokollieren der Flußrate, des Wasservolumens, des pH-Werts, der Wassertrübung etc. können nach Rückkehr ins Klassenzimmer durchgeführt werden (Für einige Böden kann es etwas dauern, bis das gesamte Wasser durch die Säule gelaufen ist.) Dieser Lernschritt bringt auch die Bodenfeuchtigkeit und die Bodencharakterisierung in einen begrifflichen Zusammenhang. Sie werden verstehen, warum die Informationen und Daten, die sie zusammentragen wichtig sind für das Aufstellen von Hypothesen, entwickeln von Experimenten, Testen der Hypothesen, Interpretieren von Beobachtungen und Ziehen von Schlußfolgerungen. Sie werden auch ein Verständnis entwickeln, welches Bedeutung für die Forschung die Bodenfeuchtigkeits- und Bodencharakterisierungsdaten haben können.



## Vom Schlammkuchen zum Ziegelstein

<p><b>Zweck</b> Es sollen die verschiedenen Korngrößen und deren Beitrag zu den Bodeneigenschaften eingeführt werden.</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler werden den Boden sieben, um organisches Material und Kieselsteine zu entfernen. Sie werden dann den Boden mit noch feineren Maschen sieben, um Ton und Sand zu trennen. Sie werden durch Hinzufügen von Wasser Kuchen aus den verschiedenen Bodenkomponenten formen. Diese werden getrocknet und anschließend deren Eigenschaften untersucht. Schließlich werden die Schüler aufgefordert den "perfekten" Kuchen oder einen Ziegelstein durch Kombination verschiedener Bodenanteile zu erstellen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- eine Unterrichtsstunde zum Sieben des Bodens und Formen der Kuchen.</li><li>- Trocknen erfolgt über Nacht.</li><li>- eine Unterrichtsstunde für das Ziegelsteinexperiment.</li><li>- Trocknen erfolgt wieder über Nacht.</li></ul> <p><b>Niveau</b> Alle</p>	<p><b>Inhalte</b> Boden ist aus verschiedenen Materialien zusammengesetzt. Die Größe der Bodenpartikel hilft bei der Bestimmung der Bodeneigenschaften. Boden ist ein wichtiger Baustoff.</p> <p><b>Lernziele</b> <i>Sieben</i> von Bodenproben. <i>Beobachten</i> von Unterschieden in der Korngröße. <i>Messen und Wiegen</i> von Boden. <i>Entwerfen</i> von Experimenten. <i>Testen</i> von Ergebnissen.</p> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- 1 Liter Boden (Lehm) für jede Schülergruppe</li><li>- Mehrere Siebe mit verschiedenen Maschengrößen</li><li>- Stroh (geschnittenes, getrocknetes Gras)</li><li>- Zusätzlich Tonpulver und Sand</li><li>- Alte Eiswürfelformen (für Ziegel)</li><li>- kleine Plastikdeckel oder Platten (für Kuchen)</li><li>- Plastiktischdecke</li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> keine</p>
---	---

### Hintergrund

Boden setzt sich aus Körnern verschiedener Größe zusammen, Gesteinsbruchstücke sind: Sand, Schluff, Ton. Wie viel Wasser vom Boden gehalten werden kann, wie leicht Wasser durch den Boden laufen kann und was geschieht, wenn der Boden austrocknet, hängt von der Zusammensetzung dieser Materialien ab. Boden, der zuviel Ton enthält, kann, wenn er austrocknet, springen - vielleicht haben Sie schon einmal Aufnahmen von Böden mit großen Sprüngen gesehen, oder Sprünge auf einer Schlammfüße gesehen, wenn sich die größeren Teilchen bereits am Boden abgesetzt haben. Boden der zuviel Sand enthält, wird nicht zusammenhalten oder stark genug für Baumaterial sein.

Erde wird seit tausenden von Jahren als Baumaterial verwendet und stellt immer noch eines der wichtigsten Baumaterialien dar.

In Trockengebieten werden die Häuser seit Jahrhunderten mit gebrannten Ziegeln gebaut. Beton und Steine sind in anderen Gebieten übliche Baustoffe. Unabhängig davon, ob Sie die Steine aus Beton oder Ziegel herstellen, es kommt immer darauf an, die richtige Zusammensetzung zu verwenden.



## Inhalt und Vorgehensweise

### Beobachtung

1. Lassen Sie die Schüler den Boden sorgfältig untersuchen. Sie sollen dazu ihre Augen, Hände und ein Vergrößerungsglas einsetzen.
2. Geben Sie den Schülern eine Liste von Eigenschaften, die sie am Boden untersuchen sollten. Z.B. unterschiedliche Korngrößen, Formen, Farbe der Klumpen, anderes Material wie Stecken oder Blätter, "staubt" der Boden, Gewicht etc.
3. Die Schüler sollen überlegen, ob der Boden anders wäre, wenn alle Partikel gleich oder wenn einige der Partikel fehlen würden. Was wäre anders?
4. Beginnen Sie mit dem Sieb, das die größten Maschen hat und sieben Sie die Bodenprobe.
5. Legen Sie alles, was nicht durch den Sieb geht auf einen Haufen - dies sind die größten Teile.
6. Lassen Sie die Schüler die beiden Haufen untersuchen. Was ist an ihnen gleich, was unterscheidet sie? Können sie sich Gründe vorstellen, warum unterschiedlich große Partikel sich für verschiedene Dinge eignen könnten?
7. Nehmen Sie den Boden, der durch das Sieb gegangen ist und sieben Sie ihn mit der nächst kleineren Größe.
8. Legen Sie das, was nicht durch das Sieb gegangen ist zur Seite und fahren Sie mit kleinmaschigeren Sieben fort. Die Schüler haben nun mehrere Haufen mit Bodenmaterial unterschiedlicher Korngröße vor sich.
9. Die Schüler sollen nach Worten suchen, welche die verschiedenen Bodenportionen beschreiben. Führen Sie die Begriffe *Sand*, *Schluff* und *Ton* ein. Beschreibende Wörter sind z.B. *pudrig*, *rauh*, *weich*, *staubig*, etc.

### Experiment

1. Diskutieren Sie mit den Schülern, wie wichtig Boden als Baumaterial ist. Die Schüler sollen auflisten, was mit Erde gebaut wurde, z.B. *Fußgängerwege aus Beton*, *Ziegelsteingebäude*
2. Die Schüler sollen beschreiben wie sie mit dem vor ihnen liegenden Boden einen Ziegelstein herstellen würden.
3. Bitten Sie die Schüler, die Eigenschaften eines guten Ziegelsteins zu beschreiben, z.B. Härte, Springt, Bricht nicht, ist wasserfest etc.
4. Fragen Sie die Schüler, welcher Haufen den besten Ziegelstein oder Schlammkuchen ergeben wird. Sie sollen ihre Wahl begründen. Was passiert mit jedem Haufen, wenn Wasser zugegeben wird?
5. Lassen Sie die Schüler Schlammkuchen und Ziegelsteine herstellen. Geben Sie zu den Erdhaufen Wasser. Die Schüler können die Ziegel mit den Händen formen oder die Eiswürfelform verwenden.
6. Lassen Sie die Teile in der Sonnen oder an einem warmen Ort trocknen.
7. Die Schüler sollen nun die Schlammkuchen oder Ziegel, die sie hergestellt haben testen. Brechen oder springen sie, sind sie weich etc.. Listen Sie die guten und schlechten Eigenschaften auf.

### Weiterführung

1. Fordern Sie die Schüler auf, den perfekten Schlammkuchen oder Ziegel herzustellen, indem sie verschiedene Mengen der einzelnen Bodenpartikel, die sie durch Aussieben getrennt haben, mischen. Zusätzlich können Sie Sand, Ton oder organisches Material zur Verfügung stellen, insbesondere, wenn in der Ausgangsprobe wenig von diesen Materialien enthalten war. Die Schüler wiegen die verschiedenen Anteile aus und schreiben ein "Rezept", damit sie ihre Zusammenstellung mit den anderen Schülern vergleichen zu können.



2. Fortgeschrittenere Schüler können das prozentuale Gewicht der Einzelkomponenten ihrer Vorschrift berechnen.

### Weiterführende Untersuchungen

1. Was passiert, wenn die getrockneten Steine naß werden? Erörtern Sie, wie Häuser aus Ziegel vor Regen geschützt werden.
2. Untersuchen Sie die Teile eines zerbrochenen Ziegels. Welche Elemente lassen sich erkennen? Warum sind die Ziegel wasserfest?

### Leistungsbeurteilung

Lassen Sie die Schüler die Erde im Bereich der Schule oder an dem Meßort für Biologie untersuchen. Fragen Sie die Schüler, wie sie Bereiche mit mehr Ton oder mehr Sand bestimmen können.

Rezeptkarte	Mengenanteil
<b>Zutaten:</b>	
<i>Ton (kleinste Teilchengröße)</i>	
<i>Schluff (mittlere Teilchengröße)</i>	
<i>Sand (größte Teilchengröße)</i>	
<i>sonstige</i>	
<i>sonstige</i>	



## Der Boden vor meiner Tür

<p><b>Zweck</b> Untersuchung von Böden und Bodeneigenschaften</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler lernen die vielfältigen und veränderlichen Eigenschaften von Böden kennen, erkennen Zusammenhänge zwischen Bodenbeschaffenheit und bodenbildenden Faktoren und stellen die Verbindung zwischen der GLOBE-Bodenuntersuchung und ihrer eigenen alltäglichen Umgebung her. An Bodenproben vom eigenen Wohnort werden kennzeichnende Merkmale des Bodens verdeutlicht und Unterschiede zu den Ergebnissen der Mitschüler herausgearbeitet. Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften der jeweiligen Bodenproben und dem Ort und Verfahren ihrer Entnahme werden in der gesamten Klasse beschrieben. Ältere Schüler erstellen ein Bodenklassifikationsschema.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> Etwa 1 - 2 Unterrichtsstunden zur Ermittlung der Bodeneigenschaften sowie weitere 1 - 2 Unterrichtsstunden zur Diskussion. Zur etwaigen Trocknung der Proben und Beschreibung von Unterschieden kann eine zusätzliche Unterrichtsstunde aufgewendet werden.</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p>	<p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Schwankungen der Bodenbeschaffenheit innerhalb einer Gegend</li><li>– Zusammenhang zwischen Bodeneigenschaften und bodenbildenden Faktoren</li><li>– Klassifizierbarkeit von Böden anhand ihrer Merkmale</li></ul> <p><b>Lernziele</b> <i>Entnahme</i> von Bodenproben <i>Klassifikation</i> von Böden</p> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Zeitungspapier</li><li>– 1-l-Plastikbeutel</li><li>– Geographische Karte der Umgebung (Topographie- oder Straßenkarte, die den ganzen Schulbezirk umfaßt)</li><li>– Vergrößerungsglas</li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> Am Durchführungstag ist im Klassenzimmer eine ausreichend große Fläche für die Durchführung der Bodenuntersuchungen vorzubereiten (z.B. durch Auslegen der Labortische mit Zeitungspapier). Wenn die Schüler ihre Bodenproben auch trocknen sollen, muß ein Ort verfügbar sein, an dem diese über mehrere Tage ungestört liegenbleiben können. (Siehe Hinweise zur Bodentrocknung im Abschnitt <i>Protokolle - Hinweise zur Durchführung der Bodencharakterisierung</i>).</p>
---	---

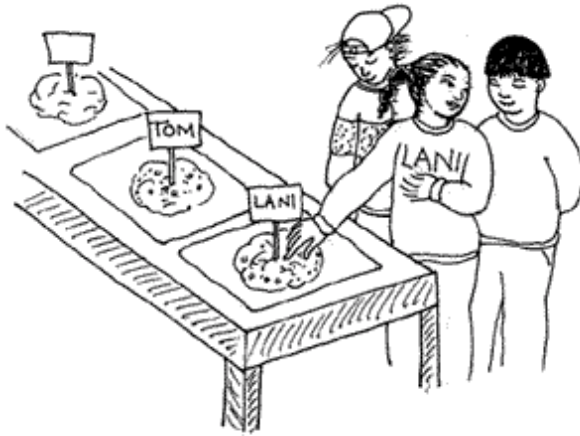
### Hintergrund

Die Bodenbeschaffenheit unterscheidet sich je nach dem Ort und der Tiefe der Probenentnahme. Leiten Sie die Schüler im Zuge ihrer Untersuchung durch gezielte Fragen zum Beobachtungsgegenstand an: Welche Bodeneigenschaften sind erkennbar? Ist der Boden naß oder trocken? Welche Farben hat er? Ist die Zusammensetzung des Bodens erkennbar (organische Materie pflanzlicher/tierischer Herkunft, Gesteinssplitter, Sand, Ton usw.)? Welchen Geruch hat der Boden? Inwieweit unterscheidet sich der getrocknete Boden von der ursprünglichen Probe? Gibt es Unterschiede innerhalb derselben Probe? Wirkt sich das Verfahren der Probengewinnung auf das Ergebnis aus? Wie würden die Schüler ihre Bodenproben einordnen bzw. klassifizieren?

### Inhalt und Vorgehensweise



Bevor Sie den Schülern aufgeben, Bodenproben zu sammeln, fragen Sie sie, wie viele verschiedene Proben, nach ihrer Einschätzung, jeder einzelne in der Klasse in seiner Umgebung finden wird. Dazu benötigen die Schüler vorhergehende Erfahrungen und Kenntnisse.



### **Vor dem Unterricht**

Fordern Sie die Schüler auf, Bodenproben von zuhause mitzubringen (möglichst in 1-l-Plastikbeuteln). Auch eine Dokumentation zur Probenentnahme soll mitgebracht werden (z.B. Ort, von dem die Probe stammt, Grabungstiefe, bisherige Aufbewahrung usw.). Für jüngere Schüler kann ein Protokoll zur Probenentnahme entweder in der Klasse erarbeitet oder vom Lehrer vorgegeben werden.

### **Während des Unterrichts**

In der Klasse sollen die Schüler ihre Bodenproben auslegen und genau untersuchen. Die gemachten Beobachtungen sind in den GLOBE-Mappen zu protokollieren.

Jeder Schüler soll einen Mitschüler ermitteln, dessen Bodenprobe seiner eigenen ähnlich ist. Die Schüler sollen hierzu aufschreiben, weshalb sie die beiden Proben für ähnlich halten.

Jeder Schüler soll einen Mitschüler ermitteln, dessen Bodenprobe von seiner eigenen verschieden ist. Die Schüler sollen notieren, weshalb sie die beiden Proben für verschieden halten.

Lassen Sie die Schüler durch Diskussion in der Klasse die verschiedenen Merkmale herausarbeiten, die sie zur Beschreibung ihrer Böden verwendet haben. Schreiben Sie diese Merkmale an die Tafel. Fordern Sie die Schüler auf, zusammengehörige Merkmale zu Gruppen zu ordnen. Führen Sie Begriffe zur Beschreibung der zugrunde liegenden Ähnlichkeiten ein (z.B. Farbe, sensorischer Eindruck, Wurzeln in der Probe). Lassen Sie die Schüler beschreiben, in welchem Zusammenhang die beobachteten Bodenmerkmale zu den Bodenbildungsfaktoren stehen.

Erörtern Sie, welche Faktoren zur Ausbildung unterschiedlicher Merkmale geführt haben könnten (fünf bodenbildende Faktoren, Probenentnahmeeffekte usw.).

Lassen Sie die Schüler ihre Hypothese mit dem Ergebnis vergleichen, wie viele verschiedene Bodenproben in der Klasse zusammengetragen wurden.

Diskutieren Sie mit den Schülern, wie ihre Kenntnisse über die Bodeneigenschaften sich bei den Untersuchungen verändert haben. Was haben sie dabei gelernt? Listen Sie solche Dinge wie Bodeneigenschaften, Variieren der Bodeneigenschaften innerhalb eines begrenzten Gebiets etc. auf.



## Abwandlungen für jüngere bzw. ältere Schüler

Jüngere Schüler sollten sich auf Beobachtungen und Vergleiche konzentrieren.

Ältere Schüler können gruppen- oder klassenweise weitergehende Arbeiten durchführen, z.B.

- Erarbeitung eines Standardverfahrens zur Probengewinnung und Entnahme einer zweiten Probe nach diesem Standardverfahren (mit anschließendem Vergleich)
- Erarbeitung eines Schemas zur Bodenklassifikation anhand von Merkmalen
- Trocknung der Bodenproben über verschiedene Zeiträume und Vergleich der physikalischen Unterschiede zwischen verschiedenen lange getrockneten Proben.
- Eintragung der Probenentnahmeorte sowie der Verteilung verschiedener Bodensorten auf einer Landkarte.

## Weitergehende Untersuchungen

Suchen Sie nahegelegene Grabungsorte (z.B. Baustellen) auf und vergleichen Sie die dort gemachten Beobachtungen mit den Beschreibungen der von zuhause mitgebrachten Proben.

Hinweis: Sicherheit ist stets das wichtigste Kriterium!

Wählen Sie eine andere Schule aus einer Region aus, die für bestimmte Eigenschaften bekannt ist (z.B. Regenzeiten, dichte Bewaldung usw.). Es sollte sich um eine Schule handeln, die im Rahmen des GLOBE-Programms aktiv Mitteilungen bzw. Daten beiträgt. Fordern Sie die dortigen Schüler über GLOBEMail auf, ihre Böden zu beschreiben, und übermitteln Sie im Gegenzug Ihre eigenen Bodenbeschreibungen dorthin.

Untersuchen Sie, welche Böden die besten Lebensbedingungen für Regenwürmer und andere Bodentiere bieten.

Erarbeiten Sie ein Schema zur Einordnung (Klassifikation) von Böden anhand bestimmter Bodenmerkmale.

## Leistungsbeurteilung

Legen Sie den Schülern eine Probe eines ihnen unbekanntem Bodens vor und stellen Sie (je nach Alter) die Aufgabe,

- diesen Boden in Ihren GLOBE-Mappen unter Verwendung möglichst vieler Adjektive zu beschreiben
- aus den beobachteten Merkmalen Schlußfolgerungen auf die Geschichte und den Entnahmeort zu ziehen.





## Boden aus der Feldperspektive - Arbeit mit dem Spaten

<p><b>Zweck</b> Verdeutlichung der Veränderlichkeit von Bodeneigenschaften innerhalb einer Region</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler untersuchen Schwankungen der Bodenbeschaffenheit im Umkreis der Schule. Dabei stellen sie fest, daß Merkmale wie z.B. Feuchtigkeit und Temperatur auch innerhalb derselben Gegend sehr unterschiedlich ausfallen können. Sie lernen, den Einfluß von Faktoren wie z.B. Gefälle, Schatten, Pflanzenbewuchs und Verdichtungsgrad auf das Aussehen und die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens zu beurteilen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> Zwei Unterrichtsstunden, davon 1 für die Exkursion und 1 zur Erörterung von Ergebnissen und Kausalzusammenhängen. werden.</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p>	<p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Beschreibbarkeit von Bodenprofilen auf der Grundlage der fünf Bodenbildungsfaktoren</li><li>– Starke Veränderlichkeit des Bodenbeschaffenheit innerhalb eng umgrenzter Gebiete</li><li>– Einfluß von Bodenfaktoren auf Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur</li></ul> <p><b>Lernziele</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– <i>Beobachtung</i> und Beschreibung von Bodenproben</li><li>– <i>Datensammlung</i> vor Ort</li><li>– <i>Erkennen von Zusammenhängen</i> zwischen Bodenbildungsfaktoren und den von ihnen geprägten Böden</li></ul> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Kleine Schaufel oder Maurerkelle</li><li>– GLOBE-Mappen</li></ul>
---	--

### Hintergrund

#### Einflüsse auf die Bodenbeschaffenheit

Die Beschaffenheit des Bodens ist an jedem Punkt der Erde einzigartig. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die fünf Bodenbildungsfaktoren an jedem Ort auf unwiederholbare Weise zusammenwirken. Betrachten Sie ihren Untersuchungsstandort unter dem Aspekt, wie sich die Auswirkungen der fünf Bodenbildungsfaktoren an einzelnen Stellen unterscheiden.

Folgende Merkmale können z.B. in den einzelnen Böden verschieden ausgeprägt sein:

- Farbe
- Art und Dichte des Pflanzenbewuchses
- Häufigkeit von Wurzelwerk an der Bodenoberfläche
- Form der Bodenpartikel (sog. Bodenstruktur)
- Sensorische Beschaffenheit des Bodens (sog. Bodentextur)
- Menge und Größe der Steine im Boden
- Zahl der Würmer und anderer Tiere im Boden
- Wärme/Kälte bzw. Nässe/Trockenheit des Bodens (nasser Boden fühlt sich klebrig an und klumpt, feuchter Boden fühlt sich naß und kalt an, trockener Boden scheint überhaupt keine Feuchtigkeit zu enthalten).

#### Einflüsse auf die Bodenfeuchte



Aufgrund seiner einzigartigen Beschaffenheit zeichnet sich jeder Boden auch durch einen charakteristischen Wassergehalt aus. Die Bodenfeuchte ist von zahlreichen Faktoren abhängig - z.B. davon, wie schnell Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel) in den Boden eindringen (ihn "infiltrieren") bzw. aus ihm ablaufen, welche Temperaturen herrschen und welche Pflanzen auf ihm wachsen. In stark verdichtetem Boden (z.B. einem häufig benutzten Fußweg) dringt das Wasser langsamer in den Boden ein als auf weniger stark frequentierten Flächen. Mitunter sorgt die Natur für ein beschleunigtes Austrocknen des Bodens. So kann z.B. in trockenen Klimazonen das sog. "Wüstenpflaster" (eng aneinander liegende Felsstücke, die den sandigen Untergrund wie Pflastersteine versiegeln) die Ablaufmenge erhöhen.

Auf einigen Böden bildet sich aufgrund von Wasser- und Windeinflüssen eine Oberflächenkruste. Auch Gefälle kann den Regenablauf beschleunigen. Während der Niederschlag von steilen Hängen schnell abläuft, bilden sich in der Ebene Pfützen. Pflanzenwurzeln lockern den Boden auf und erzeugen ein *poröses* Medium, das für Wasser leicht durchlässig ist. Sandige Böden lassen Niederschläge in der Regel schneller ablaufen als Tonböden.

Die Temperaturschwankungen an Ihrem Untersuchungsstandort mögen auf den ersten Blick gering erscheinen. Punktweise können jedoch erhebliche Unterschiede bestehen. Kühlender Schatten wird nicht nur von Bäumen erzeugt, sondern ist auch unter Steinen und auf der sonnenabgewandten Seite von Felsstücken anzutreffen. Der Boden kann an warmen Orten trockener, an kühlen und schattigen Stellen dagegen nasser sein.

Auch Pflanzen wirken sich auf die Bodenfeuchte aus, da sie sowohl Schatten erzeugen als auch Wasser aufnehmen können.

## **Inhalt und Vorgehensweise**

### **Stellen Sie zunächst folgende Fragen:**

1. Welche Seite eines Abhangs erhält auf unserer Erdhalbkugel mehr Sonnenlicht - die Nord- oder Südseite?
2. Angenommen, jemand möchte Würmer (oder anderes Kleingetier) als Angelköder suchen. Wo findet er diese wohl am ehesten? Warum? Erinnert Euch daran, daß Tiere Wasser, Luft und Nährstoffe benötigen, die in den unterschiedlichsten Böden vorhanden sind. In verdichteten Böden finden Tiere erschwerte Lebensvoraussetzungen vor.
3. Wo wachsen mehr Pflanzen - an Berghängen oder in Tälern? Warum?

### **Am Untersuchungsort**

1. Teilen Sie die Klasse in Gruppen von 3 - 5 Schülern auf. Jede Gruppe muß mit einer kleinen Schaufel bzw. Maurerkelle und den GLOBE-Arbeitsheften ausgestattet sein.
2. Lassen Sie die Schüler die unterschiedlichen Bodenverhältnisse an verschiedenen Stellen des Untersuchungsorts erkunden, indem Sie kleine Mengen Bodenmaterial ausgraben, betrachten und anfühlen. Die Schüler sollen Ihre Ergebnisse in dem GLOBE-Arbeitsheft festhalten.

Fordern Sie die Schüler auf, auch die verschiedenen Pflanzen- und Gesteinsarten, Wurzeln und Tiere (z.B. Regenwürmer) zu notieren. Zudem sollen sie die Festigkeit des Bodens, Entfernungen zu markanten Landschaftspunkten und andere Beobachtungen protokollieren. Leitfragen sind dem nebenstehenden Kasten ("Die fünf Bodenbildungsfaktoren") zu entnehmen.



### Die fünf Boden-bildenden Faktoren

**Klima:** Gibt es in einem Geländebereich mehr Schatten/Sonne, höhere/niedere Temperaturen bzw. mehr/weniger Bodenfeuchte?

**Topographie:** Gibt es Gefälleunterschiede am Untersuchungsort? An welchen Stellen ist der Boden eben? Sind Abhänge bzw. Steigungen erkennbar? Welche Punkte lassen sich im Gelände unterscheiden (Gipfel, Hangmitten, Senken)? Wo liegt der höchste, wo der niedrigste Punkt?

**Flora/Fauna:** Welche Unterschiede in der Vegetation sind am Untersuchungsort festzustellen? Gibt es Hinweise auf Tiere? Welche Insekten leben hier? Wie wird das Gelände von Menschen genutzt (z.B. als Grünanlage, Acker, Rasen, Wald, Pflanzung, städtischer Bereich)?

**Untergrund des Bodenprofils:** Aus welchem Untergrundmaterial ist der Boden am Untersuchungsort entstanden? Gibt es an der Oberfläche Reste von Felsgestein, die einen Hinweis bieten könnten? Liegen diese Steine in Flußnähe, so daß sie möglicherweise angeschwemmt wurden? Können Sie vom Wind (z.B. Sanddüne), durch Schwerkraft (z.B. Erdbeben), Gletscher- oder Vulkantätigkeit dorthin gelangt sein? (Diese Fragen setzt eventuell einige vorbereitende Lektüre zur Geologie des Standorts voraus).

**Zeit:** Wie lange liegt das Gelände bereits unberührt? Weist die Oberfläche einen hohen Anteil organischer Substanz auf? Wachsen dort Gräser, Bäume, Nutzpflanzen oder sonstige Vegetation seit langem ohne menschliche Eingriffe? Hat in jüngster Zeit Bautätigkeit stattgefunden? Wenn es sich um einen Acker handelt - wurde dieser in jüngster Zeit gepflügt? Wurden Rodungsarbeiten durchgeführt? Haben Überschwemmungen oder sonstige natürliche Störungen stattgefunden, die sich möglicherweise auf die Bodenbildung ausgewirkt haben?

Welche Temperatur- und Feuchtigkeitsunterschiede sind zwischen Sand- und Tonboden zu erwarten? Wie wirkt sich dies auf das Pflanzenwachstum aus?

Lassen Sie die Schüler die untersuchten Stellen nach dem Grad der Bodenfeuchte (von "naß" bis "trocken") ordnen. Arbeiten Sie die Beeinflussung der Bodenfeuchte durch Standortbedingungen, Vegetationsart, Lage und sonstige Merkmale des Untersuchungsortes heraus.

### Ergänzende Aufgaben

Lassen Sie die Schüler die Bodenbedingungen am Untersuchungsort in Form einer Bodenkarte skizzieren.

Bitten Sie die Schüler, sich über mögliche Formen der "Landschaftsgestaltung" am Untersuchungsort Gedanken zu machen. Wenn dies ein Garten wäre - wo sollten welche Pflanzen gesetzt werden?



---

## Leistungsbeurteilung

### Stellen Sie den Schülern folgende Fragen:

1. An welchen Punkten des Geländes dürften ähnlichste Bodenbedingungen vorliegen? An welchen Stellen haben wohl vergleichbare Bodenbildungsfaktoren eingewirkt?
2. An welchen Stellen sind wohl die für diese Gegend typischsten Böden anzutreffen? In welchen großflächigen Bereichen herrschen ähnliche Bodenbedingungen?
3. Welche Landschaftselemente wirken sich auf die Bodenfeuchte aus?
4. Wenn jemand in diesem Gelände eine Stelle zur Untersuchung der Bodenfeuchte auswählen müßte - worauf müßte er achten?



## Bestimmung des Wassergehalts

### **Zweck**

Einführung des Prinzips der "gravimetrischen" Feuchtigkeitsmessung (Berechnung des Wassergehalts in einer Bodenprobe oder sonstigem Material durch Gewichtsermittlung vor und nach dem Trocknen).

### **Übersicht**

Die Schüler wiegen einen nassen Schwamm, pressen ihn aus und wiegen ihn dann erneut. Auf diese Weise entwickeln Sie ein Verständnis für den Wassergehalt bestimmter Objekte sowie für die Meßbarkeit dieser Feuchtigkeit. Die gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend durch Wiegen nasser und trockener Bodenproben auf den Boden übertragen. Danach wird das Prinzip des Naß/Trocken-Vergleichs auf andere Materialien angewandt.

### **Zeitaufwand**

Etwa zwei Unterrichtsstunden für die anfänglichen Messungen mit Schwamm und Bodenproben, anschließend etwa 10 - 15 Minuten pro Tag zur Kontrolle der Trocknung anderer Objekte.

### **Niveau**

Alle

### **Inhalte**

- Unterschiedliches Wasseraufnahmevermögen verschiedener Objekte

- Wasserfreisetzung bei der Trocknung
- Druck und Verdunstung als zwei Ursachen der Wasserfreisetzung
- Wassergehalt einer Probe als Maß der Bodenfeuchte

### **Lernziele**

- *Messung des Gewicht* trockener und nasser Gegenstände
- *Vergleich* des Wasseraufnahmevermögens verschiedener Objekte
- *Beobachtung* der trocknungsbedingten Gewichtsveränderung im Zeitverlauf
- *Berechnung* des Feuchtigkeitsgehalts in Bodenproben und anderen Gegenständen
- *Abschätzung* des Feuchtigkeitsgehalts verschiedener Objekte
- *Vergleich* der Bodenfeuchtigkeiten in verschiedenen globalen Regionen anhand der GLOBE-Darstellungen

### **Hilfsmittel**

- Waage
- Mehrere Schwämme
- Papierhandtücher
- Millimeterpapier (für Mittel- und Fortgeschrittenengruppen)
- Bodenproben
- Sonstige zu trocknende Objekte (z.B. Obst, Laub, Gemüse)

## Hintergrund

Viele Objekte enthalten Wasser. Für Menschen und Tiere ist diese Feuchtigkeit eine wichtige Existenzvoraussetzung. Auch im Boden ermöglicht sie erst das Überleben von Pflanzen und Tieren. Anhand der Bodenfeuchte läßt sich relativ zutreffend voraussagen, welche Arten in der betreffenden Region gedeihen können. Dies ist der Grund, weshalb Dr. Washburne und Dr. Levine für ihre Forschungsarbeit Bodenfeuchtigkeitsdaten benötigen.

Eine Methode zur Ermittlung der Bodenfeuchte besteht in der sogenannten gravimetrischen Messung. "Gravimetrisch" bedeutet, daß das Gewicht (d.h. die Schwere) eines Gegenstandes mittels einer Waage ermittelt wird. Zur Berechnung der Bodenfeuchte müssen wir das Gewicht des Wassers feststellen, das in diesem Boden enthalten ist. Hierzu wird eine Bodenprobe zunächst *vor* und dann *nach* ihrer Trocknung gewogen. Der Gewichtsunterschied entspricht der



Wassermenge, die in der Probe ursprünglich vorhanden war. Das Ergebnis wird dann mittels Division durch das Trockengewicht der Probe standardisiert.

Ein Beispiel: eine Handvoll Bodenmaterial wird gewogen. Es stellt sich heraus, daß sein Gewicht 100 g beträgt. Nach der Trocknung ergibt die Gewichtsmessung nur noch 90 g. Aus dem Boden müssen demnach 10 g Wasser verdunstet sein.

Um den Effekt der Probengröße auszuschließen, muß dieses Ergebnis noch anhand des Trockengewichts der Probe standardisiert werden. Dieses beträgt nach Abzug des Behälters noch  $90 - 30 = 60$  g. Aus der Division von  $10 : 60$  ergibt sich ein Wert von 0,167. Dies ist das Maß für die Bodenfeuchte (Bodenwassergehalt). Da die Bestimmung mittels einer Waage erfolgt, die auf dem Prinzip der Schwerkraftmessung basiert, haben wir somit die "gravimetrische Bodenfeuchte" ermittelt.

Die Bodenfeuchte läßt sich problemlos berechnen, sofern die Proben sorgfältig gehandhabt und die Messungen präzise durchgeführt werden. An trockener Luft kann Feuchtigkeit sehr schnell verdunsten (man betrachte nur einmal, wie schnell der menschliche Körper trocknet, wenn man an einem heißen, trockenen Tag aus dem Schwimmbad steigt). Dies gilt auch für den Wassergehalt des Bodens. Es ist daher wichtig, die Bodenproben nach der Entnahme in einem dicht verschlossenen Behälter aufzubewahren.

Die Bodenfeuchte wird von zahlreichen Umweltfaktoren wie z.B. Temperatur, Niederschläge und Bodentyp, aber auch von topographischen Gegebenheiten wie z.B. Gefälle und Höhe über dem Meeresspiegel beeinflusst. Eine wichtige Rolle spielt Bodenfeuchte vor allem in der Landwirtschaft, wo viele arbeitsintensive Bearbeitungsvorgänge (Pflügen, Eggen) der Verbesserung von Bodeneigenschaften dienen, die unmittelbar mit der Feuchtigkeit in Zusammenhang stehen. In einigen Regionen werden Nutzpflanzen in Terrassenkulturen anbaut, um ein zu schnelles Abfließen des Wassers zu verhindern. Anderenorts müssen gewölbte Felder angelegt werden, um Staunässe schneller abzuführen. Verschiedene Nutzpflanzen benötigen im Verlaufe ihres Wachstums unterschiedliche Feuchtigkeiten. Die Kenntnis der im Jahresverlauf schwankenden Bodenfeuchte erlaubt dem Landwirt, die richtigen Pflanzen anzubauen.

Im Zuge dieses Lernschritts messen die Schüler den Feuchtegehalt mehrerer Objekte vor und nach der Trocknung. Die Versuche sind in fünf Stufen von steigendem Schwierigkeitsgrad aufgeteilt.

#### **Stufe 1 - Auspressen von Schwämmen**

Ein nasser Schwamm wird gewogen, dann ausgepreßt. Anschließend werden der trockene Schwamm und das ausgepreßte Wasser gewogen. Die Schüler lernen, daß das Gewicht des nassen Schwamms im wesentlichen gleich dem Gewicht des trockenen Schwamms plus dem Wassergewicht ist. Das Auspressen stellt eine sehr anschauliche und schnelle Form der Entwässerung dar.

#### **Stufe 2 - Verdunstung aus dem Schwamm**

Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie bei dem obigen Experiment, außer daß der Schwamm nicht ausgepreßt, sondern nur für einige Stunden bzw. Tage zur Trocknung ausgelegt wird. Das Gewicht des trockenen Schwammes sollte etwa gleich demjenigen sein, das in Stufe 1 ermittelt wurde (wobei das Wasser durch die Verdunstung evtl. gründlicher entfernt wird als durch das Auspressen).



### **Stufe 3 - Messung der Bodenfeuchte**

Hier wird das Prinzip der Austrocknung durch Verdunstung auf den Boden übertragen, indem die Schüler Bodenproben trocknen lassen und diese vor und nach der Trocknung wiegen. Durch Vergleich mehrerer Bodenproben entwickeln Sie ein Gefühl für den typischen Wertebereich.

### **Stufe 4 - Trocknung sonstigen Materials**

Die Schüler übertragen ihre in der Bodenfeuchtemessung gewonnenen Kenntnisse auf die Messung anderer Objekte wie z.B. Obst oder Laub. Zur Trocknung des Materials werden versuchsweise verschiedene Methoden eingesetzt (z.B. Ventilator, Auspressen, Sonnenlicht, Salz usw.). Die jeweilige Feuchtigkeit wird zudem geschätzt.

### **Stufe 5 - Verwendungen der GLOBE-Darstellungen der globalen Bodenfeuchte**

Anhand der GLOBE-Darstellungen der globalen Bodenfeuchte im Internet gewinnen die Schüler kartographische Erkenntnisse über die Verteilung der Bodenfeuchte in anderen Teilen der Welt. Sie diskutieren die Ursachen der festgestellten Unterschiede und führen je nach Interessenschwerpunkt und grafischer Darstellung weitere Untersuchungen durch.

GLOBE verfügt derzeit noch nicht über ausreichende Bodenfeuchtedaten, um grafische Darstellungen zu erstellen. Sobald genügend Daten vorliegen, werden solche Darstellungen ausgearbeitet und im Internet bereitgestellt.

## **Inhalt und Vorgehensweise**

### **Vorbereitungsübung**

Wenn die Schüler im Umgang mit der Waage unerfahren sind, lassen Sie sie diesen durch Wiegen verschiedener Gegenstände einüben.

### **Stufe 1 - Auspressen von Schwämmen**

1. Schwamm in Wasser legen, bis er sich ganz vollgesaugt hat. Anschließend das Naßgewicht bestimmen und notieren. Fragen Sie die Schüler, wieviel der Schwamm ihrer Meinung nach wohl nach dem Trocknen wiegen wird. Schätzwerte ebenfalls notieren.
2. Schwamm ausdrücken und erneut wiegen. Trockengewicht notieren und das Verhältnis zwischen geschätztem und gemessenem Trockengewicht mit den Schülern diskutieren.
3. Fragen Sie die Schüler, wieviel Wasser wohl in dem Schwamm enthalten war. Lassen Sie sie das Berechnungsverfahren ggf. selbst erarbeiten. (Die Wassermenge ist gleich Naßgewicht - Trockengewicht, also z.B. 200 g Naßgewicht - 80 g Trockengewicht = 120 g Wasser).
4. Wiederholen Sie die Messung mit einem anderen Schwamm. Lassen Sie die Schüler ermitteln, welcher Schwamm mehr Wasser aufnehmen kann.
5. Sie verfügen damit über den Wert des absoluten Wassergehalts. Berechnen Sie nun - mittels Division durch das Trockengewicht - den relativen Wassergehalt.
6. Der Versuch läßt sich dadurch ergänzen, daß das ausgepreßte Wasser in einem Kunststoffbecher aufgefangen und nachgewogen wird (nicht vergessen, das Gewicht des



Bechers abzuziehen, um das reine Wassergewicht zu erhalten!). Das Istgewicht des Wassers sollte gleich dem zuvor errechneten Gewicht sein.

7. Sorgen Sie dafür, daß den Schülern in der Diskussion deutlich wird, was unter dem Begriff des "Wasseraufnahmevermögens" zu verstehen ist und wie dieses zwischen den einzelnen Schwämmen variieren kann.

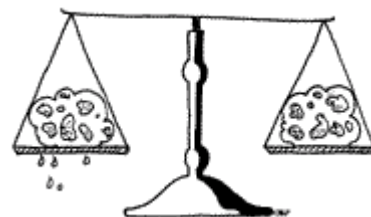
## Stufe 2 - Verdunstung aus dem Schwamm

1. Fragen Sie die Schüler, was passieren wird, wenn man den Schwamm über Nacht auf einem Tablett liegen läßt, anstelle ihn auszupressen. Wenn die Schüler mit dem Prinzip der Verdunstung vertraut sind, kann es an dieser Stelle erläutert werden. Andernfalls sollte diese Diskussion in einer späteren Phase dieses Lernschritts stattfinden.
2. Lassen Sie die Schüler den nassen Schwamm wiegen, sein Gewicht notieren und ihn dann auf einem Tablett (vorzugsweise in der Sonne) offen bis zum nächsten Tag auslegen.
3. Am nächsten Tag wiegen die Schüler den Schwamm erneut (er sollte inzwischen getrocknet sein).
4. Fragen Sie die Schüler, wo das Wasser geblieben ist. Ältere Schüler, die bereits wissen, was Verdunstung ist dürften die Antwort kennen. Wenn nicht, sollte es an dieser Stelle erklärt werden.
5. Berechnen Sie, wieviel Wasser aus dem Schwamm entwichen ist, um auf diese Weise seine Wasseraufnahmefähigkeit zu ermitteln. Das Ergebnis unterscheidet sich evtl. von dem Meßergebnis, das durch Auspressen des Schwamms gewonnen wurde. Fragen Sie die Schüler, weshalb die Ergebnisse einander ähneln (weil sowohl durch das Auspressen als auch durch die Verdunstung der Wassergehalt zum größten Teil entweicht). Fragen Sie sie dann, warum die Meßwerte nicht völlig identisch sind (weil durch die Verdunstung mehr Wasser aus dem Schwamm entfernt wird, auch wenn dies länger dauert).
6. Fragen Sie die Schüler, weshalb das Wasseraufnahmevermögen eine wichtige Eigenschaft von Schwämmen darstellt, und welche Gegenstände wohl sonst noch eine hohe Wasseraufnahmefähigkeit aufweisen müssen.

## Hausaufgabe

Teilen Sie den Schülern mit, daß sie bald das Wasseraufnahmevermögen von Böden messen werden.

Bitte Sie sie, eine Bodenprobe von zuhause mitzubringen. Sie sollen die Probe in einen nicht zu großen Gefrierbeutel füllen und diesen anschließend dicht verschließen, damit keine Feuchtigkeit entweichen kann.







### Stufe 3 - Messung der Bodenfeuchte

1. Bitten Sie die Schüler, ihre Bodenproben (noch in den versiegelten Gefrierbeuteln) vor sich auf den Tisch zu legen. Fragen Sie, wie sich die Feuchtigkeit des Bodens wohl bestimmen läßt. Arbeiten Sie heraus, daß es darauf ankommt, die Probe vor und nach der Trocknung zu wiegen (wobei es zahlreiche Trocknungsmethoden gibt), genau wie dies zuvor mit dem Schwamm durchgeführt wurde.
2. Lassen Sie jeden Schüler (bzw. jede Gruppe) den verschlossenen Gefrierbeutel öffnen, den nassen Boden wiegen und ihn dann zur Trocknung auslegen. Für die Trocknung sind 1 - 2 Tage anzusetzen.
3. Sobald die Probe trocken ist (die Schüler sollen dies durch Anfassen kontrollieren), bitten Sie die Schüler, alle Bodenproben erneut zu wiegen. Fragen Sie sie, wieviel Wasser aus der Probe verdunstet ist.
4. Führen Sie die Formel für den Bodenwassergehalt ein:

$$\text{Bodenwassergehalt} = \frac{(\text{Naßgewicht} - \text{Trockengewicht})}{(\text{Trockengewicht} - \text{Behältergewicht})} \times 100$$

Dies ist die Formel, in dem Protokoll zur Bodenfeuchtheitsmessung verwendet wird. Bei einem Naßgewicht von 100 g, einem Trockengewicht von 90 g sowie einem Behältergewicht von 30 g errechnet sich z.B. der Bodenwassergehalt wie folgt:

$$\frac{100 \text{ g} - 90 \text{ g}}{90 \text{ g} - 30 \text{ g}} = \frac{10}{60} = 0,167$$
$$100 \times 0,167 = 16,7$$

5. Lassen Sie jeden Schüler den Wassergehalt seiner Bodenprobe bestimmen. Anschließend sollen die Schüler ihre Ergebnisse vergleichen. Korrigieren Sie etwaige Fehler in der Berechnung. Diskutieren Sie den Wertebereich und lassen Sie die Schüler überlegen, wodurch sich diese Abweichungen erklären. Fordern Sie sie auf, die verschiedenen Böden auf die Ursachen dieser Unterschiede zu untersuchen.

### Mittel- und Fortgeschrittenengruppe

Im Verlaufe der vorstehend beschriebenen Unterrichtseinheit können ältere Schüler den Boden einmal stündlich wiegen und die Ergebnisse in Kurvenform darstellen, um festzustellen, ob die Wasserverdunstung konstant oder mit wechselnder Geschwindigkeit erfolgt (z.B. langsamere Verdunstung bei nahender Trocknung oder beschleunigte Verdunstung bei Sonneneinstrahlung). Auch Witterungseinflüsse lassen sich in diese Diskussion einbringen, z.B. wie schnell der Boden wohl an sehr trockenen oder sehr feuchten Tagen trocknet.



## Hausaufgabe

Teilen Sie den Schülern mit, daß nun andere Gegenstände getrocknet werden sollen. Bitten Sie sie, Obst, Gemüse, Laub, Steine oder anderes Material mitzubringen, mit dem sie diese Versuche durchführen möchten.

### Stufe 4 - Trocknung anderer Objekte

1. Lassen Sie die Schüler das mitgebrachte Material vorzeigen und besprechen. Fordern Sie sie auf, den Wassergehalt jedes Materials abzuschätzen. Notieren Sie diese Schätzwerte (entweder nach einzelnen Schülern oder als Gesamtwert für die Klasse).
2. Bitten Sie die Schüler, jedes Objekt naß zu wiegen und sein Naßgewicht zu protokollieren.
3. Überlegen Sie gemeinsam mit den Schülern, wie sich das mitgebrachte Material wohl trocknen läßt. Zuvor wurde das Wasser durch Auspressen und Verdunstung entfernt. Welche sonstigen Möglichkeiten gibt es? Wie läßt sich die Trocknung beschleunigen oder verlangsamen? (Beispiele: Auslegen an der Sonne, Ventilator, Herdplatte, Mikrowellenherd, Einlegen in Salz, Abdeckung mit einem Kunststoffbehälter, Bestrahlung mit einer Lampe).
4. Treffen Sie Ihre Auswahl unter den bestehenden Möglichkeiten und probieren Sie einige Verfahren durch. Je mehr Zeit zur Verfügung steht, desto mehr Versuche können die Schüler durchführen.
5. Nach einigen Tagen, wenn das mitgebrachte Material völlig trocken ist, sollen die Schüler sein Gewicht erneut bestimmen. Lassen Sie sie dann den Feuchtigkeitsgehalt jedes Materials berechnen. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den eingangs notierten Schätzungen. Welche Ergebnisse waren für die Schüler überraschend?

### Mittel- und Fortgeschrittenengruppe

Ältere Schüler können im vorstehenden Ablauf weitergehende Analysen und Vergleiche zwischen den einzelnen Objekten und Trocknungsverfahren durchführen.

### Stufe 5 - Arbeit mit den GLOBE-Darstellungen der globalen Bodenfeuchte

#### Mittel- und Fortgeschrittenengruppe

Hinweis: Diese Unterrichtseinheit sollte erst durchgeführt werden, nachdem ausreichend Daten zur grafischen Darstellung bei GLOBE eingegangen sind.

Sie wendet sich an mittlere und fortgeschrittene Schüler, die Karten lesen können und über das erforderliche Grundwissen zum Thema Bodenfeuchte verfügen. Arbeiten Sie diese Stufe erst durch, nachdem die Schüler erste Bodenfeuchtigkeitsdaten anhand der GLOBE-Protokolle übermittelt haben.

1. Rufen Sie die GLOBE-Internetadresse auf und gehen Sie zu der Karte der globalen Bodenfeuchtigkeitsverteilung, die anhand der aktuellen Schülerdaten erstellt wurde. Für die Schüler stellt dies eine einmalige Chance dar, da hier erstmals Bodenfeuchtigkeitsdaten aus



aller Welt zusammengetragen sind. Es handelt sich um dieselben Daten, die auch von Dr. Washburne und Dr. Levine für Ihre Forschungsarbeit verwendet werden.

2. Die Bodenfeuchtigkeitsdaten lassen sich entweder in Form absoluter Zahlen oder
3. als Niveaulinienkarte abrufen (im letzteren Fall sind die einzelnen Bodenfeuchtigkeitsbereiche durch verschiedenfarbige Streifen gekennzeichnet).
4. Achten Sie darauf, daß die Schüler den Zusammenhang zwischen ihren eigenen Bodenfeuchtigkeitsmessungen und den Feuchtigkeitsmessungen anderer Schulen in aller Welt erkennen.
5. Es bieten sich unterschiedliche Fragestellung zur Bearbeitung durch die Schüler an. Beispiele:
  - Innerhalb welcher Bereiche variiert die globale Bodenfeuchte?
  - An welchem Ort wurde die geringste (bzw. die höchste) Bodenfeuchte gemessen?
  - Schwanken diese Niveaus im Zeitverlauf? (Vergleich mit Bodenfeuchtigkeitskarten aus anderen Monaten)
  - Wodurch wird die Bodenfeuchte an den verschiedenen Standorten beeinflusst?
  - Sind die Bodenfeuchtigkeitswerte von den jüngsten Wetterbedingungen abhängig?
  - Vergleiche die Meßwerte aus einer Wüste, einem Regenwald und einer landwirtschaftlich genutzten Region.
  - An welchen Orten herrscht etwa dieselbe Bodenfeuchte wie bei Dir zuhause?
5. Fordern Sie die Schüler auf, anhand der GLOBE-Grafiken der globalen Bodenfeuchte weitere Untersuchungen durchzuführen.

### **Leistungsbeurteilung**

Bringen Sie eine Reihe von Bodenproben mit in den Unterricht. Lassen Sie die Schüler den Feuchtigkeitsgehalt dieser Proben zunächst schätzen und dann im Versuch ermitteln, ohne das Verfahren noch einmal zu erläutern. Bewerten Sie die Schätzungen nach ihrer Plausibilität und überwachen Sie die Arbeit der Schüler auf korrekte Vorgehensweise.



## Boden als "Kompostfabrik"

<p><b>Zweck</b> Erarbeitung der Bedeutung, die der Boden unter verschiedensten Umweltbedingungen für die Zersetzung organischer Materie hat.</p> <p><b>Übersicht</b> Die Schüler simulieren verschiedene Umweltbedingungen (u.a. Temperatur, Feuchtigkeit, Lichteinfall), um auf diese Weise zu ermitteln, welche Bedingungen die Zersetzung organischer Materie im Boden fördern. In "Flaschenexperimenten" werden Unterschiede in der Kompostierung von Gemüseresten beobachtet.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 1 Unterrichtsstunde zur Besprechung und Planung des Versuchs, 1 Unterrichtsstunde für den Versuchsaufbau, Teile mehrerer Unterrichtsstunden (in täglichen oder zweitägigen Abständen) zur Protokollierung der Ergebnisse sowie 2 Unterrichtsstunden nach Ablauf der zweiwöchigen Programms zur abschließenden Feststellung und Besprechung der Ergebnisse. Weitere Zeit kann auf ergänzende Untersuchungen aufgewendet werden.</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p> <p><b>Inhalte</b> – Abhängigkeit der Zersetzungsabläufe von verschiedenen Umgebungsbedingungen</p> <p><b>Lernziele</b> – <i>Durchführung</i> eines Versuchs – <i>Beobachtung</i> Prognose von Ergebnissen</p>	<p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– 12 Einmachgläser, Krüge oder 2-l-Plastikflaschen (ggf. mehr für zusätzliche Versuche)</li><li>– Markierungsstifte oder Etiketten</li><li>– Ausreichende Menge gleichen Bodenmaterials (z.B. Lehm oder Blumenerde), um jedes Glas etwa 10 cm hoch zu befüllen. Für alle Gläser ist derselbe Boden zu verwenden.</li><li>– Ausreichende Menge gehackter Obst- oder Gemüsereste (Möhren, Gurken, Äpfel usw.), um jedes Glas 2 - 3 cm hoch zu befüllen. (Es ist für alle Gläser dieselbe Mischung zu verwenden). Als organische Substanz kommen weiterhin Laub (zerkleinert), Rasenschnitt, Blumen usw. in Frage. <i>Keine tierischen Reste verwenden.</i></li><li>– Meßzylinder oder Meßbecher zur Befeuchtung des Bodens mit definierten Wassermengen</li><li>– Für weitergehende Untersuchungen:<ul style="list-style-type: none"><li>– Regenwürmer (lokal aus dem Boden gesammelt)</li><li>– Böden mit sandiger und toniger Textur</li></ul></li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> Boden, Gläser und Gemüseschnitzel bereithalten. Schüler auffordern, zum Tag des Experiments Gemüseschnitzel mitzubringen.</p> <p>Im Klassenzimmer sind Bereiche auszuwählen, in denen die für den Versuch erforderlichen veränderlichen Bedingungen herrschen (warmer und sonniger Ort, kühler und sonniger Ort, warmer und schattiger Ort, kühler und schattiger Ort).</p>
---	---

### Hintergrund

Die Geschwindigkeit, mit der sich organisches Material in Boden zersetzt, hängt im wesentlichen von den Licht- und Temperaturbedingungen sowie dem Wassergehalt des Bodens ab. Der Boden speichert Feuchtigkeit und Wärme, die zum Überleben von Mikroorganismen erforderlich sind. Diese bewirken die Zersetzung organischer Substanzen in eine als "Humus" bezeichnete Bodenart.



Die Fähigkeit einzelner Böden, Feuchtigkeit und Wärme zu speichern und sich damit als Lebensraum für Mikroorganismen zu eignen, ist stark unterschiedlich ausgeprägt. Bei zu nassem, zu trockenem oder zu kaltem Boden läuft der Zersetzungsprozess nur langsam ab. Sonnenenergie erwärmt den Boden und fördert die Verdunstung, wodurch die Bodenfeuchte beeinflusst wird. Die Schüler sollen ermitteln, welche Bedingungen zu einer schnellen Zersetzung organischer Materie im Boden beitragen.

### **Inhalte und Vorgehensweise**

Die 12 Einmachgläser oder Krüge auf einen Tisch stellen und mit folgenden Aufschriften versehen.;

1. Trocken, warm, sonnig
2. Feucht, warm, sonnig
3. Naß, warm, sonnig
4. Trocken, warm, schattig
5. Feucht, warm, schattig
6. Naß, warm, schattig
7. Trocken, kühl, sonnig
8. Feucht, kühl, sonnig
9. Trocken, kühl, schattig
10. Feucht, kühl, schattig
11. Naß, kühl, schattig

Jedes Glas mit einer ausreichenden Bodenmenge (etwa 10 cm hoch) füllen.

Gleiche Mengen Gemüseschnitzel (ca. 2 - 3 cm hoch) in jedes Glas geben und gleichmäßig mit dem Boden vermischen.

Die vier mit "naß" gekennzeichneten Gläser soweit mit Wasser füllen, daß der Inhalt mit Wasser gesättigt ist (Wasser muß die Oberfläche des Bodenmaterials bedecken).

In den vier mit "feucht" gekennzeichneten Gläsern den Boden nur anfeuchten.

Den Inhalt der vier mit "trocken" gekennzeichneten Gläsern austrocknen lassen.

Je ein nasses, feuchtes und trockenes Glas an einen warmen, schattigen Ort stellen (Beschriftung beachten).

Je ein nasses, feuchtes und trockenes Glas an einen warmen Ort stellen, der über einen Teil des Tages von der Sonne beschienen wird (Beschriftung beachten).

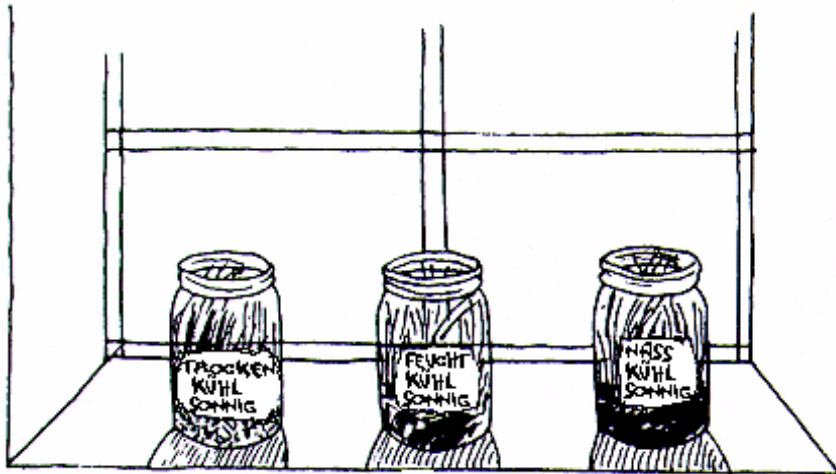
Je ein nasses, feuchtes und trockenes Glas an einen schattigen, kühlen Ort stellen.

Je ein nasses, feuchtes und trockenes Glas an einen kühlen Ort stellen, der ebenfalls über einen Teil des Tages von der Sonne beschienen wird (Beschriftung beachten).

Gläser zudecken und in die Abdeckung kleine Löcher bohren, um einen Luftaustausch zu ermöglichen.



Gießen Sie bei den mit "naß" gekennzeichneten Gläser einmal täglich nach, damit der Inhalt stets mit Wasser bedeckt bleibt. Die mit "feucht" gekennzeichneten Gläser werden einmal pro Tag nachgefeuchtet. Dabei sollten Sie den Inhalt (Boden und organische Materie) jeweils



umrühren.

Die Gläser werden über einen zweiwöchigen Zeitraum einmal täglich (bzw. alle zwei Tage) kontrolliert und die Beobachtungen notiert. Achten Sie auf Veränderungen des Wassergehalts sowie des Zustandes des organischen Inhalts.

Besprechen Sie anschließend mit der Klasse, wie sich Licht, Temperatur und Wassergehalt auf die nach zwei Wochen noch vorhandene Menge organischer Substanz ausgewirkt haben. In welchen Gläsern bzw. unter welchen Bedingungen war die intensivste Zersetzung festzustellen? In welchen Gläsern war die Zersetzung am schwächsten ausgeprägt? Läßt sich eine Rangfolge des Zersetzungsgrades aller Gläser nach zwei Wochen erstellen?

Nach Erörterung ihrer Beobachtungsergebnisse sollen die Schüler durch Kombination der Versuchsvariablen ein optimales Kompostierungssystem entwerfen. Fordern Sie sie auf, die gewählten Bedingungen zu begründen und den Einfluß einzelner Faktoren auf den Zersetzungsprozess zu prognostizieren.

### **Abwandlungen für jüngere und ältere Schüler**

#### **Jüngere Schüler**

Anzahl der Versuchsgläser reduzieren auf

1. feucht, naß und trocken (bei gleichen Temperatur- und Lichtbedingungen)
2. feucht und warm, feucht und kühl (bei gleichen Lichtbedingungen)

Diskutieren Sie mit den Schülern, an welchen Punkten der Erde entsprechende Klimabedingungen herrschen und vergleichen Sie diese mit ihrem örtlichen Klima.

#### **Ältere Schüler**

Besprechen und erläutern Sie, wie die Kompostierung organischen Materials global variiert. Woher stammt das organische Material, das dem Boden in den verschiedenen Regionen zugeführt wird? Wie wird die Kompostierungsgeschwindigkeit durch das Klima beeinflusst? Lassen Sie die Schüler Hypothesen darüber entwickeln, welche Klimabedingungen die Kompostierung günstig bzw. ungünstig beeinflussen. Inwieweit dürfte sich der Kompostierungsprozess in einem tropischen Boden von einem entsprechenden Prozess in einem hoch im Norden gelegenen Wald unterscheiden?



### Weiterführende Untersuchungen

Unter Verwendung eines Bodens mit "optimalen Bedingungen" werden in einem Glas Regenwürmer ausgesetzt, in einem anderen dagegen nicht. Beobachten und notieren Sie die Aktivität dieser Regenwürmer, die Kompostierungsgeschwindigkeit sowie Unterschiede in den Bodeneigenschaften, die in den einzelnen Gläsern nach Ablauf der zweiwöchigen Versuchsdauer herrschen. Zudem besteht die Möglichkeit, in einem Glas eine "Wurmfarm" anzulegen und die Aktivität der Tiere sowie die Veränderungen im Boden über einen längeren Zeitraum zu beobachten.

Führen Sie einen ähnlichen Versuch mit Böden unterschiedlicher Textur durch. Verwenden Sie verschiedene Gläser mit Sand- und Lehmboden und lassen sie die Schüler die vorgenannten Unterschiede feststellen.

Fordern Sie die Schüler auf, weitere Kompostierungsvorgänge zu analysieren.



## Auswerten der Korngrößenbestimmung

<p><b>Zweck</b> Die Theorie hinter der Korngrößenbestimmung soll deutlich gemacht werden und verstanden werden, wie die Daten verwendet werden können, um die Prozentanteile von Sand, Schluff und Ton vorherzusagen.</p> <p><b>Übersicht</b> Unter Verwendung der Korngrößenbestimmungen werden die Gewichts- und Prozentanteile von Sand, Schluff und Ton berechnet. Die Schüler werden auch in die theoretischen Hintergründe des Sedimentationsexperiments eingeführt (Stokes'sches Gesetz). Sie werden angeleitet, das Texturdreieck, sowohl anhand ihrer Meßergebnisse als auch anhand von Übungen mit Sand-, Schluff-, und Tonproben einzusetzen.</p> <p><b>Zeitaufwand</b> 1 Unterrichtsstunde</p> <p><b>Niveau</b> Mittel- bis Fortgeschrittenengruppe</p> <p><b>Inhalte</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Wie sind die verschiedenen Korngrößen bei einer bestimmten Textur verteilt</li><li>– Stokes'sches Gesetz und Sedimentation</li></ul>	<p><b>Lernziele</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– <i>Lesen</i> der Umrechentabelle</li><li>– <i>Einsetzen</i> von Mathematik, um die Aräometerwerte bzgl. Volumen und Temperatur zu korrigieren.</li><li>– <i>Berechnen</i> der Menge von Sand, Schluff und Ton in Gramm oder als Prozent der Probe</li><li>– <i>Entnehmen</i> von Informationen aus einem Texturdreieck</li><li>– <i>Abschätzen</i> von Prozentangaben</li></ul> <p><b>Hilfsmittel</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– Meßergebnisse der Korngrößenbestimmung</li><li>– Kopien der Texturdreiecke für jeden Schüler</li><li>– Lineal oder Winkel</li></ul> <p><b>Vorbereitung</b> Diskutieren Sie mit den Schülern über die verschiedenen Korngrößen und deren Verteilung in Böden, siehe Einleitung.</p> <p>Führen Sie das Protokoll: Bestimmung der Korngrößenverteilung durch, um die nötigen Daten zu erhalten</p>
--	---

### Hintergrund

Im Boden befinden sich Partikel verschiedener Größe. Der Anteil der einzelnen Größen (Sand, Schluff, Ton) wird als Korngrößenverteilung bezeichnet. Die Korngrößenverteilung hilft viele Eigenschaften eines Bodens zu verstehen, z.B. wieviel Wasser, Wärme und Nährstoffe vom Boden gespeichert werden können, wie schnell Wasser oder Wärme durch den Boden dringen können, und welche Strukturen und Festigkeit der Boden hat.

Die Verteilung von Sand, Schluff und Ton wird durch Sedimentation und anschließende Dichtebestimmung der Suspension mit einem Aräometer gemessen. Mit Hilfe des Aräometers wird die Menge an Boden bestimmt, die noch in der Lösung suspendiert vorliegt, nachdem sich ein Teil des Bodens bereits abgesetzt hat.

Sand ist die größte Partikelgruppe, Schluff die mittlere Größe und Ton sind die kleinsten Partikel. Es gibt international keine einheitliche Definition der Partikelgrößen. Hier sind drei davon dargestellt.





1. USDA (US Department of Agriculture)  
Sand 2,0-0,05 mm  
Schluff 0,05 - 0,002 mm  
Ton < 0,002 mm
2. ISSS (International Soil Science Society)  
Sand 2,0 - 0,02 mm  
Schluff 0,02 - 0,002 mm  
Ton < 0,002 mm
3. AG Boden, 1995 (DIN 4220)  
Sand 2,0 - 0,63 mm  
Schluff 0,63 - 0,02 mm  
Ton < 0,002 mm

Die Definition der kleinsten Partikel, der Tonpartikel stimmt bei allen drei Systemen überein (< 0,002 mm).

Große Partikel setzen sich als erstes ab, also wenn der Boden aufgeschlämmt und im Meßzylinder geschüttelt wird, setzen sich die Sandpartikel nach 2 min (nach USDA Definition) ab, Schluff- und Tonpartikel bleiben suspendiert. Nach 12 min haben sich laut ISSS Definition die Sandpartikel abgesetzt und Schluff und Ton sind in der Suspension. Nach 24 Stunden haben sich die Schluffpartikel abgesetzt und nur noch Tonpartikel sind suspendiert.

### **Bestimmung der Mengen an Sand, Schluff und Ton in Ihrer Bodenprobe**

Das Aräometer, zur Bestimmung des spezifischen Gewichts, mißt die Dichte von Wasser, in dem andere Materialien suspendiert sind und vergleicht es mit reinem Wasser. Das Aräometer und die Temperatur werden beim Protokoll zur Bestimmung der Korngrößen nach 2 Minuten, 12 Minuten und nach 24 Stunden abgelesen. Um daraus den Anteil von Sand, Schluff und Ton in Ihrer Bodenprobe zu bestimmen wird der Aräometerwert temperaturkorrigiert. Dann überführen wir mit einer Umrechnungstabelle (siehe unten) das korrigierte spezifische Gewicht der Suspension in Gramm suspendierten Bodens pro Liter (1000 ml). Weiter wird die Dichte bezüglich des hinzugefügten Detergenz korrigiert. Nach dem diese Korrekturen durchgeführt wurden, müssen wir den Wert mit der Anzahl von Litern (0,5 l oder 500 ml) multiplizieren und erhalten dann die Anzahl der Gramm Boden in der Suspension.

1. Nehmen Sie das Ergebnis des Aräometers nach 2 min. Mit Hilfe der Umrechnungstabelle unten, bestimmen Sie die Anzahl der Gramm pro Liter Suspension. Nach der USDA Definition hat sich der Sand abgesetzt und wir erhalten die Menge der suspendierten Schluff- und Tonpartikel.
2. Beachten Sie die Temperatur zu diesem Zeitpunkt. Für jedes Grad über 20°C werden 0,36 g zu der Menge Bodensubstanz hinzu addiert, für jedes Grad unter 20°C 0,36 g abgezogen.
3. Die Menge an Gramm Boden pro Liter (temperaturkorrigiert) wird mit 0,5 multipliziert, um zu berechnen, wieviel Gramm sich in unserer 500 ml Suspension befinden.
4. Die Schritte 1-3 werden für die Bestimmung nach 12 min (Schluff und Ton nach ISSS) und nach 24 Stunden (Ton) wiederholt.
5. Um nun auszurechnen, wieviel Gramm Sand die Probe enthielt, wird die Menge an Schluff plus Ton, die Sie im Schritt 3 berechnet haben, von der Einwaage an Bodensubstanz abgezogen.



(Einwaage = 25g) abgezogen. Der Anteil an Sand in % berechnet sich folgendermaßen:

$$\% \text{Sand} = \frac{\text{g Sand}}{25 \text{ g (Einwaage)}} \times 100$$

6. Um auszurechnen, wieviel Gramm und Prozent Sand entsprechend der ISSS Definition vorhanden sind, führen Sie Schritt 5 für die Mengen an Schluff und Ton, die Sie nach 12 Minuten gemessen haben, durch.

7. Der Anteil Ton in der Probe ist die Menge an Bodensubstanz, die nach 24 Stunden noch suspendiert vorliegt. Teilen Sie die Gramm Ton durch die Einwaage an Bodensubstanz (25 g)::

$$\% \text{Ton} = \frac{\text{g Ton}}{25 \text{ g (Einwaage)}} \times 100$$

8. Die Menge an Schluff wird berechnet durch Subtrahieren der Mengen Sand (Schritt 5 für USDA und Schritt 6 für ISSS) und Ton (Schritt 7) von der Einwaage an Bodenmaterial (25 g). Der Anteil in % wird folgendermaßen berechnet:

$$\% \text{Schluff} = \frac{\text{g Schluff}}{25 \text{ g (Einwaage)}} \times 100$$

9. Wiederholen Sie diese Berechnungen für jeden Horizont Ihres Bodenprofils. Benutzen Sie dazu das Arbeitsblatt für die Berechnungen. Sie können Ihre Ergebnisse mit den Endergebnissen vergleichen, die Sie erhalten, wenn Sie Ihre Rohdaten auf dem Arbeitsblatt zur Bestimmung der Korngrößenverteilung an das GLOBE-Datenarchiv übermitteln.

10. Verwenden Sie zur Bestimmung der Texturbezeichnung, welche Ihrer Korngrößenverteilung entspricht, das Texturdreieck.



Tabelle SOIL-L-1: Umrechnungstabelle (spezifisches Gewicht in Gramm Boden/Liter)

spezifisches Gewicht	g Boden/l	spezifisches Gewicht	g Boden/l	spezifisches Gewicht	g Boden/l
1,0024	0,0	1,0136	18,0	1,0247	36,0
1,0027	0,5	1,0139	18,5	1,0250	36,5
1,0030	1,0	1,0142	19,0	1,0253	37,0
1,0033	1,5	1,0145	19,5	1,0257	37,5
1,0036	2,0	1,0148	20,0	1,0260	38,0
1,0040	2,5	1,0151	20,5	1,0263	38,5
1,0043	3,0	1,0154	21,0	1,0266	39,0
1,0046	3,5	1,0157	21,5	1,0269	39,5
1,0049	4,0	1,0160	22,0	1,0272	40,0
1,0052	4,5	1,0164	22,5	1,0275	40,5
1,0055	5,0	1,0167	23,0	1,0278	41,0
1,0058	5,5	1,0170	23,5	1,0281	41,5
1,0061	6,0	1,0173	24,0	1,0284	42,0
1,0064	6,5	1,0176	24,5	1,0288	42,5
1,0067	7,0	1,0179	25,0	1,0291	43,0
1,0071	7,5	1,0182	25,5	1,0294	43,5
1,0074	8,0	1,0185	26,0	1,0297	44,0
1,0077	8,5	1,0188	26,5	1,0300	44,5
1,0080	9,0	1,0191	27,0	1,0303	45,0
1,0083	9,5	1,0195	27,5	1,0306	45,5
1,0086	10,0	1,0198	28,0	1,0309	46,0
1,0089	10,5	1,0201	28,5	1,0312	46,5
1,0092	11,0	1,0204	29,0	1,0315	47,0
1,0095	11,5	1,0207	29,5	1,0319	47,5
1,0098	12,0	1,0210	30,0	1,0322	48,0
1,0102	12,5	1,0213	30,5	1,0325	48,5



1,0105	13,0	1,0216	31,0	1,0328	49,0
1,0108	13,5	1,0219	31,5	1,0331	49,5
1,0111	14,0	1,0222	32,0	1,0334	50,0
1,0114	14,5	1,0226	32,5	1,0337	50,5
1,0117	15,0	1,0229	33,0	1,0340	51,0
1,0120	15,5	1,0232	33,5	1,0343	51,5
1,0123	16,0	1,0235	34,0	1,0346	52,0
1,0126	16,5	1,0238	34,5	1,0350	52,5
1,0129	17,0	1,0241	35,0	1,0353	53,0
1,0133	17,5	1,0244	35,5	1,0356	53,5
				1,0359	54,0
				1,0362	54,5
				1,0365	55,0



## Arbeitsblatt zur Berechnung der Anteile

- A. Wert des Aräometers nach 2 min \_\_\_\_\_
- B. Temperatur nach 2 min \_\_\_\_\_ °C
- C. g Boden/l suspendiert nach 2 min (Tabelle) \_\_\_\_\_g/l
- D. Temperaturkorrektur  $[(0,36 \times (B - 20^\circ\text{C}))]$  \_\_\_\_\_g
- E. Schluff + Ton (USDA) suspendiert (korrigiert) \_\_\_\_\_g
- F. Schluff + Ton (USDA) in Gramm in 500 ml (x 0,5) \_\_\_\_\_g
- G. Menge Sand ( USDA) in Gramm \_\_\_\_\_g
- H. Menge Sand in Prozent (USDA) \_\_\_\_\_%
- I. Wert des Aräometers nach 12 min \_\_\_\_\_
- J. Temperatur nach 12 min \_\_\_\_\_ °C
- K. g Boden/l suspendiert nach 12 min (Tabelle) \_\_\_\_\_g/l
- L. Temperaturkorrektur \_\_\_\_\_g
- M. Anteil Schluff+Ton (I SSS) suspendiert (korrigiert) \_\_\_\_\_g
- N. Schluff + Ton (I SSS) in Gramm in 500 ml (x 0,5) \_\_\_\_\_g
- O. Menge Sand (I SSS) in Gramm \_\_\_\_\_g
- P. Menge Sand in Prozent (I SSS) \_\_\_\_\_%
- Q. Wert des Aräometers (spez. Gewicht) nach 24 Stunden \_\_\_\_\_
- R. Temperatur nach 24 Stunden \_\_\_\_\_ °C
- S. g Boden/l nach 24 Stunden (Tabelle) \_\_\_\_\_g/l
- T. Temperaturkorrektur \_\_\_\_\_g
- U. Anteil Ton in Suspension (korrigiert) \_\_\_\_\_g
- V. Menge Ton in 500 ml \_\_\_\_\_g



W. Menge an Ton in Prozent \_\_\_\_\_%

X. Gramm Schluff (USDA) \_\_\_\_\_g

Y. Prozent Schluff (USDA) \_\_\_\_\_%

Z. Gramm Schluff (ISSS) \_\_\_\_\_g

AA. Prozent Schluff (ISSS) \_\_\_\_\_%



### Beispiel

Nehmen Sie an, Sie hätten nach 2 Minuten, 12 Minuten und 24 Stunden, folgende Werte abgelesen:

	Spezifisches Gewicht	Temperatur
2 Minuten	1,0125	21,0
12 Minuten	1,0106	21,5
24 Stunden	1,0089	19,5

Rechnen Sie für jeden Wert des spezifischen Gewichts (Aräometer) in Gramm Bodensubstanz/l um und führen die Temperaturkorrektur durch.

Für den Wert nach 2 Minuten liegt das Gewicht nahe 1,0126, das entspricht 21,5 g/pro Liter Schluff (USDA) und Ton in der Suspension. Nun wird dieser Wert temperaturkorrigiert. Da die Temperatur 1 Grad über 20°C lag, addieren Sie 0,36 zu 21,5 g/l:

$$21.5 + 0,36 = 21,86 \text{ g/l}$$

Als nächstes multiplizieren Sie 21,86 g/l mit 0,5 l (das war das Wasservolumen siehe Protokoll) um von Gramm/Liter in Gramm umzurechnen:

$$21.86 \times 0,5 = 10,93 \text{ das entspricht abgerundet } 10,9 \text{ g}$$

Dies ist die Menge Schluff (USDA) und Ton in der Suspension.

Zur Berechnung des Anteil an Sand (USDA), ziehen sie 10.9 g von der Einwaage (25g) ab:

$$25.0 \text{ g} - 10,9 \text{ g} = 14,1 \text{ g Sand (USDA)}$$

Um in Prozent Sand umzurechnen, wird 14,1g durch die Einwaage (25g) dividiert und mit100 multipliziert:

$$(14.1 \text{ g} / 25 \text{ g}) \times 100 = 56,4 \% \text{ Sand (USDA)}$$

Nach 12 Minuten liegt das spezifische Gewicht bei 1,0105, das entspricht 18,0 g Schluff (I SSS) und Ton pro Liter Suspension. Dieser Wert wird temperaturkorrigiert. Da die Temperatur 1,5°C höher lag als 20°C, addieren Sie zu 18,0 g/Liter,  $0,35 \times 1,5$ :

$$0.36 \times 1,5 = 0,54$$

$$18.0 + 0,54 = 18,54 \text{ g/l}$$

18,54 g/l wird mit 0,5 l (Volumen des verwendeten Wassers) multipliziert, um von g/l in g umzurechnen:

$$18.54 \times 0,5 = 9,27, \text{ was aufgerundet } 9,3 \text{ g ergibt.}$$

Dies ist die Menge an Schluff (I SSS) und Ton in der Suspension.

Zur Bestimmung der Sandmenge (I SSS) wird 9,3 von der Einwaage (25,0 g) abgezogen:

$$25.0 \text{ g} - 9,3 \text{ g} = 15,7 \text{ g Sand (I SSS)}$$

**Anmerkung:** Die Sandmenge nach I SSS ist größer als die nach USDA, da nach I SSS der Sand feinere Partikel enthält, die entsprechend zu USDA dem Schluff zuzurechnen sind.

Nach 24 Stunden wird für das spezifische Gewicht der Wert 1,0089 abgelesen, der direkt 15,5 g/l entspricht. Dieser Wert stellt die Menge an Ton in der Suspension dar. Dieser Wert wird temperaturkorrigiert. Da die Temperatur 0,5 °C unter 20,0°C lag, ziehen wir  $0,36 \times 0,5 = 0,18$  g/l ab.

$$15.5 - 0,18 = 15,32 \text{ g/l}$$



Nun dividieren wir 15,68 g/l durch 2 (oder multiplizieren mit 0,5l), das verwendete Volumen, um von g/l in g umzurechnen:

$$15,32/2 = 7,66, \text{ was zu } 7,7 \text{ g aufgerundet wird.}$$

Diese Menge Ton wird von der Einwaage (25 g) abgezogen.

Zur Berechnung des Prozentanteils von Ton in der Probe, wird 7,7 g durch die Einwaage(25,0 g) dividiert:

$$7,7 \text{ g} / 25 \text{ g} = 30,8 \% \text{ Ton}$$

Die Menge an Schluff (USDA) wird berechnet, indem die Menge an Sand (USDA) zu der Menge an Ton addiert wird und von der Einwaage (25 g) abgezogen wird:

$$14,1 \text{ g (USDA Sand)} + 7,7 \text{ g (Ton)} = 21,8$$

$$25 \text{ g} - 21,8 \text{ g} = 3,2 \text{ g Schluff (USDA)}$$

Dieser Wert wird durch Division durch 25 in Prozent umgerechnet:

$$3,2/25 = 12,8 \% \text{ oder gerundet } 12,8 \% \text{ Schluff (USDA)}$$

Die Menge an Schluff (I SSS) wird berechnet, indem die Menge an Sand (I SSS) zu der Menge an Ton addiert wird und von der Einwaage (25 g) abgezogen wird:

$$15,7 \text{ g (I SSS Sand)} + 7,7 \text{ g (Ton)} = 23,4$$

$$25 \text{ g} - 23,4 \text{ g} = 1,6 \text{ g Schluff (I SSS)}$$

Dieser Wert wird durch Division durch 25 in Prozent umgerechnet:

$$1,6/25 = 6,4 \% \text{ oder gerundet } 6,4 \% \text{ Schluff (I SSS)}$$

Für diese Probe lautet das Endergebnis:

	% Sand	% Schluff	% Ton
USDA:	56,4	12,8	30,8
I SSS:	62,8	6,4	30,8

### Bestimmung der Texturbezeichnung mit Hilfe des Texturdreiecks

Die Bodenkundler haben Klassen entwickelt, die die Korngrößenverteilung (Bodentextur) in 12 Kategorien einteilen. Das Texturdreieck ist eines der Materialien, welches die Wissenschaftler verwenden, um die Bezeichnung der Bodentextur darzustellen und deren Bedeutung zu verstehen. Dieses Texturdreieck ist ein Diagramm, welches die 12 Texturen darstellt, die auf Basis des Gehalts an Sand, Schluff und Ton klassifiziert wurden.

**Anmerkung:** Diese Prozentangaben basieren lediglich auf der USDA Definition von Sand, Schluff und Ton.

Bestimmen Sie die Texturklasse Ihrer Probe nach folgender Anleitung:

1. Legen Sie eine Overheadfolie oder Pausenpapier über das Texturdreieck.
2. Legen Sie das Lineal an dem Punkt der Basislinie an, welcher den Prozentanteil des Sands in Ihrer Probe zeigt Positionieren Sie das Lineal entlang der Linie, welche in Richtung der errechneten Prozent Sand weist.
3. Legen Sie die Kante des zweiten Lineals am Punkt entlang der rechten Seite des Dreiecks und positionieren Sie das Lineals in Richtung der errechneten Prozent Schluff.





4. Nehmen Sie einen Kugelschreiber oder wasserlöslichen Filzstift und markieren Sie den Schnittpunkt der beiden Linien. Legen Sie die Oberkante eines Lineal parallel zur Basislinie. Die Prozentzahl links ist der Prozentanteil Ton. Beachten Sie, daß die Summe der Prozentanteile 100 ergeben muß.
5. Die Bezeichnung der Textur (Texturklasse) entspricht der Bezeichnung im schraffierten Bereich, in welchem sich Ihre Markierung finden. Liegt die Markierung direkt auf einer Linie zwischen zwei Bezeichnungen, notieren Sie beide Namen.

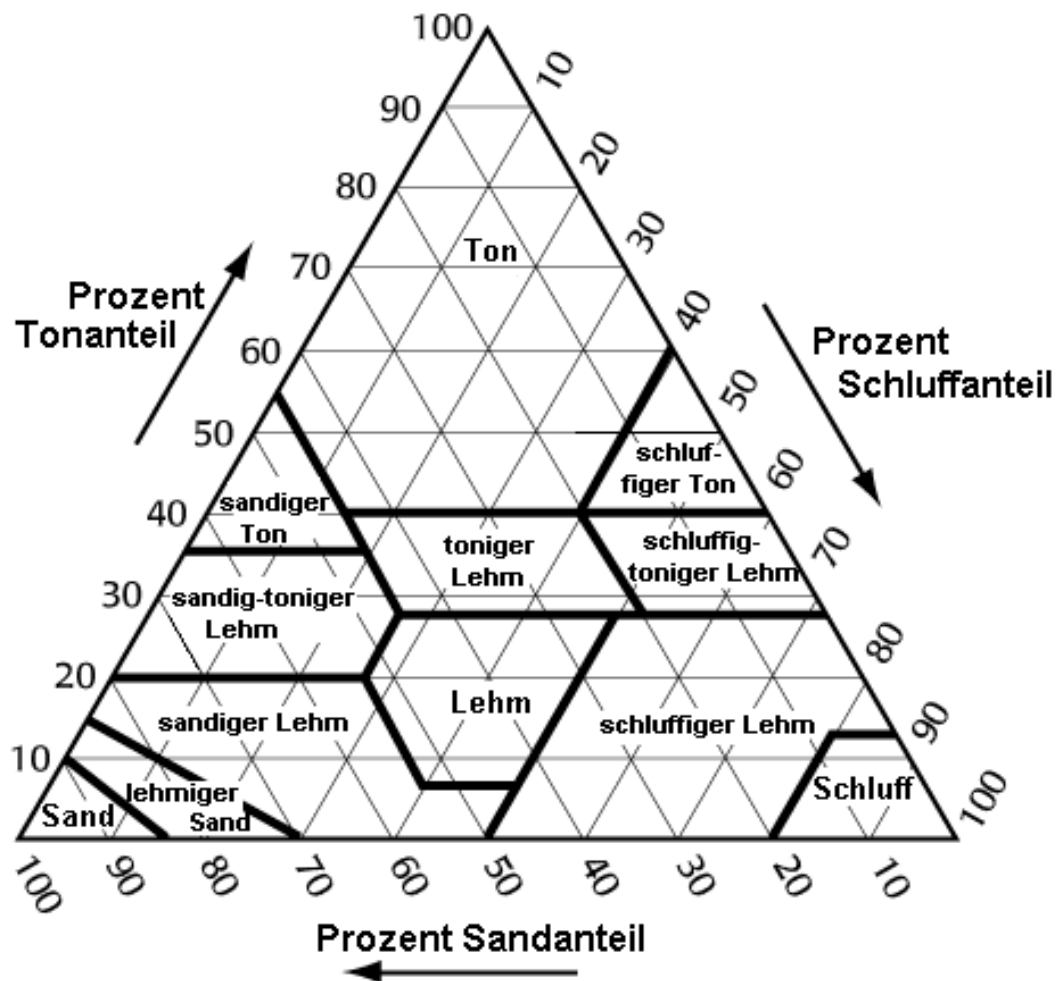


Abb. SOIL-L-4: Texturdreieck 3

Für das obige Beispiel, ist die Texturklasse der Bodenprobe

	% Sand	%Schluff	% Ton	
USDA:	56,4	12,4	32,2	sandig toniger Lehm



## Übungsbeispiel

### Bodentexturübungsblatt

Bestimmen Sie anhand der Angaben, die Texturnamen aus dem Texturdreieck. Wenn eine Zahl fehlt, füllen Sie diese ein. **Anmerkung:** Die Summe der Prozentanteile von Sand, Schluff und Ton muß immer 100 ergeben.

	%Sand	%Schluff	%Ton	Texturname
a.	75	10	15	sandiger Lehm
b.	10	83	7	-
c.	42	-	37	-
d.	-	52	21	-
e.	-	35	50	-
f.	30	-	55	-
g.	37	-	21	-
h.	5	70	-	-
i.	55	-	40	-
j.	-	45	10	-

### Das Stoke´sche Gesetz: Berechnen der Sedimentationszeit von Bodenpartikeln

Im Protokoll zur Bestimmung der Korngrößenverteilung wurde das Aräometer immer zu ganz bestimmten Zeiten abgelesen. Nach diesen Zeiten hatten sich Sand bzw. Schluff abgesetzt. Um die Absinkzeit für jedes Korngröße zu bestimmen, verwenden wir eine Gleichung, die vom Stoke´schen Gesetz abgeleitet wurde. Das Stoke´sche Gesetz beschreibt, wie schnell (die Geschwindigkeit bei welcher) ein Teilchen sich als Funktion seines Durchmessers und der Eigenschaften der Lösung absetzt. Sobald wir die Geschwindigkeit kennen, können wir berechnen, welche Zeit nötig ist, damit sich ein Teilchen, welches einen bestimmten Durchmesser besitzt, in einer gewissen Wassertiefe absetzt.

Das Stoke´sche Gesetz kann in folgender Form geschrieben werden:

$$V = k d^2$$

mit V= Sedimentationsgeschwindigkeit (cm/s)

d= Durchmesser des Partikels in cm (wie z.B. 0,2 cm - 0,005 cm für Sand, 0,005 cm - 0,0002 cm für Schluff und <0,0002 cm für Ton)

k = eine Konstante, die von der Lösung, in welcher sich die Teilchen absetzen, der Teilchendichte, der Schwerkraft und der Temperatur abhängt (  $8,9 \times 10^3 \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$  für Wasser bei 20 °C).

### Beispiel

Nehmen Sie an, Sie möchten die Zeit berechnen, die feiner Sand (0,1 mm) benötigt sich abzusetzen. Der Abstand zwischen dem Boden und der 500ml Marke des Meßzylinders beträgt ca. 27 cm.

1. Rechnen Sie den Teilchendurchmesser von mm in cm um.

$$0,1 \text{ mm} \times 1 \text{ cm}/10 \text{ mm} = 0,01 \text{ cm}$$



2. Verwenden Sie die Formel oben und setzen den Wert für den Teilchendurchmesser ein, quadrieren ihn und multiplizieren ihn mit der Konstanten.  
 $V = 8900 \times (0,01)^2 = 0,89 \text{ cm/sek}$
3. Als nächstes teilen Sie den Abstand zwischen Boden und 500 ml Marke des Zylinders durch die im Schritt 2 berechnete Geschwindigkeit.  
 $27 \text{ cm} / 0,89 \text{ cm Sekunde}^{-1} = 30,33 \text{ Sekunden}$   
Feiner Sand mit einem Durchmesser von 0.1 mm benötigt also etwa 30 Sekunden, um sich auf dem Boden eines 500 ml Meßzylinders abzusetzen.

## Weiterführende Untersuchungen

1. Prüfen Sie die Textur einer feuchten Bodenprobe. Bestimmen Sie mit Hilfe der Texturdreiecke 1 und 2 (siehe Protokoll: Bodencharakterisierung) die Textur. Sand fühlt sich körnig an, Schluff wie Puder oder Mehl. Ton fühlt sich klebrig an und läßt sich schwer kneten. Er wird wahrscheinlich an Ihren Händen kleben bleiben. Bestimmen Sie mit Hilfe des Texturdreiecks 3 den Namen und die Texturklasse, die der Bodenprobe entspricht. Versuchen Sie abzuschätzen, wieviel Sand, Schluff und Ton sich in der Probe befindet.
2. Üben Sie mit den Schülern die Bestimmung der Prozentanteile von Sand, Schluff und Ton mit Hilfe der Fingerprobe. Verwenden Sie dazu das Texturdreieck 3. Die Ergebnisse könnten dann durch die Bestimmung der Korngrößenverteilung, die quantitativ die Mengen der verschiedenen Teilchengrößen angibt, bestätigt werden.
3. Sobald sich die Schüler mit der Fingerprobe sicher fühlen, veranstalten Sie ein Spiel oder einen Wettkampf welcher Schüler durch Schätzen mit Hilfe der Fingerprobe den durch die Sedimentationsmethode bestimmten Werten am nächsten kommt.
4. Stellen Sie eine Standardsammlung von Bodentexturproben zusammen mit denen die Schüler üben können. Diese sollten jeweils eine Probe der 12 Texturklassen beinhalten, dessen Zusammensetzung an Sand, Schluff und Ton durch die Sedimentationsanalyse bestimmt wurde.
5. Berechnen Sie mittels des Stoke'schen Gesetzes die Sedimentationsgeschwindigkeit für ein Teilchen mit einem speziellen Durchmesser, an den die Schüler interessiert sind. Achten Sie darauf den Durchmesser in cm einzusetzen.

## Leistungsbeurteilung

Überprüfen Sie, ob die Schüler die Beziehung zwischen der Korngrößenverteilung und der Texturklasse, die durch Fingerprobe bestimmt werden kann, verstehen. Setzen Sie praktische Übungen ein wie z.B: die Verwendung der Texturdreiecke.

### Quellenhinweis:

Nach L.J. Johnson, 1979. *Introductory Soil Science: A Study Guide and Laboratory Manual*. MacMillan Pub. Co., Inc. N.Y.



## Das Datenspiel

<p><b>Zweck</b> Die Schüler sollen lernen, Meßergebnisse zu beurteilen, um Fehler bei der Ermittlung und Aufzeichnung von Daten weitmöglichst zu reduzieren.</p> <p><b>Übersicht</b> Im Rahmen eines Spiels sammeln die Schüler Meßergebnisse mittels verschiedener Hilfsmittel und Berechnungen und versuchen dann, durch Übertreibung einiger Datenwerte anderen Gruppen verfälschte Ergebnisse zu liefern. Das Spiel wird zunächst mit Angaben über im Klassenzimmer vorhandene Gegenstände, dann mit den Bodenfeuchtheitsmessungen und zuletzt schließlich mit anderen GLOBE-Daten durchgeführt.</p>	<p><b>Zeitaufwand</b> 1 Unterrichtsstunde</p> <p><b>Niveau</b> Alle</p> <p><b>Inhalte</b> – Genaues Messen und Aufzeichnen von Daten – Entwicklung eines "Gespürs" für Datenqualität – Erkennung ungewöhnlicher, näher zu analysierender Daten auf der Grundlage von Schätzungen</p> <p><b>Lernziele</b> – <i>Messung und Aufzeichnung</i> von Daten – <i>Abschätzung</i> von Datenwerten – <i>Beurteilung</i> von Datenwerten nach ihrer Plausibilität</p>
--	---

### Hintergrund

Die Wissenschaftler verlassen sich auf die Richtigkeit der von den Schulen übermittelten Daten. Selbst bei sorgfältigster Beobachtung lassen sich jedoch Fehler in der Datenerfassung und -aufzeichnung nie völlig ausschließen. Es muß unbedingt dafür Sorge getragen werden, daß die ermittelten Daten möglichst genau sind. Eine Möglichkeit der Fehlervermeidung besteht darin, die Schüler alle protokollierten Zahlen kritisch beurteilen zu lassen. Erscheinen die einzelnen Werte plausibel? Ist die jeweilige Zahl theoretisch überhaupt möglich? Mit zunehmender Meßerfahrung entwickeln die Schüler ein Gespür dafür, welche Ergebnisse zu erwarten sind.

Damit die Schüler die Plausibilität von Meßwerten beurteilen können, müssen zwei Voraussetzungen gegeben sein. Zum einen müssen Sie über ein Verständnis der verwendeten Maßeinheiten verfügen. Wie lang ist ein Meter? Wieviel Wasser ist ein Liter? Wieviel wiegt ein Liter Wasser? Zum anderen ist ein Gefühl für den Meßbereich erforderlich, innerhalb dessen die zu erwartenden Werte liegen. Wie groß ist der zu erwartende Höchst- und Mindestwert der Bodenfeuchte bzw. der Lufttemperatur?

Im vorliegenden Lernschritt befassen sich die Schüler spielerisch mit diesen beiden Voraussetzungen. In Gruppen werden Daten erfaßt und protokolliert. Danach werden einige Meßwerte verändert, und die Mitschüler sollen anhand einer "Plausibilitätsprüfung" erraten, welche Werte falsch sind.

Die Anwendung dieses "Plausibilitätskriteriums" stellt eine grundlegend wichtige Fähigkeit dar. Der Schüler erfährt nicht nur, mit welchen Werten er rechnen kann, sondern lernt auch, Verantwortung für die Präzision seiner Daten zu übernehmen.



Zu beachten ist ferner, daß auch richtige Daten durchaus unerwartete Werte annehmen können. Hier hilft jedoch gerade das Wissen um das zu erwartende Ergebnis, ungewöhnliche Daten zu erkennen, die einer weiteren Analyse bedürfen.

### **Inhalte und Vorgehensweise**

#### **Schritt 1 - Abschätzung von Daten über Gegenstände im Klassenzimmer**

1. Teilen Sie die Klasse in Gruppen zu je 4 Schülern auf. Teilen Sie jeder Gruppe Meßmittel zu und lassen Sie die Schüler Daten im Klassenzimmer erfassen. Hierzu bestehen z.B. folgende Möglichkeiten:

##### *Anfängergruppe*

Zählung der in der Klasse vorhandenen Bücher, Bodenfliesen, Finger usw.

Messung der Länge von 10 Büchern, des Raums um einen Tisch usw.

Messung des Wasserinhalts in einem Glas, des Rauminhalts eines Waschbeckens usw.

##### *Mittelgruppe*

Messung und Addition von Entfernungen (Höhe eines Tisches sowie aller Tische im Raum)

Berechnung der Höhe aller aufeinandergestapelter Lehrbücher

##### *Fortgeschrittenengruppe*

Rechnen mit Quadratmetern, Quadratzentimetern, Rauminhalten und Gewichten

2. Fordern Sie jede Gruppe auf, ihre Daten durch Übertreibung zu verfälschen (z.B. den Inhalt eines Würfels von  $10 \text{ cm}^3$  Rauminhalt mit 20 oder sogar  $200 \text{ cm}^3$  anzugeben). Je geringfügiger die Verfälschung, desto schwieriger wird es für die anderen Schüler (für den Anfang läßt sich z.B. festlegen, daß die Übertreibung nicht mehr als das Doppelte des Meßwertes betragen darf).
3. Die Gruppen legen abwechselnd ihre Daten vor, wobei die übrigen Schüler raten müssen, ob der angegebene Wert richtig oder falsch ist. Jede Gruppe, die richtig rät, erhält einen Punkt.
4. Nachdem alle Gruppen abwechselnd ihre Daten gemeldet haben, wird die Gruppe mit den meisten Punkten als Sieger bestimmt.

Erörtern Sie nach Ende des Spiels den Prozeß der "Abschätzung" von Meßwerten und den Begriff der "Plausibilität". Durch Wiederholung des Spiels läßt sich der Lernerfolg kontrollieren.

#### **Schritt 2 - Abschätzung von Bodenfeuchtigkeits-Meßwerten**

Dasselbe Spiel wird nun mit Bodenfeuchtigkeits-Meßwerten durchgeführt (das Spiel läßt sich mit beliebigen Daten spielen). Als Grundlage lassen sich die Bodenfeuchtigkeitsdaten verwenden, die die Schüler bereits im Rahmen der Protokollierung gesammelt haben. Alternativ können die Daten aus dem Lernschritt "Bestimmung des Wassergehalts" verwendet werden.

Wie bei Schritt 1 werden die Schüler aufgefordert, ausgewählte Werte der Bodenfeuchte zu verfälschen. Die anderen Schüler müssen raten, welche Werte stimmen und welche "übertrieben" sind. Der Sieger wird - wie oben - anhand von Punkten ermittelt.

#### **Schritt 3 - Verwendung von Daten aus dem GLOBE Student Data Server**



1. Lassen Sie die Schüler den GLOBE Student Data Server aufrufen und die von anderen GLOBE-Standorten ermittelten Meßwerte durchblättern. Ermittelt werden sollen
  - die Wertebereiche für die einzelnen Bodentiefen
  - die Wertebereiche, die von Schulen in der Region gemeldet wurden
  - die Wertebereiche, die von Schulen aus Trocken-, Wald- oder Grünlandregionen gemeldet werden
  - die gängigsten Werte überhaupt
2. Diskutieren Sie die Wertebereiche und gängigen Ergebnisse mit den Schülern und lassen Sie sie überlegen, wie sich diese Beobachtungen wohl dazu einsetzen lassen, im Datenspiel besser abzuschneiden.
3. Lassen Sie die Schüler das Datenspiel noch einmal spielen, diesmal jedoch mit Daten aus dem GLOBE Student Data Server.
4. Führen Sie die Schüler durch Diskussion an die Erkenntnis heran, daß diese Methode (Prüfung ausgewählter Daten zur Schaffung eines "Erwartungsrahmens") einen wichtigen Schritt zur Abschätzung von Meßwerten und Beurteilung ihrer Plausibilität darstellt.
5. Dieser Lernschritt läßt sich mit beliebigen Datensätzen aus dem GLOBE-Programm wiederholen.
6. Wichtig ist auch der Hinweis, daß abnorme Ergebnisse (oft als "Ausreißer" bezeichnet) nicht unbedingt falsch sein müssen, jedoch in jedem Fall einer gründlichen Analyse bedürfen. Oft stellen solche Ausreißer sogar die interessantesten oder wichtigsten Daten für die weitere Untersuchung dar.
7. Wenn die Schüler im GLOBE Student Data Server auf Daten stoßen, die ihnen nicht plausibel erscheinen, fordern Sie sie auf, sich per GLOBEMail bei der Schule, die diese Daten gemeldet hat, nach den Gründen für diese abnormen Ergebnisse zu erkundigen und ggf. auf die Notwendigkeit größerer Sorgfalt bei zukünftigen Messungen hinzuweisen.

### **Abwandlungen für die Mittel- und Fortgeschrittenengruppe**

Ältere Schüler können die jeweiligen Daten in graphischer Form darstellen (besonders in Schritt 3) und auf Wertebereiche, Ausreißer, Durchschnittswerte, gängigste Ergebnisse usw. analysieren. Denkbar ist auch eine Diskussion der Gründe für Abweichungen zwischen den einzelnen Standorten im globalen Datensatz. Dies setzt allerdings ein tieferes Verständnis der Materie (hier: Bodenkunde) voraus.

### **Weiterführende Untersuchungen**

Wenn es den Schülern schwerfällt, plausible Ergebnisbereiche einer Messung abzuschätzen, kann jeweils das Datenspiel gespielt werden. Sorgen Sie dafür, daß sich die Schüler zuvor mit der jeweiligen Meßvorschrift sowie mit einigen typischen Datensätzen vertraut machen können, damit sie eine Grundlage für die Plausibilitätsbeurteilung gewinnen.



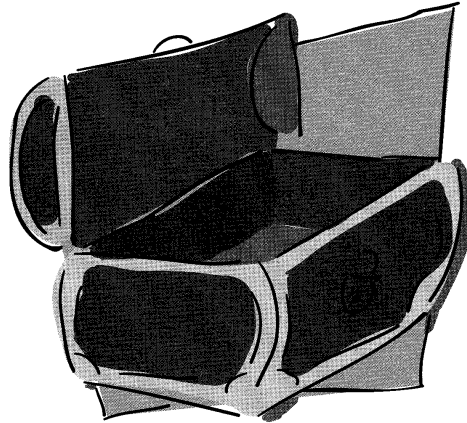
Sehen Sie sich in regelmäßigen Abständen die von anderen Schulen gemeldeten Bodenfeuchtigkeits-Meßwerte, um etwaige Fehler oder "Ausreißer" festzustellen. Setzen Sie sich ggf. per GLOBEMail mit diesen Schulen in Verbindung, um abnorme Ergebnisse zu diskutieren. Aus einem solchen Austausch können sich sehr wichtige Untersuchungsanstöße ergeben.

### **Leistungsbeurteilung**

Lassen Sie im Zuge der GLOBE-Messungen jeweils einen Schüler die Ergebnisse *einschließlich eines falschen Wertes* vortragen und stellen Sie fest, ob die Schüler das falsche Ergebnis erkennen. Für jede richtige Erkennung läßt sich ein GLOBE-Stern (oder eine sonstige altersgemäße Belohnung) verleihen. Achten Sie jedoch unbedingt darauf, daß der falsche Wert vor Übermittlung Ihrer Daten an den GLOBE Student Data Server korrigiert wird!



# Anhang



Datenblatt zur Bodencharakterisierung  
Datenblatt Dichte - Probenentnahme aus Grube und Oberflächenentnahme  
Datenblatt Dichte - Probeentnahme mittels Edelmännbohrer  
Datenblatt zur Korngrößenverteilung  
Datenblatt zur Boden-pH-Messung  
Datenblatt zur Bodenfruchtbarkeit  
Datenblatt zur Beschreibung der Meßstelle für die Bodenfeuchtigkeit  
Datenblatt zur Bodenfeuchtigkeitsmessung - sternförmige Probenentnahme  
Datenblatt zur Bodenfeuchtigkeitsmessung - Probenentnahme entlang der Transekte  
(lineare Meßstrecke)  
Datenblatt für die Gipssensoren  
Datenblatt für die Gipssensoren -jährliche Eichung  
Datenblatt Infiltration  
Datenblatt Bodentemperatur  
Informationsblatt zur Bodencharakterisierung  
Texturdreieck 3  
Bodenkundliche Begriffe  
GLOBE Dateneingabemasken





## Datenblatt Bodencharakterisierung

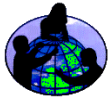
Meßort: \_\_\_\_\_ Formular Nr. \_\_\_\_\_ Gefälle: \_\_\_\_\_ MUC: \_\_\_\_\_

Grube oder Oberflächenprobe? \_\_\_\_\_ Bodenbohrer: \_\_\_\_\_ freigelegtes Profil: \_\_\_\_\_

Andere Merkmale des Meßortes: \_\_\_\_\_

Horizont (Buchstabe oder Nummer)	Obergrenze (cm)	Unter- grenze (cm)	Feuchte (naß, feucht, trocken)	Struktur (Typ)	Hauptfarbe (Code)	Zweite Farbe (Code)	Konsistenz (locker, bröckelig, fest, sehr fest)	Textur (Bezeichnung)	Steine (keine, wenig, viel)	Wurzeln (keine, wenig, viel)	Karbonate (keine, leicht, stark)

Notizen:



## Datenblatt Dichte - Probenentnahme aus Grube und Oberflächenentnahme

Datum der Probenentnahme: \_\_\_\_\_ Meßort: \_\_\_\_\_

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

### Probe Nummer 1

A.	Volumen d. Behälters: _____ ml	E.	Gewicht d. trockenen Bodens (D-B): _____ g
B.	Gewicht d. Behälters: _____ g	F.	Gewicht d. Steine: _____ g
C.	Naßgewicht d. Probe: _____ g	G.	Wasservolumen ohne Steine: _____ ml
D.	Trockengewicht d. Probe: _____ g	H.	Volumen Wasser + Steine: _____ ml
		I.	Volumen d. Steine (H-G): _____ ml
		J.	Dichte [(E-F)/(A-I)]: _____ g/ml (cm <sup>3</sup> )

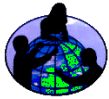
### Probe Nummer 2

A.	Volumen d. Behälters: _____ ml	E.	Gewicht d. trockenen Bodens (D-B): _____ g
B.	Gewicht d. Behälters: _____ g	F.	Gewicht d. Steine: _____ g
C.	Naßgewicht d. Probe: _____ g	G.	Wasservolumen ohne Steine: _____ ml
D.	Trockengewicht d. Probe: _____ g	H.	Volumen Wasser + Steine: _____ ml
		I.	Volumen d. Steine (H-G): _____ ml
		J.	Dichte [(E-F)/(A-I)]: _____ g/ml (cm <sup>3</sup> )

### Probe Nummer 3

Gewicht d. trockenen





## Datenblatt Dichte - Probennahme mit Erdbohrer

Datum der Probenentnahme: \_\_\_\_\_ Meßort: \_\_\_\_\_

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

### Probe Nummer 1

- A. Probtiefe/Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm
- B. Probtiefe/Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm
- C. Durchmesser Bohrloch: \_\_\_\_\_ cm
- D. Volumen d. Bohrlochs  $\times (C/2)^2 \times (B-A)$ : \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>
- E. Gewicht d. Behälters: \_\_\_\_\_ g
- F. Naßgewicht der Probe: \_\_\_\_\_ g
- G. Trockengewicht d. Probe: \_\_\_\_\_ g
- H. Trockengewicht der Erde (G-E): \_\_\_\_\_ g
- I. Gewicht der Steine: \_\_\_\_\_ g
- J. Wasservolumen ohne Steine: \_\_\_\_\_ ml
- K. Volumen Wasser + Steine: \_\_\_\_\_ ml
- L. Volumen d. Steine (K-J): \_\_\_\_\_ ml (cm<sup>3</sup>)
- M. Dichte [(H-I)/(D-L)]: \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

### Probe Nummer 2

- A. Probtiefe/Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm
- B. Probtiefe/Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm
- C. Durchmesser Bohrloch: \_\_\_\_\_ cm
- D. Volumen d. Bohrlochs  $\times (C/2)^2 \times (B-A)$ : \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup>
- E. Gewicht d. Behälters: \_\_\_\_\_ g
- G. Trockengewicht d. Probe: \_\_\_\_\_ g
- H. Trockengewicht der Erde (G-E): \_\_\_\_\_ g
- I. Gewicht der Steine: \_\_\_\_\_ g
- J. Wasservolumen ohne Steine: \_\_\_\_\_ ml
- K. Volumen Wasser + Steine: \_\_\_\_\_ ml
- Volumen d. Steine (K-J): \_\_\_\_\_ (cm<sup>3</sup>)



---

F. Naßgewicht der Probe: \_\_\_\_\_ g L. \_\_\_\_\_ ml

M. Dichte [(H-I)/(D-L)]: \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

---

**Probe Nummer 3**

A. Probentiefe/Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm G. Trockengewicht d. Probe: \_\_\_\_\_ g

B. Probentiefe/Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm H. Trockengewicht der Erde (G-E): \_\_\_\_\_ g

C. Durchmesser Bohrloch: \_\_\_\_\_ cm I. Gewicht der Steine: \_\_\_\_\_ g

D. Volumen d. Bohrlochs  $\times (C/2)^2 \times (B-A)$ : \_\_\_\_\_ cm<sup>3</sup> J. Wasservolumen ohne Steine: \_\_\_\_\_ ml

E. Gewicht d. Behälters: \_\_\_\_\_ g K. Volumen Wasser + Steine: \_\_\_\_\_ ml

F. Naßgewicht der Probe: \_\_\_\_\_ g L. Volumen d. Steine (K-J): \_\_\_\_\_ (cm<sup>3</sup>) ml

M. Dichte [(H-I)/(D-L)]: \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

---



## Datenblatt Korngrößenverteilung

Datum der Probenentnahme: \_\_\_\_\_ Meßort: \_\_\_\_\_

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Abstand vom Zylinderboden zur 500 ml Markierung: \_\_\_\_\_ cm

Aräometer (Spindel) geeicht bei (Temperatur): \_\_\_\_\_ °C

### Probe Nummer 1

A. Aräometerwert nach 2 min: \_\_\_\_\_ cm C. Aräometerwert nach 12 min \_\_\_\_\_

B. Temperatur nach 2 min: \_\_\_\_\_ °C D. Temperatur nach 12 min: \_\_\_\_\_ °C

E. Aräometerwert nach 24 Std.: \_\_\_\_\_

F. Temperatur nach 24 Std.: \_\_\_\_\_ °C

---

### Probe Nummer 2

A. Aräometerwert nach 2 min: \_\_\_\_\_ cm C. Aräometerwert nach 12 min \_\_\_\_\_

B. Temperatur nach 2 min: \_\_\_\_\_ °C D. Temperatur nach 12 min: \_\_\_\_\_ °C

E. Aräometerwert nach 24 Std.: \_\_\_\_\_

F. Temperatur nach 24 Std.: \_\_\_\_\_ °C

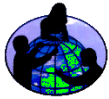
---



---

**Probe Nummer 3**

- A. Aräometerwert nach 2 min: \_\_\_\_\_ cm      C. Aräometerwert nach 12 min \_\_\_\_\_
- B. Temperatur nach 2 min: \_\_\_\_\_ °C      D. Temperatur nach 12 min: \_\_\_\_\_ °C
- E. Aräometerwert nach 24 Std: \_\_\_\_\_
- F. Temperatur nach 24 Std.: \_\_\_\_\_ °C
-



## Datenblatt Boden-pH-Wert

Datum der Probenentnahme: \_\_\_\_\_ Meßort: \_\_\_\_\_

Meßmethode (eine ankreuzen) \_\_\_\_\_ Indikatorpapier \_\_\_\_\_ pH-Pen \_\_\_\_\_ pH-Meter

---

Horizont Nr.: \_\_\_\_\_ Horizonttiefe: Obergrenze \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze \_\_\_\_\_ cm

**Probe 1**

**Probe 2**

**Probe 3**

A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_

B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_

---

Horizont Nr.: \_\_\_\_\_ Horizonttiefe: Obergrenze \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze \_\_\_\_\_ cm

**Probe 1**

**Probe 2**

**Probe 3**

A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_

B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_

---

Horizont Nr.: \_\_\_\_\_ Horizonttiefe: Obergrenze \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze \_\_\_\_\_ cm

**Probe 1**

**Probe 2**

**Probe 3**

A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_ A. pH des Wassers (ohne Boden) \_\_\_\_\_

B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_ B. pH der Boden-Wasser-Mischung \_\_\_\_\_

---





# Datenblatt Bodenfruchtbarkeit

Datum der Probenentnahme: \_\_\_\_\_ Meßort: \_\_\_\_\_

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

**Probe Nr. 1**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		

**Probe Nr. 2**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>

**Probe Nr. 3**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

**Probe Nr. 1**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
		<input type="radio"/>		

**Probe Nr. 2**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>

**Probe Nr. 3**

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>

Horizont Nummer: \_\_\_\_\_ Tiefe des Horizonts: \_\_\_\_\_ Obergrenze: \_\_\_\_\_ cm

Untergrenze: \_\_\_\_\_ cm

**Probe Nr. 1**

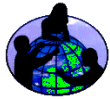
**Probe Nr. 2**

**Probe Nr. 3**



---

Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Nitrat (N)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Phosphor (P)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>
Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>	Kalium (K)	Hoch <input type="radio"/>	Mittel <input type="radio"/>	Wenig <input type="radio"/>	Kein <input type="radio"/>



# Datenblatt zur Beschreibung der Meßstelle für die Bodenfeuchtigkeit

Wählen Sie einen eindeutigen Namen für Ihren Meßort aus und beschreiben ihn präzise

Meßort: \_\_\_\_\_  
Beschreibung: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Koordinaten:            Breite: \_\_\_\_\_            Länge: \_\_\_\_\_            Höhe: \_\_\_\_\_ m

Quelle für Länge und Breite            GPS: \_\_\_\_\_            Andere: \_\_\_\_\_

## Zusatzinformationen

Abstand zum nächsten Regenschirm od. Wetterhäuschen: \_\_\_\_\_ m    Richtung: \_\_\_\_\_  
Abstand zum nächsten Meßort f.d. Bodencharakterisierung: \_\_\_\_\_ m    Richtung: \_\_\_\_\_

### Zustand der Meßstelle:

natürlich: \_\_\_    umgepflügt: \_\_\_    eingeebnet: \_\_\_    aufgefüllt: \_\_\_    kompaktiert: \_\_\_    andere: \_\_\_

### Bedeckung der Oberfläche:

blanke Erde: \_\_\_\_\_    kurzes Gras (<10 cm) \_\_\_\_\_    langes Gras (> 10 cm) \_\_\_\_\_

Gebäude im Umkreis von 30 m:    Nein \_\_\_\_\_ , Ja (Größe/ Höhe) \_\_\_\_\_

### Belaubungsdichte:

offen: \_\_\_\_\_    einige Bäume im Umkreis von 30 m: \_\_\_\_\_    Laubbedeckung über Kopf \_\_\_\_\_

### Bodencharakterisierung:

(Entnehmen Sie diese Werte dem Datenblatt für die Bodencharakterisierung der am nahe gelegenen Meßstelle für Bodencharakterisierung)

	0-5 cm	10 cm	30 cm	60 cm	90 cm
Struktur	_____	_____	_____	_____	_____
Farbe	_____	_____	_____	_____	_____
Konsistenz	_____	_____	_____	_____	_____
Textur	_____	_____	_____	_____	_____
Steine	_____	_____	_____	_____	_____
Wurzeln	_____	_____	_____	_____	_____
Dichte	_____	_____	_____	_____	_____

### Korngrößenverteilung:

% Sand	_____	_____	_____	_____	_____
% Schluff	_____	_____	_____	_____	_____
% Ton	_____	_____	_____	_____	_____

Welche Definition für Sand und Schluff haben Sie gewählt ?    USDA \_\_\_\_\_ oder ISSS \_\_\_\_\_





## Datenblatt Bodenfeuchtigkeit - sternförmige Probenentnahme

Meßort: \_\_\_\_\_

Name d. Probennehmers/ Analysator/ Protokollführers: \_\_\_\_\_

Datum der Probennahme: \_\_\_\_\_ Zeitpunkt: \_\_\_\_\_ (Std./min) UT

Aktuelle Bedingungen: Ist der Boden mit Wasser gesättigt? Ja  Nein

Trockenmethode: Ofen 95-105°C: \_\_\_\_\_ Ofen 75-95°C: \_\_\_\_\_ Mikrowelle: \_\_\_\_\_

Durchschnittliche Trockenzeit: \_\_\_\_\_ (Std. oder min)

Abstand vom Sternmittelpunkt: \_\_\_\_\_

Beobachtungen:

### Proben von der Oberfläche:

Proben Nr.	Proben-tiefe	Behälter Nr.	A. Naß-gewicht (g)	B. Trocken-gewicht (g)	C. Gewicht d. Wassers (g)	D. Behälter-gewicht (g)	E. Gewicht d. trockenen Erde (g)	F. Wasser-gehalt (C/E)x100
1	0-5 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	10 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
2	0-5 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	10 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
3	0-5 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
	10 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

### Tiefenprofil:

Proben-tiefe	Behälter Nr.	A. Naß-gewicht (g)	B. Trocken-gewicht (g)	C. Gewicht d. Wassers (g)	D. Behälter-gewicht (g)	E. Gewicht d. trockenen Erde (g)	F. Wasser-gehalt (C/E)x100
0-5 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
10 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
30 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
60 cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
90cm	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____



## Datenblatt Bodenfeuchtigkeit - Probenentnahme entlang der Transekte (lineare Meßstrecke)

Meßort: \_\_\_\_\_

Name d. Probennehmers/ Analysator/ Protokollführers: \_\_\_\_\_

Datum der Probennahme: \_\_\_\_\_ Zeitpunkt: \_\_\_\_\_ (Std./min) UT

Aktuelle Bedingungen: Ist der Boden mit Wasser gesättigt? Ja  Nein

Trockenmethode: Ofen 95-105°C: \_\_\_\_\_ Ofen 75-95°C: \_\_\_\_\_ Mikrowelle: \_\_\_\_\_

Durchschnittliche Trockenzeit: \_\_\_\_\_ (Std. oder min)

### Tägliche Zusatzinformationen:

Länge der Linie: \_\_\_\_\_ m Kompass: \_\_\_\_\_ Abstand: \_\_\_\_\_ m

### Anweisungen:

Die lineare Meßstrecke sollte 50 m lang sein und sich auf einem offenen Gelände befinden. Die Messungen werden 12 pro Jahr in regelmäßigen Abständen (nach Ihrer Wahl) durchgeführt. Geben Sie die Daten für Ihre Proben ein, die Sie in 0-5 cm Tiefe entnommen haben (10 Einzelproben + einer Dreifachprobe):

### Beobachtungen:

Proben Nr.	Abstand vom Ende der Transekte (m)	Behälter Nr.	A. Naßgewicht (g)	B. Trocken- gewicht (g)	C. Gewicht d. Wassers (g)	D. Behälter- gewicht (g)	E. Gewicht d. trockenen Erde (g)	F. Wasser- gehalt (C/E)x100
1	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
2	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
3	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
4	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
5	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
6	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
7	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
8	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
9	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
10	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
11	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
12	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
13	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____



## Datenblatt für die Gipssensoren

Meßort: \_\_\_\_\_

Name und Adresse der Schule: \_\_\_\_\_

Name des GLOBE-Lehrers: \_\_\_\_\_

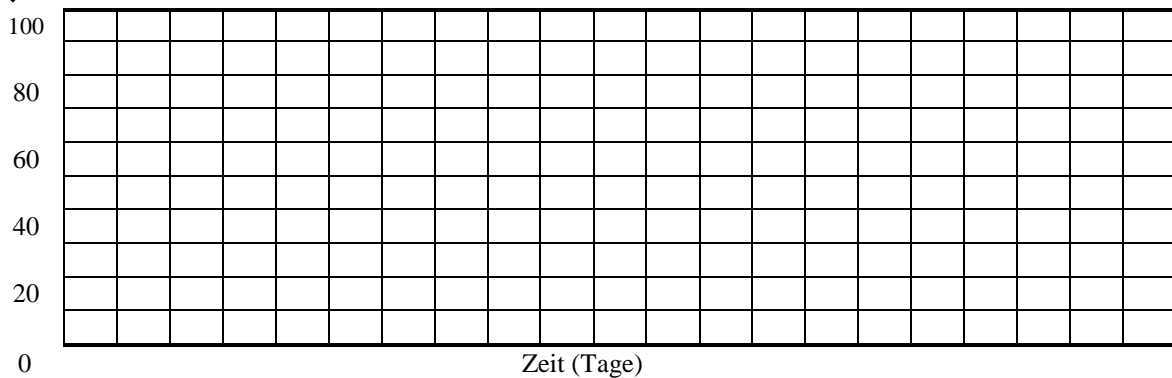
Ab wann wurde diese Eichkurve verwendet: \_\_\_\_\_

### Beobachtungen:

#	Messungen		Ist der Boden mit Wasser gesättigt? ja oder nein	Name des Beobachters	Anzeige des Meßgeräts				Wassergehalt aus der Eichkurve			
	Datum	Zeit (UT)			10 cm	30 cm	60 cm	90 cm	10 cm	30 cm	60 cm	90 cm
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Anzeige des Meßgerätes

↓





## Datenblatt für die Gipssensoren -jährliche Eichung

Meßort: \_\_\_\_\_

Name und Adresse der Schule: \_\_\_\_\_

Name des GLOBE-Lehrers: \_\_\_\_\_

Trockenmethode:    Ofen 95 - 105 °C:    \_\_\_\_\_ Ofen 75-95 °C:    \_\_\_\_\_ Mikrowelle:    \_\_\_\_\_

Durchschnittliche Trockenzeit:    \_\_\_\_\_ (Std. oder min)

### Beobachtungen:

Messungen				Daten nur für 30 cm Tiefe						
#	Datum	Zeit (UT)	Name des Beobachters	A. Naßgewicht (g)	B. Trocken-gewicht (g)	C. Wasser-gewicht (g)	D. Behälter-gewicht (g)	E. Gewicht trockene Erde (B-D)	F. Wasser-gehalt (C/E)x100	G. Anzeige des Meß-geräts
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Wassergehalt des Bodens (g/g)

↓

50										
40										
30										
20										
10										