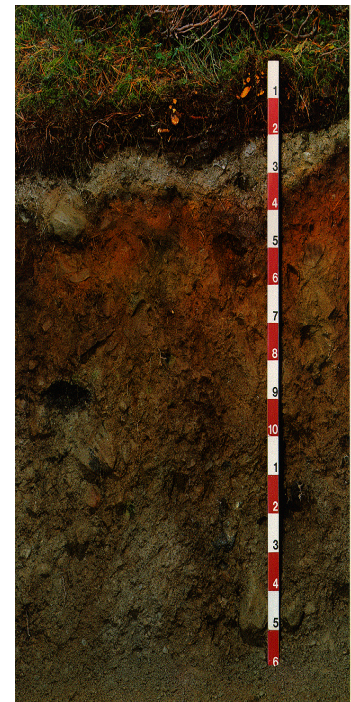
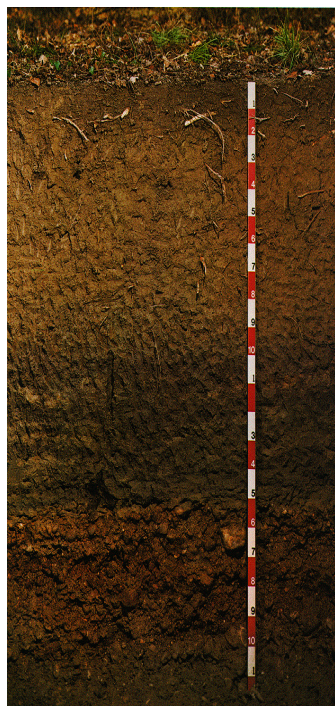
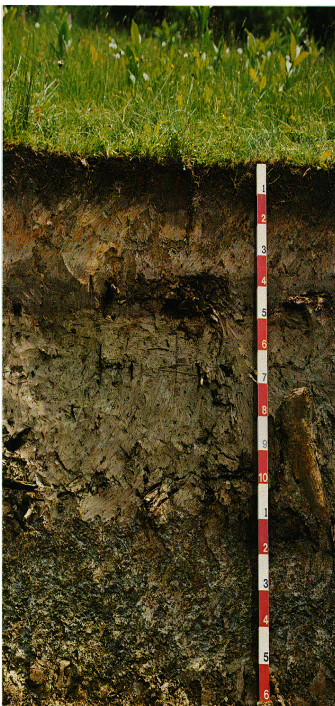


Bodenfunktionen sichtbar machen

– Zehn Bodenexperimente und ihre Deutung –

Thomas Keller und André Desaules



Juni 2016

Autoren

Thomas Keller, Agronom und André Desaulles, Geograf sind ehemalige, langjährige Mitarbeiter der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO).

Bezug als PDF-Dokument: www.educa.ch oder www.zebis.ch, Suchbegriff: Boden

Ausleihe als Papierversion mit Materialkiste „Erböden erforschen“: Mediothek Helvetiaplatz PH Bern (www.phbern.ch/ideenset-erdboeden)

Beratung kostenlos und Begleitung nach Vereinbarung:

André Desaulles, andre.desaules@bluewin.ch

1. Auflage 1998, Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Liebefeld-Bern der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz-Zürich

2. überarbeitete und erweiterte Auflage 2016

„Es ist gut für den Menschen seinen Kopf in den Wolken zu haben und seine Gedanken zwischen den Adlern wohnen zu lassen; aber er muss auch daran denken, dass je höher der Baum in den Himmel wächst, desto tiefer seine Wurzeln in das Herz von Mutter Erde hineindringen müssen.“

SPRUCHWEISHEIT DER CROW-INDIANER

Inhalt

Zum Einstieg und Gebrauch	3
Bodenfunktionen	6
<i>Der Boden als Wohn- und Wurzelraum - Lebensraumfunktion</i>	8
<i>Der Boden als Recyclingunternehmen - Stoffwechselfunktion</i>	11
<i>Der Boden als Klärwerk - Filterfunktion</i>	14
<i>Der Boden als Schwamm - Speicherfunktion</i>	17
<i>Der Boden als Puffer - Pufferfunktion</i>	19
<i>Der Boden als Gerüst - Stabilitätsfunktion</i>	21
<i>Der Boden als Fundament - Baugrundfunktion</i>	23
Die Beurteilung der Funktionen am Bodenprofil	25
Bodenexperimente und Bodenprofil-Skizze	28
1. Experiment "Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder"	28
2. Experiment "Bodentiere fangen"	29
3. Experiment "Laubzersetzung durch Asseln"	31
4. Experiment "Zelluloseabbau durch Pilze und Bakterien"	32
5. Experiment "Sicker-/Speicher-/Filterversuch"	33
6. Experiment "Sickerversuch im Freiland"	35
7. Experiment "Säure-Pufferversuch"	36
8. Experiment "Sand/Ton-Mischversuch"	37
9. Experiment "Krümel-Stabilitätsversuch"	38
10. Experiment "Wasserabfluss wegen Bodenversiegelung"	39
11. Anleitung "Bodenprofil-Skizze"	39
Begriffserläuterungen	41
Hinweise auf weitere Lehrmittel und Info-Stellen zur Bodenkunde	44
Anhänge	45
Anhang 1: Zeitplan für Bodenexperimente	45
Anhang 2: Fundorte geeigneter Versuchsböden und -tiere	46
Anhang 3: Entnahme von Bodenproben und Probenvorbereitung	47
Anhang 4: Bestimmungsschlüssel für Bodentiere	49
Anhang 5: Protokollformular Bodentiere	51
Anhang 6: Lösungen zum 10. Experiment	52
Anhang 7: Anleitung Bodengrube graben	53
Anhang 8: Formular Bodenprofil-Skizze	54

Dank

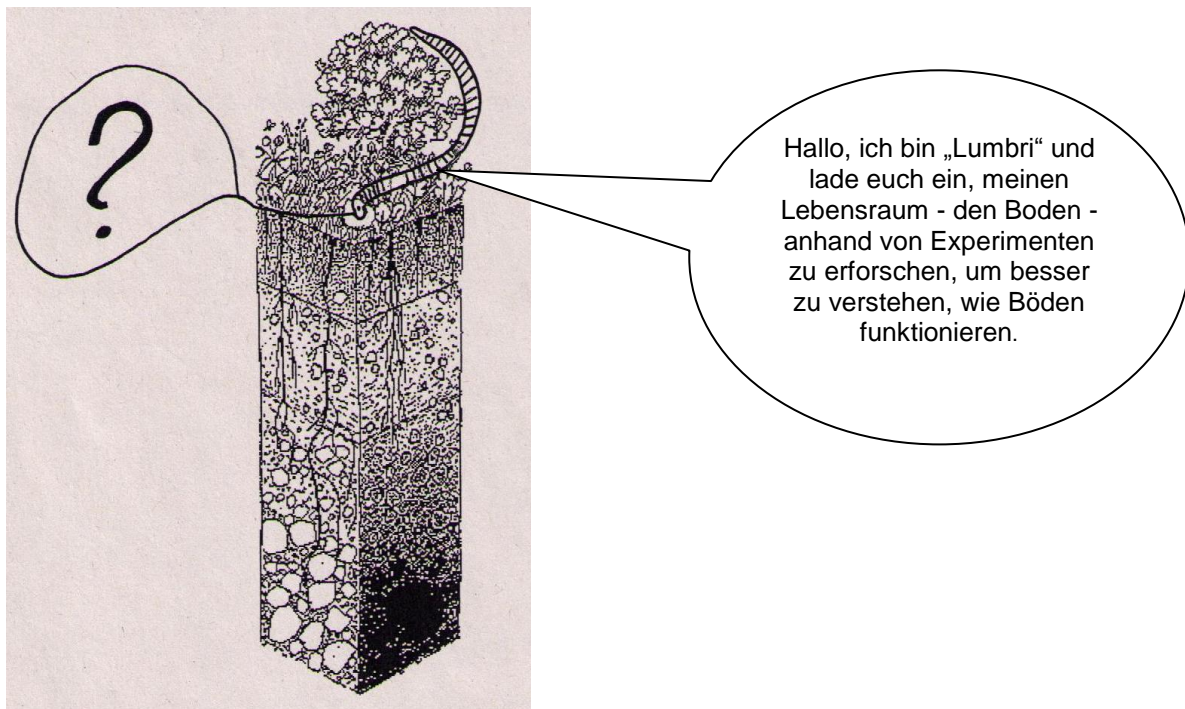
Zur 1. Auflage, 1989:

Für die Unterstützung bei der Erarbeitung der vorliegenden Broschüre danken wir folgenden Personen und Institutionen:

- Peter Fafri, Sekundarschule Wankdorf, Bern
- Allen, die mit Bildern, Grafiken, Unterlagen und Kritik zu dieser Broschüre beigetragen haben.
- Dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) für die finanzielle Unterstützung des Projektes

Zur 2. Auflage, 2016:

Unser Dank gilt diesmal zudem allen Lehrpersonen, Schülerinnen und Schülern, welche uns über die vergangenen Jahre erlaubten, weitere Erfahrungen mit Bodenexperimenten im Schulunterricht zu sammeln und uns damit motivierten, diese Broschüre zu überarbeiten, um sie für Schulen noch brauchbarer und besser verfügbar zu machen.



Zum Einstieg und Gebrauch

Erböden - kurz Böden - sind die äusserste, belebte Verwitterungsschicht der Erdkruste, die wenige Zentimeter bis mehrere dutzende Meter mächtig sein kann. Böden bestehen aus organisch-mineralischen Stoff- und Körnungsgemischen sowie mit Wasser und Luft gefüllten Poren. Sie sind in mehr oder weniger deutlichen Schichten aufgebaut, die Bodenhorizonte genannt werden. Böden erfüllen in der Natur und für die Menschen verschiedene Funktionen.

Böden bilden unsere Lebensgrundlage, sind Teil unseres Lebensraumes. Ohne Boden sind wir nicht lebensfähig, wir brauchen ihn, denn wir sind und bleiben Landbewohner. Wir können weder im Wasser noch in der Luft leben, wir leben auf und mit dem Boden. Boden ist weder Schmutz noch Dreck, auch wenn dies die Eltern den Kindern immer wieder weismachen wollen. Boden ist der Beginn und gleichzeitig der Endpunkt unserer *Nahrungskette*. Pflanzen, Tiere und Menschen ernähren sich direkt oder indirekt vom Boden, werden gefressen oder sterben und gelangen so wieder in den Boden, wo sie abgebaut werden - der Kreislauf beginnt von neuem. Wir sind auf den Boden angewiesen, bearbeiten und brauchen ihn, aber oft missbrauchen und zerstören wir ihn auch.

Wir benutzen den Boden wie einen toten Gegenstand. Um aber einen Gegenstand, wie ein Auto oder eine Kaffeemaschine, richtig zu gebrauchen, müssen wir wissen, wie er funktioniert. Wie etwas funktioniert, lernen wir am einfachsten mit experimentieren. Dieser Weg ist besser als die Benützung der Kaffeemaschine gemäss einer Gebrauchsanleitung oder Vorschrift, die wir ohne Verständnis mehr oder weniger genau befolgen. Erst wenn wir wissen, wie etwas funktioniert, können wir einsehen, warum wir etwas tun oder lassen sollen. Dazu haben wir diesen Bericht mit Experimentieranleitung verfasst.

Im ersten Teil werden sieben Bodenfunktionen vorgestellt und aufgezeigt, wieweit diese im Boden/profil sichtbar werden und beurteilt werden können

Im zweiten Teil veranschaulichen zehn ausgewählte Experimente, auf welcher unterschiedlichen Art lebenswichtige Bodenfunktionen erfüllt werden. Je nach Boden, Standort, Klima und Pflanzenbewuchs werden die Funktionen besser oder schlechter erfüllt. Eine ganz entscheidende Rolle spielt dabei die Be/Nutzung des Bodens durch den Menschen. Durch experimentelle Erfahrung lernen wir die Funktionen des Bodens kennen, und wir erfahren, wie wichtig ein gesunder Boden für die Erfüllung dieser grundlegenden Funktionen ist. Wir werden in der Lage sein, unseren Umgang mit dem Boden selber zu verantworten und anderen Leuten zu erklären, wann im Boden etwas zu tun oder zu lassen sei. Je intensiver die Eingriffe in den Boden sind, je sorgfältiger muss der Umgang mit ihm sein. Denn stark belastete Böden sind kaum regenerierbar. Der Boden, ist ein unverzichtbares Gut und bedarf daher besonderen Schutz und Pflege. Wir müssen ihn so be/nutzen, dass die elementaren Bedürfnisse aller Lebewesen - auch diejenigen zukünftiger Generationen - gedeckt und das Funktionieren der natürlichen Kreisläufe gesichert sind.

Die Broschüre richtet sich an Schülerinnen und Schüler ab dem dritten Schuljahr und interessierte Laien. Die Experimente sind unterschiedlich anspruchsvoll und die nachstehende Tabelle gibt Auskunft, ab welcher Schulstufe die Durchführung der einzelnen Bodenexperimente und die Bodenprofil-Skizze - mit mehr oder weniger Unterstützung einer Lehrperson - sinnvoll scheint, sowie Schätzungen des Zeitbedarfs ohne Materialbeschaffung. Überdies begleitet euch „Lumbrī“ der Regenwurm (Lateinisch: Lumbricus) bei der Erforschung der Bodenfunktionen.

Bodenexperimente	Schuljahr							Zeitbedarf Lektionen
	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	
Probenahmen	x	x	x	x	x	x	x	2-3
Probenvorbereitung	x	x	x	x	x	x	x	1-2
1. Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder	x	x	x	x	x	x	x	3-4
2. Bodentiere fangen:								
- Methode von Hand auslesen	x	x	x	x	x	x	x	2
- Methode mit Licht austreiben	x	x	x	x	x	x	x	3
3. Laubzersetzung durch Asseln	x	x	x	x	x	x	x	2-3
4. Zellulose Abbau durch Pilze und Bakterien	x	x	x	x	x	x	x	2
5. Sicker-/Speicher-/Filterversuch	x	x	x	x	x	x	x	2-3
6. Sickerversuch im Freiland	x	x	x	x	x	x	x	2
7. Säure-Pufferversuch			x	x	x	x	x	3
8. Sand/Ton-Mischversuch	x	x	x	x	x	x	x	½
9. Krümel-Stabilitätsversuch	x	x	x	x	x	x	x	½-1
10. Wasserabfluss wegen Bodenversiegelung			x	x	x	x	x	½-1
11. Bodenprofil-Skizze	x	x	x	x	x	x	x	1

x wenig Unterstützung

x mehr Unterstützung

Ein Zeitplan aller Bodenexperimente ist in Anhang 1 zusammengestellt. Dieser erlaubt nach Auswahl der vorgesehenen Experimente, deren zeitlichen Ablauf nach Bedarf zu staffeln und in einem Unterrichtsblock zu koordinieren. Der Zeitbedarf für sämtliche Bodenexperimente wird auf 24 bis 30 Lektionen über eine Zeitspanne von etwa 4 Wochen geschätzt.

Experimente misslingen oft wegen schlechter Ausgangsbedingungen oder ungeeigneter Versuchsanordnung. Wir haben die Experimente deshalb selber getestet und so einfach wie möglich gestaltet. Wichtig ist, dass tatsächlich die angegebenen Böden verwendet werden, um optimale und kontrastreiche Ausgangsbedingungen zu haben. Fundorte geeigneter Versuchsböden und -tiere sind in Anhang 2 aufgeführt.

Der Zeitbedarf für die Material- und Probenbeschaffung ist bei den Bodenexperimenten nicht angegeben, da dieser je nach Verhältnissen stark variieren kann.

Eine Anleitung zur Entnahme von Bodenproben und Probenvorbereitung ist in Anhang 3 zu finden, sowie für die Erstellung einer Bodenprofil-Skizze (11. Anleitung „Bodenprofil-Skizze“).

Das benötigte Material für die Bodenexperimente ist teilweise in der Materialkiste „Erböden erforschen“ zu finden, die in der Mediothek Helvetiaplatz PHBern (www.phbern.ch/ideenset-erdboeden) ausgeliehen werden kann. Insbesondere das Verbrauchsmaterial muss aber selber beschafft werden. Wo angebracht, werden dazu Hinweise für den Bezug im Internet angegeben (Suchbegriffe: „Produktenamen kaufen“). Konkrete Bezugsquellen sind selten angegeben, weil diese oft bald nicht mehr aktuell sind.

Fachliche Beratung erteilt auf Anfrage kostenlos André Desaulles, andre.desaules@bluewin.ch. Nach Vereinbarung ist allenfalls auch eine fachliche Begleitung möglich.

Kursiv gedruckte Ausdrücke sind im Kapitel Begriffserläuterungen beschrieben.

Weitere Hinweise auf aktuelle und einfach verfügbare Lehrmittel und Info-Stellen sind am Schluss der Broschüre aufgeführt.

Bodenfunktionen

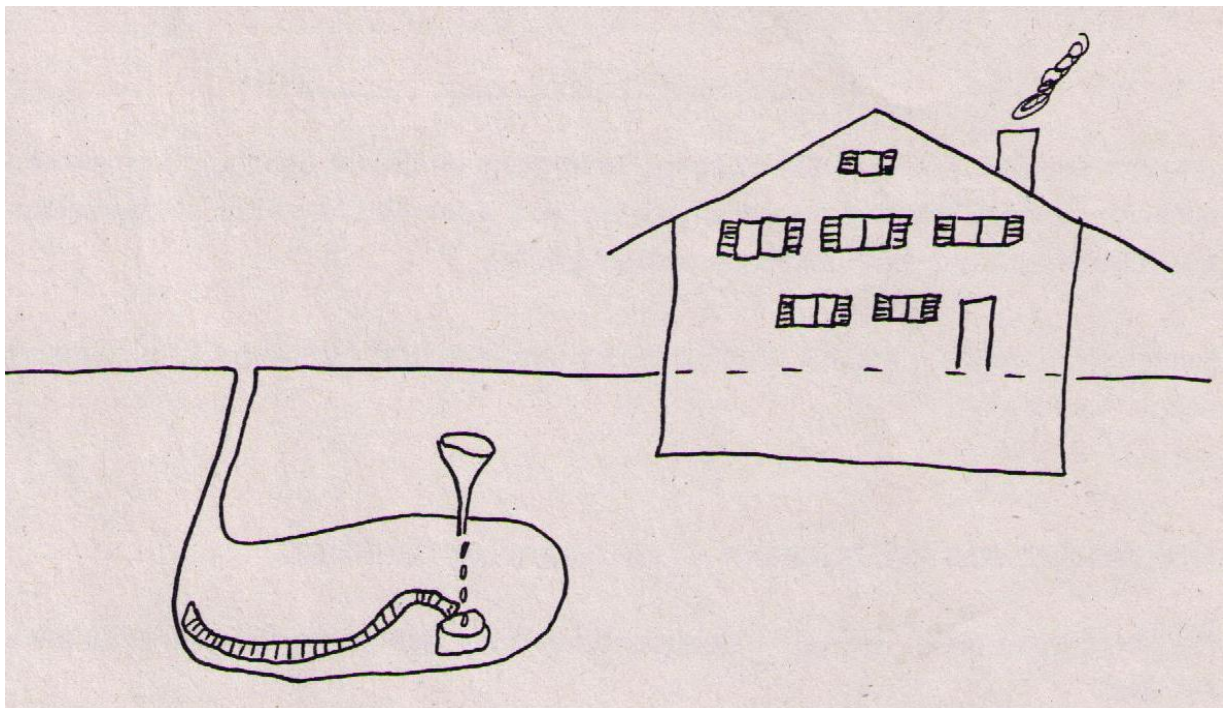
Die Funktionen der Böden können in zwei Kategorien eingeteilt werden. Auf der einen Seite erfüllen Böden naturgemäss selber Aufgaben (naturgegebene Funktionen) und auf der anderen Seite werden Böden vom Menschen zu etwas benutzt oder auch missbraucht (menschenbezogene Funktionen).

Naturgegebene Funktionen:

- Lebensraumfunktion (Pflanzen/Tiere)
- Filterfunktion
- Speicherfunktion
- Pufferfunktion
- *Stoffwechselfunktion* (Transformation)
- Stabilitätsfunktion
- Genreserve (Artenvielfalt)

Menschenbezogene Funktionen:

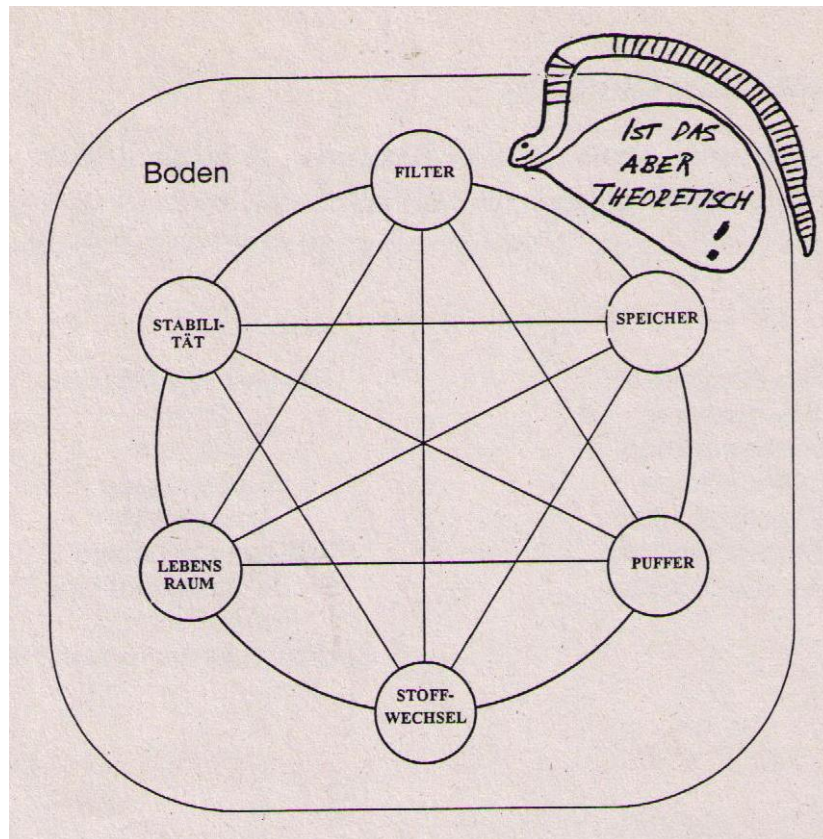
- Lebensgrundlage (Landbewohner)
- Produktionsgrundlage (Forst-/Landwirtschaft)
- Lagerstätten/Rohstofflieferanten
- Baugrund
- Kapitalanlage
- Siedlungs-/Industriestandort
- Archiv (Natur, Archäologie)



Naturgegebene Filterfunktion

Menschenbezogene Baugrundfunktion

Jeder nicht überbaute Boden erfüllt mehr oder weniger alle natürlichen Bodenfunktionen. Die natürlichen Funktionen der Böden sind auch in verschiedenem Ausmass voneinander abhängig und verknüpft, wie aus der nachfolgenden Abbildung hervorgeht.

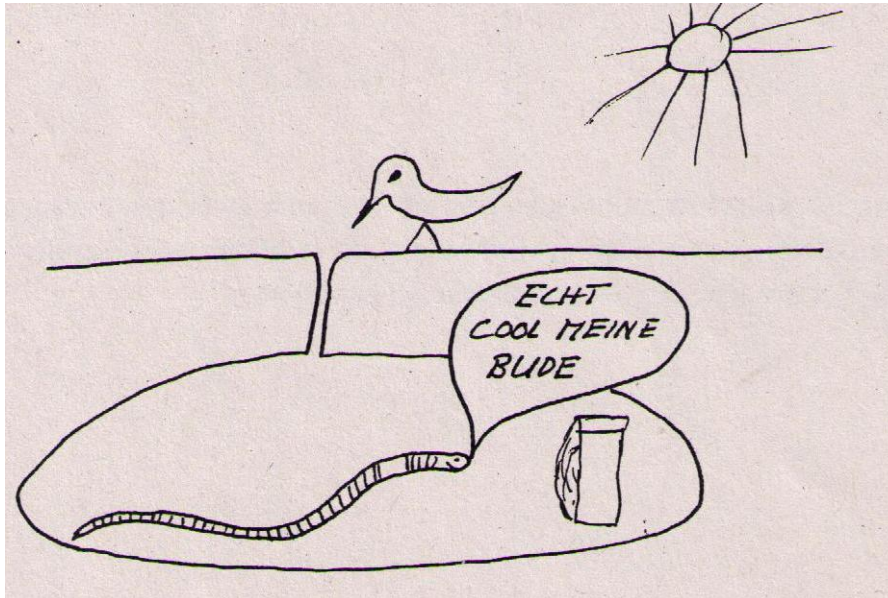


Wie gut ein Boden die verschiedenen Funktionen erfüllt, ist abhängig von seinen Eigenschaften, seinem Standort und der Nutzung. Auf jeden Fall kann nur ein gesunder und intakter Boden die naturgegebenen Funktionen optimal erfüllen.

Nachfolgend wollen wir einige wichtige Bodenfunktionen kennen und mit ausgewählten Experimenten verstehen lernen, wie gut diese von verschiedenen Böden erfüllt werden.

Der Boden als Wohn- und Wurzelraum - Lebensraumfunktion

Der Wohnraum bietet den darin lebenden Individuen Schutz vor Umwelteinflüssen und Feinden.

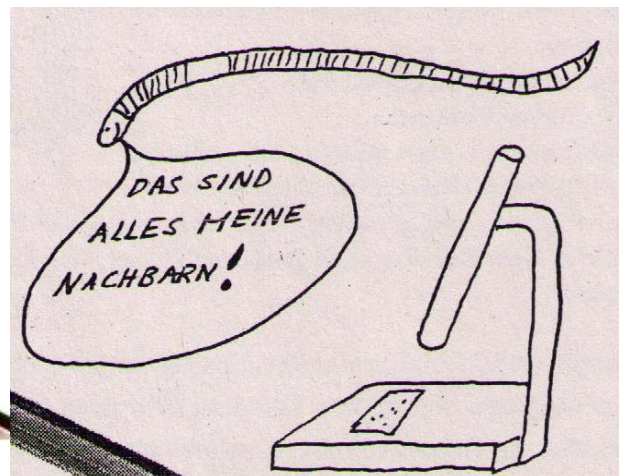


Der Lebensraum Boden bestimmt das Nahrungsangebot, die Feuchtigkeit, die Temperatur und den Lichtschutz der Bodenlebewesen und damit die Art und Anzahl seiner Bewohner. Fühlen sich Tiere und Pflanzen in diesem Lebensraum wohl, können sie sich dort gesund entwickeln und produktiv sein - der Boden fruchtbar. Aber nicht alle Pflanzen und Tiere fühlen sich am gleichen Standort wohl. Die Dotterblume bevorzugt sumpfige Standorte, die Alpenrose eher kühle und recht karge Standorte. Trotz sehr unterschiedlichen Standortverhältnissen kann der Boden an beiden Orten fruchtbar sein. Ein Boden ist dann fruchtbar, wenn sich für einen bestimmten Standort typische Pflanzen und Tiere wohl fühlen und gut gedeihen. Einer der bekanntesten Bodenbewohner ist der Regenwurm. Das 1. Experiment verdeutlicht die Lebensraumfunktion des Bodens für „Lumbri“ den Regenwurm aber auch für das Wachstum von Pflanzenwurzeln.

Der Lebensraum Boden spendet den Pflanzen, „Lumbri“ und seinen Genossen Feuchtigkeit und Nahrung. Zudem bietet er Bodentieren Schutz vor Feinden, Sonnenlicht und extremen Temperaturen. Deshalb werden sich die Regenwürmer so schnell wie möglich in den Schauzylinder eingraben. Bereits nach wenigen Tagen sieht man, dass die Regenwürmer Gänge angelegt haben. Diese werden sich bald durch alle Erdschichten ziehen und die Erde immer mehr vermischen. Einerseits mischen Regenwürmer verschiedene Feinerde-Schichten, andererseits trennen sie aber auch Steine und Feinerde, indem sie je nach Standort pro Jahr bis maximal 5 cm humusreiche Wurmkothaufen (Mull) auf die Bodenoberfläche schütten. Die maximale Aufschütthöhe wird durch die Grabungstiefe von gewöhnlich 1 bis 2 m begrenzt. So werden archäologische Gegenstände und Bauwerke im Boden im Laufe der Zeit begraben und geschützt. Durch die Wurmgänge wird der Boden

gelockert, Luft und Wasser können besser eindringen. Mit dem Regenwurmzylinder können verschiedene Umweltbedingungen nachgestellt werden. Wir können Trockenheit, Ver-nässung und starke Sonneneinstrahlung simulieren und so beobachten, wie die Regenwürmer auf diese Situationen reagieren. Am liebsten haben es die Regenwürmer feucht: In trockenen Sommern kriechen sie tief nach unten und knäueln sich zusammen. In diesem Ruhezustand können sie bis zur Hälfte ihres Gewichtes verlieren. Die Pflanzenabfälle packen die Regenwürmer mit der Mundöffnung und transportieren sie in die Röhre. Dort befeuchten sie diese mit Schleim und Bakterien besorgen die Vorverdauung. Die aufgeweichten Reste fressen sie zusammen mit Erde und dem Kot von Tieren. Rund vierzig Regenwurmartarten kommen in unserem Land vor. Die Bedeutung dieser Bodentiere für die Durchmischung, Durchlüftung und Wasserspeichervermögen der Böden ist enorm. Bis zu 300 Tonnen Erde - das entspricht 20 bis 30 Güterbahnwagen - werden jedes Jahr in einer Hektare gesunden Ackerlandes durch Frass und Ausscheidung der Regenwürmer umgepflügt. Ihre Grabtätigkeit fördert die Durchmischung und Durchlüftung der Böden in entscheidendem Masse und erleichtert den Pflanzenwurzeln den Zugang zu tieferen Bodenschichten. Was den Darm der Regenwürmer verlässt, ist nicht einfach Bodenmaterial, sondern durch den Verdauungsprozess veredelte, nährstoffreiche, fruchtbarste Erde und wird Mull genannt. Dieser Wurm Kot trägt wesentlich zur guten Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bei. In einer Weide können bis zu 2.5 t Regenwürmer pro Hektare leben.

Aber nicht nur Regenwürmer leben im Boden, sondern auch eine enorme Vielfalt anderer Lebewesen. Sowohl die Artenvielfalt als auch die Anzahl dieser Lebewesen, insbesondere der *Mikroorganismen*, im Boden übertrifft nachweislich jene aller anderen Lebensräume bei weitem und ist noch kaum erforscht (Genreserve). Ein Boden-Mikroorganismus der die Gesundheit und Lebensdauer der Menschheit verändert hat, ist der Schimmelpilz „Penicilium“, denn daraus wurde das erste Antibiotikum gewonnen. In einem Fingerhut voll Erde befinden sich mehr Lebewesen als Menschen auf der ganzen Erde. Das Gewicht der Würmer, Bakterien und anderen Bodenlebewesen, die unter einer Fläche in der Größe eines Fussballfeldes zu finden sind, entspricht etwa drei ausgewachsenen Kühen. Zwischen verschiedenen Böden bestehen grosse Unterschiede. Aber auch innerhalb eines Bodens gibt es Unterschiede. Das 2. Experiment zeigt, wie unterschiedlich die Arten und ihre Individuen-Zahlen der Bodenlebewesen sein können.



Am meisten Bodentiere finden sich in der Streuschicht und obersten Bodenschicht (2-4 cm). Im Allgemeinen leben grössere und stärker pigmentierte Bodentiere näher an der Bodenoberfläche. Die Zahl und Zusammensetzung der Bodenlebewesen hängt vom Klima, vom Boden, der Bodentiefe, der Jahreszeit und in einem ganz entscheidenden Masse von der auf dem Boden wachsenden Pflanzenarten und den Beziehungen der Bodenlebewesen untereinander ab. Die Pflanzenarten und deren Rückstände bestimmen den Speisezettel der Bodenlebewesen. Vor allem das bessere Nahrungsangebot durch die stärkere Durchwurzelung und die *Streuzufuhr* von oben bewirken, dass in vielen Böden die oberste humose Schicht ein viel stärker ausgeprägtes Bodenleben aufweist, als tiefer gelegene Schichten. Grosse Regenwürmer kommen in grobkörnigen Böden nicht vor, weil Bau und Stabilität ihrer Röhren erschwert sind. Sie fehlen aber auch weitgehend in sehr sauren, lehmigen Böden; dagegen sind andere Tiergruppen stärker vertreten.

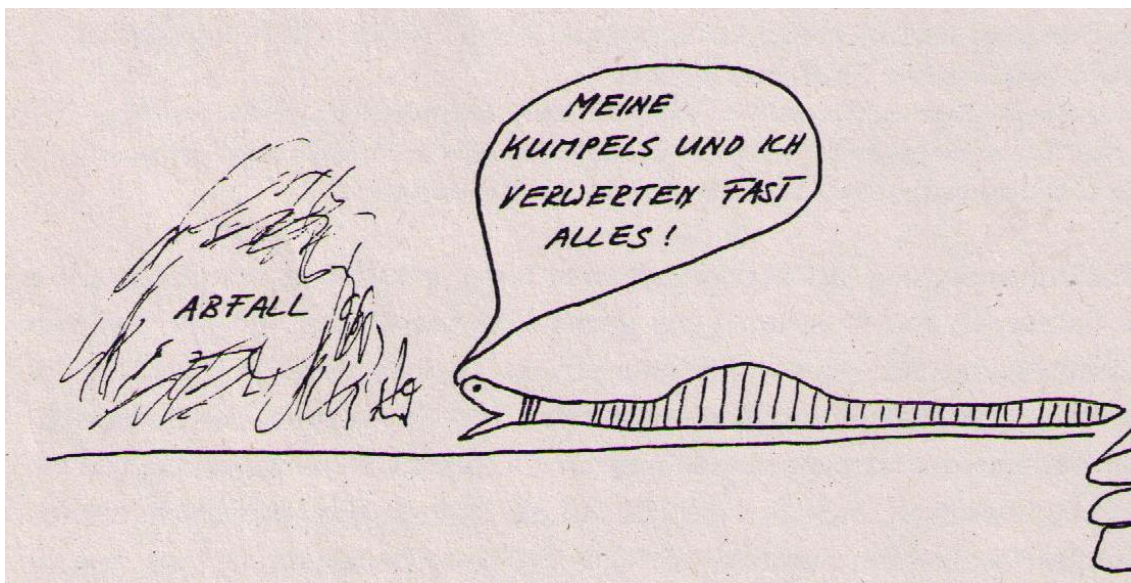
Beeinträchtigt wird die Lebensraumfunktion, wenn der Boden bearbeitet wird, da jede Bearbeitungsmassnahme einen äusserst starken Eingriff ist, dem zahlreiche tierische Lebewesen durch Verschüttung und Quetschung zum Opfer fallen. Deshalb ist der Tierbesatz in Ackerböden stets geringer als in vergleichbaren Wiesenböden. Aber auch gleichartig zusammengesetzte Pflanzenbestände, Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz sowie teilweise Entwässerung oder Bewässerung, Belastungen durch *Schwermetalle* und *Luftschadstoffe* können sich negativ auf die Anzahl und Vielfalt der Bodenlebewesen auswirken.

Die Beurteilung der Lebensraumfunktion im Boden/profil

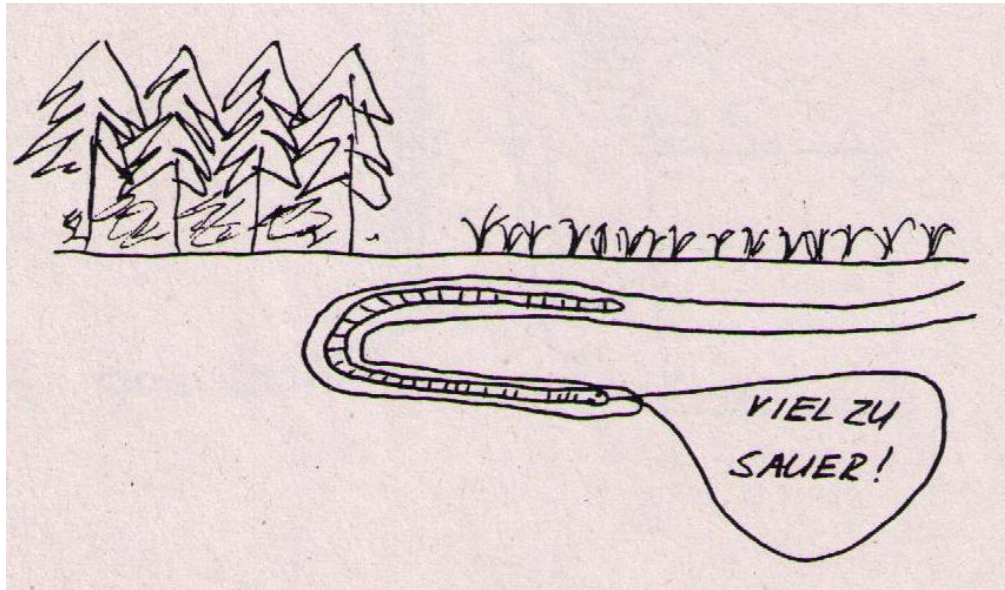
Ein hohes Nahrungsangebot, stabiles Gefüge mit zahlreichen Poren und ein ausgeglichenes mässig warm und feuchtes Bodenklima sind die besten Voraussetzungen für eine optimale Lebensraumfunktion. Gehemmt wird diese, wenn der Boden *verdichtet* oder vernässt ist, so dass die Luftzufuhr und der Stofftransport in den Boden eingeschränkt sind. Das gilt auch für sehr trockene Böden, nur dass der Stofftransport durch Wassermangel gehemmt ist.

Der Boden als Recyclingunternehmen - Stoffwechselfunktion

Ein Recyclingunternehmen sammelt verbrauchte Produkte, verwertet diese und stellt daraus neue Produkte oder Grundstoffe für neue Produkte her und führt diese Stoffe wieder in den Produktionskreislauf zurück. Leere Flaschen und Gläser werden von uns gesammelt und der Glassammelstelle zugeführt. Diese gesammelten Flaschen und Gläser werden zerkleinert, eingeschmolzen und zu neuen Gläsern und Flaschen gegossen. Fast genau so geschieht dies im Boden mit den abbaubaren Stoffen, die auf den Boden gelangen. Aber im Gegensatz zum Recyclingunternehmen, welches Energie benötigt um neue Produkte herzustellen, wird im Boden Energie freigesetzt.



Abgestorbene Pflanzen und Tiere, Mist, Gülle, gelöste und ungelöste Nähr- und *Schadstoffe* gelangen auf und in den Boden. Bei intakten Böden werden diese Stoffe zu pflanzenverfügbaren Nährstoffen umgebaut und den Pflanzen zur Verfügung gestellt. Einige wenige *Schadstoffe* können durch die Bearbeitung der *Mikroorganismen* um- und abgebaut werden, so dass sie meistens keine schädliche Wirkung mehr aufweisen. Bodentiere zerkleinern abgestorbene Pflanzenstreu und Tierleichen und fördern damit sehr wesentlich die Zersetzung durch *Mikroorganismen*. Durch Zerkleinerung und mischende Tätigkeit der Bodentiere wird auch verhindert, dass die Bodenoberfläche mit einer zunehmend wachsenden Schicht nicht zersetzter Abfallstoffe bedeckt ist (Streuschicht). Während des Abbaus können die *Mikroorganismen* Nährstoffe festlegen, indem sie diese in ihre Körper einbauen. Diese Nährstoffe werden erst wieder freigesetzt, wenn die betreffenden Tiere sterben. So kann eine *Nährstoffauswaschung* verhindert werden. Die Experimente 3 und 4 zeigen auf, wie unterschiedlich die *Stoffwechselfunktion* zwischen verschiedenen Böden aber auch innerhalb eines einzelnen Bodens sein kann und wie die Zersetzungskette mit grossen (Asseln) und kleinen (Bakterien) Bodenorganismen funktioniert.



Bei einer zu intensiven Bodenbearbeitung erfolgt der Abbau der *organischen Substanz* zu schnell, so dass der *Humusgehalt* des Bodens stark abnimmt. Hingegen ist der Abbau beim Nadelwaldboden stark gehemmt wie der Nadelteppich zeigt, da dieser meist sehr sauer und nährstoffarm ist und deshalb wenig Bodentiere und Mikroorganismen enthält. Noch extremer sind Moorböden, die wassergesättigt sind und deren Humusabbau komplett unterbunden wird. Werden die Moorböden entwässert (drainiert), wie dies beispielsweise im Grossen Moos der Fall war, wird der Abbau stark gefördert. Die organische Substanz wird mineralisiert; das Moor sackt zusammen. Dies ist im Grossen Moos deutlich sichtbar; Schachtdeckel die zum Zeitpunkt der Entwässerung gebaut wurden und damals ebenerdig waren, stehen heute deutlich hervor.

Aber nicht nur zwischen den Böden bestehen Unterschiede, sondern auch innerhalb eines Bodens. So sind in der Regel in den oberen Bodenschichten, die besser mit Luft versorgt sind - wo aber auch die meisten organischen Abfälle abgebaut werden müssen - mehr abbauende Organismen vorhanden, wie das 4. Experiment zeigt:

Löschblätter oder Filterpapier bestehen aus gequetschten Holzfasern (Zellulose) und sind also organisches Material, wie zum Beispiel Laub. Der Abbau der Papierrondellen ist sehr unterschiedlich, wie der Versuch zeigt. Gute Durchlüftung und ein gutes Nährstoffangebot beschleunigen den Abbau, saure Bodenverhältnisse verzögern ihn. Der Abbau ist deshalb in Ackerböden sehr gut, da meist reichlich Nährstoffe vorhanden sind und durch die ständige Bodenbearbeitung die Luftzufuhr gefördert wird.

Die Menge und Art der *Mikroorganismen* (*Pilze, Strahlenpilze, Bakterien*) sind sehr unterschiedlich. Mit Ausnahme der durch Pflügen durchmischten Ackerkrume ist aber gut erkennbar, dass in tieferen Bodenschichten deutlich weniger *Mikroorganismen* vorhanden sind als in den oberen Schichten.

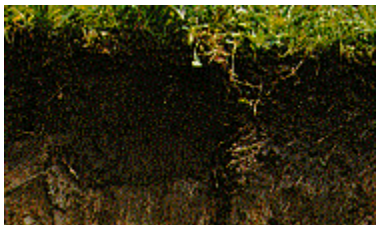
Unterschiedliche Bodeneigenschaften ergeben eine grosse Vielfalt an Bodenlebewesen und ebenso der *Stoffwechselfunktion*. Ein Boden mit einer guten *Stoffwechselfunktion* baut Vegetationsrückstände innerhalb eines Jahres zu feinem *Humus* um, so dass nach dieser Zeit keine sichtbaren Pflanzenrückstände mehr vorhanden sind. Eine gute *Stoffwechselfunktion* hängt auch von der Luftzufuhr im Boden ab (siehe Kap. „Der Boden als Gerüst“), da der überwiegende Teil der abbauenden Organismen für ihre Tätigkeit Sauerstoff benötigt. Je günstiger der Luft-, Wasser- und Temperaturhaushalt ist, desto aktiver ist der biologische Abbau.

Die Beurteilung der Stoffwechselfunktion im Boden/profil

Die wichtigste Voraussetzung für die *Stoffwechselfunktion* ist das Vorhandensein von Wasser. Die *Stoffwechselfunktion* ist zudem eingeschränkt, wenn der Boden *verdichtet* oder vernässt und somit zu wenig Luft vorhanden ist, oder aber sehr sauer (Moor) ist und/oder wenn die Temperaturen zu tief sind, wie in den Bergen, so dass die Bodenorganismen nur beschränkt aktiv sein können. Die Mächtigkeit der *Humusschicht* ist ein Zeiger für die Aktivität der *Stoffwechselfunktion*. Dabei geben die drei wichtigsten *Humusformen* Mull, Moder und Rohhumus gute Anhaltspunkte über die *Stoffwechselfunktion*.



Rohhumus: ungünstige *Humus-Form* nährstoffarmer, biologisch inaktiver Böden. Praktisch unzersetzte Vegetationsrückstände bilden einen „Auflagehumus“ (z.B.: Nadelteppich) über Mineralboden. Die *Stoffwechselfunktion* ist schlecht, der Abbau stark gehemmt und die Durchmischung gering.



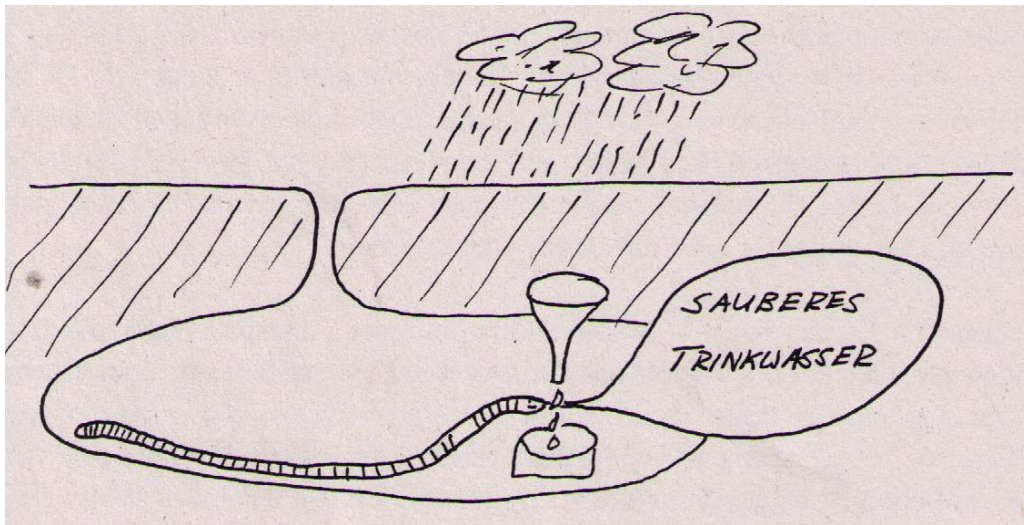
Moder: nimmt eine Zwischenstellung zwischen Mull und Rohhumus ein. Die *Stoffwechselfunktion* ist mässig, der Abbau der organischen Substanz ist gehemmt. Vermoderte Pflanzenteile sind zum Teil noch als solche erkennbar



Mull: günstige *Humus-Form* nährstoffreicher, biologisch aktiver Böden. Anfallende leicht abbaubare Vegetationsrückstände werden rasch zersetzt, humifiziert und von Bodentieren oder durch Bodenbearbeitung mit mineralischen Bestandteilen vermischt - typischen Mull stellen Wurmkothaufen und daraus entstandene *Krümel* dar. Die *Stoffwechselfunktion* ist gut, die organische Substanz wird schnell und vollständig abgebaut und gut mit den mineralischen Bodenbestandteilen durchmischt. Mull wird in Böden mit günstigen Wasser- und Luftverhältnissen und relativ hohen Nährstoffgehalten gebildet, in denen die Streu rasch abgebaut wird. Mull bildet sich bevorzugt unter Steppenvegetation und krautreichen Laubwäldern. Auch bei Wiesen- und Ackerstandorten liegt in der Regel Mull vor.

Der Boden als Klärwerk - Filterfunktion

Ein Filter hat den Zweck Flüssigkeiten oder Gase von Verunreinigungen zu reinigen. Entweder mechanisch, indem die Poren- oder Lochgrösse des Filters so gewählt wird, dass nur der zu reinigende Stoff durch den Filter dringen kann oder aber chemisch, indem unerwünschte Stoffe chemisch an die Oberfläche einer Filtersubstanz (z.B. Aktivkohle) gebunden werden. Filterpapiere und Siebe haben unterschiedliche Porengrössen respektive Lochgrössen, je nach deren Grösse werden mehr oder weniger Teilchen ausgefiltert. Das 5. Experiment ist kombiniert, es kann aber auch nur als Filterversuch durchgeführt werden.



Je nach Boden liefert der Filterversuch unterschiedliche Resultate. Dabei müssen wir zwischen Filter-Wirkung und Filter-Leistung unterscheiden. Je besser die Filter-Wirkung desto mehr Stoffe werden ausgefiltert. Die Filter-Leistung gibt die Lösungsmenge an, die pro Zeiteinheit gereinigt werden kann.

Wenn wir heisses Wasser in einen Filter geben, der mit grob gemahlenem Kaffee gefüllt ist, fließt das Wasser zwar schnell durch, der Kaffee wird aber schwach. Bei zu feinem Kaffeepulver erhalten wir dagegen einen starken Kaffee, müssen aber lange warten, weil das Wasser kaum durchfließen kann. Um in möglichst kurzer Zeit einen guten Kaffee zu erhalten, darf der Kaffee deshalb nicht zu fein aber auch nicht zu grob gemahlen sein. Genauso verhält es sich mit dem Boden. Ein Boden ist dann ein guter Filter, wenn er in möglichst kurzer Zeit eine grosse Menge Wasser von Fremdstoffen reinigen kann.

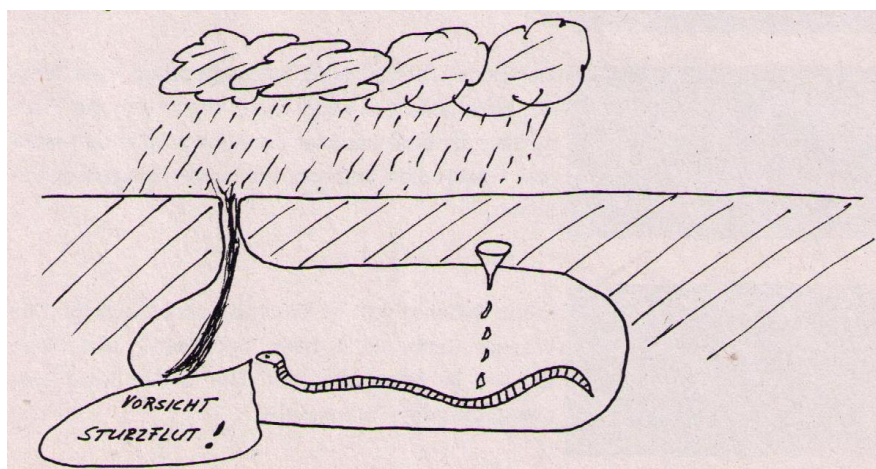
Luftschadstoffe werden mit den Niederschlägen aus der Atmosphäre ausgewaschen und gelangen auf den Boden. Regen und Schnee sind also stets mehr oder weniger verschmutzt. Bei intakten Böden entsteht aus dem verunreinigten Sickerwasser gewöhnlich sauberes, als Trinkwasser geeignetes Quell- und Grundwasser. Die ausgefilterten Stoffe bleiben im Boden. Abbaubare Stoffe wie z.B. *Fäkalien* werden durch Bodentiere und *Mikroorganismen* weiterverarbeitet und umgebaut (siehe Kap. Der Boden als Recyclingunternehmen). Manche

Giftstoffe, wie beispielsweise ehemals Blei aus Autoabgasen, können jedoch nicht abgebaut werden, sie bleiben im Boden und vergiften diesen langsam.

Wie unterschiedlich die Filter-Leistung der Böden im sein kann, zeigt der Sickerversuch unter Laborbedingungen (5. Experiment) aber noch deutlicher das 6. Experiment im Freiland.

Je nach Bodenzustand und Bodentyp versickert das Wasser schneller oder langsamer (siehe auch 10. Experiment). Lockerer Boden (Gartenerde) und grobkörniger Boden (Sandboden) lassen das Wasser schnell versickern. Ebenso wird auf einer Fläche, die stark durchwurzelt ist, das Wasser eher versickern, als auf einer unbewachsenen Fläche. Auf Naturwiese versickert das Wasser allgemein schneller, als auf dem daneben liegenden Acker. Wird die Probestelle mit den Füßen verfestigt oder der Versuch auf einer Traktorspur ausgeführt, stellen wir fest, dass an diesen Stellen die Versickerung gehemmt ist. Aber auch innerhalb einer vermeintlich einheitlichen Fläche sind die Resultate recht unterschiedlich. Sind an der Probestelle grobe Poren oder gar Regenwurmröhren vorhanden, versickert das Wasser schneller. Eine ähnliche Wirkung können wir simulieren, wenn wir den im Boden eingerammten Zylinder hin und her bewegen, so dass am Zylinderrand Spalten entstehen und das eingefüllte Wasser entlang dieser Spalten sehr schnell abfließen kann. Dabei spielt auch die Ausgangsfeuchtigkeit des Bodens zu Beginn des Experimentes eine Rolle. Ist der Boden feucht, kann das Wasser gleichmässig fließen, die Wasserleitfähigkeit ist gut. Befindet sich aber Luft in den Poren, ist die Wasserleitfähigkeit, wie bei einem Schlauch der Luftblasen enthält, beeinträchtigt und das Wasser versickert langsamer.

Spalten können auch bei *tonreichen* Böden entstehen. Rasches, weitgehendes Austrocknen und häufige Wechsel von Austrocknung und Wiederbefeuchtung verursachen Schrumpfung und Quellung, diese sind umso grösser, je höher der Anteil *Ton* ist. Es entstehen in trockenen Böden Schwundrisse, durch welche das Wasser sehr schnell versickern kann. Es kommt zu einer Schnellentleerung und der Boden hat nicht genügend Zeit, um genügend Wasser zu speichern.



Die Beurteilung der Filterfunktion im Boden/profil

Hoher *Humus*gehalt, feinkörniger Boden und eine grosse *Mächtigkeit* erhöhen die Filter-Wirkung. Die Filter-Leistung ist hoch bei gut durchlässigen Böden (Sandböden, kieshaltige

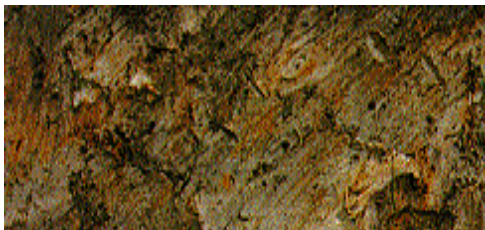
Böden) und lockeren Böden mit zahlreichen *Grobporen* (Gartenböden, *humusreiche Böden*). Schwer durchlässige, *verdichtete* Böden (zusammengepresste und feinkörnige Böden) vermindern die Filter-Leistung.

Um organische Substanz abzubauen, benötigen die Mikroorganismen Sauerstoff. Sind die Poren mit Wasser gefüllt, ist nicht mehr genügend freier Sauerstoff aus der Bodenluft vorhanden; es herrscht Sauerstoffmangel. Dieser Mangel wird gedeckt, indem die Mikroorganismen Sauerstoff aus organischen und anorganischen Verbindungen aufnehmen, unter anderem auch von Eisen- und Mangan-Verbindungen. Diese Verbindungen (Oxide) geben einen Teil ihres Sauerstoffs ab, um den Sauerstoffmangel etwas abzumildern - sie werden reduziert. Dadurch werden die unlöslichen Metalloxidverbindungen löslich und können mit dem Bodenwasser transportiert werden. Gelangen diese Metallverbindungen an Stellen, die genügend freien Sauerstoff aus der Bodenluft aufweisen, nehmen sie wieder Sauerstoff auf, das heißt, sie oxidieren und werden dadurch wieder fest. Die festen Eisenverbindungen sind rostig, die festen Manganverbindungen sind schwarz; es entstehen braun-rote Rostflecken und schwarze *Mangankonkretionen*.

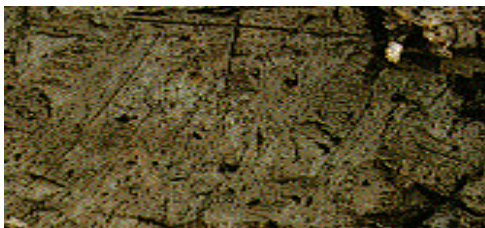
Ist der Boden dauernd wassergesättigt kommen diese Metallverbindungen, da sie ein Teil ihres Sauerstoffes abgegeben haben, überwiegend in ihrer löslichen beziehungsweise reduzierten Form vor. In dieser Form weisen sie eine andere Farbe auf und färben den Boden grau-blau-grün. Der Sauerstoff ist durch dauernde Wassersättigung aufgebraucht; es bilden sich Faulgase, wie Methan und Schwefelwasserstoff; der Boden riecht schwefelhaft nach faulen Eiern.



Der Boden ist gut durchlüftet, das Wasser kann gut versickern, die Filterfunktion ist intakt. Der Boden ist rostbraun gefärbt.



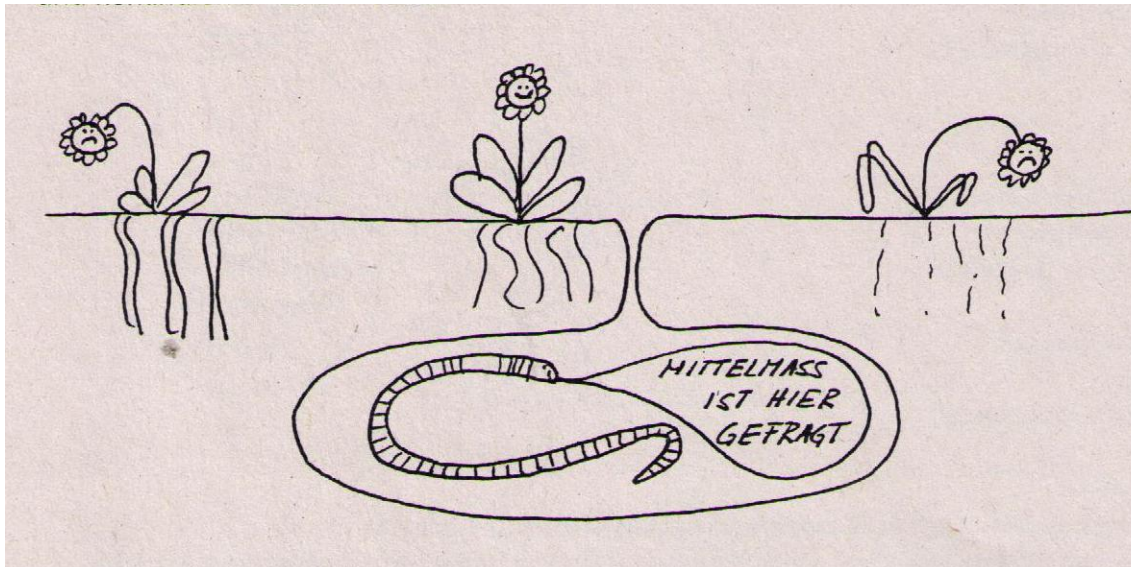
Der Boden ist zeitweise wassergesättigt, das Wasser kann zeitweise kaum mehr versickern, die Filterfunktion ist beeinträchtigt. Dadurch entstehen braun-rote Rostflecken und/oder schwarze *Mangankonkretionen*.



Diese Bodenschicht ist dauernd wassergesättigt. Das Wasser kann kaum mehr versickern. Die Filterfunktion ist stark gehemmt. Der Boden weist eine blau-grau-grün- Färbung auf.

Der Boden als Schwamm - Speicherfunktion

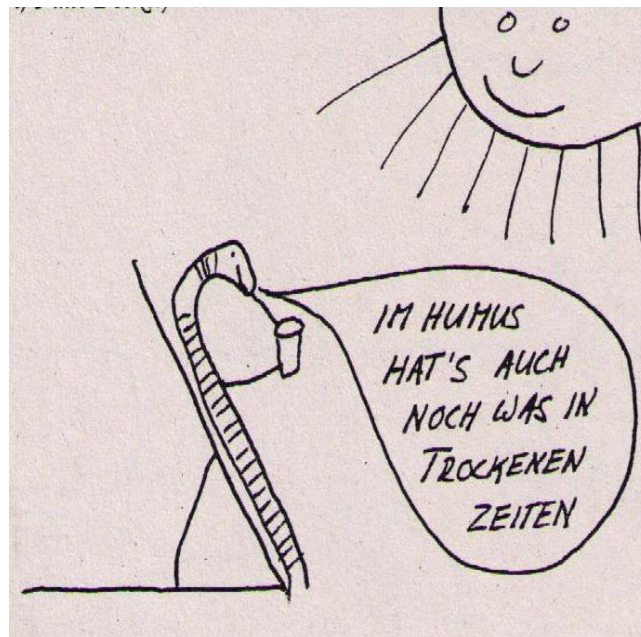
Ein Schwamm kann im Verhältnis zu seinem Gewicht und Volumen sehr viel Flüssigkeit aufnehmen und dieses entweder schnell abgeben, indem er ausgepresst wird oder langsam und kontinuierlich austrocknet.



Wie ein Schwamm besteht ein Boden zu grossen Teilen aus Hohlräumen. Nicht verdichtete Böden bestehen zu mehr als der Hälfte aus Hohlräumen, die Poren genannt werden. Diese Poren füllen sich bei Regen mit Wasser. Kann das Wasser versickern, entleeren sich die grossen Poren (*Grobporen*) sobald es nicht mehr regnet und das Wasser steht den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung. Unterschreiten die Poren einen Durchmesser von 10 Tausendstel-Millimeter, fließt das Wasser nicht mehr durch die Poren, sondern wird darin festgehalten (Kapillarkräfte). Je geringer der Durchmesser der Poren oder Kapillaren ist, desto stärker wird das Wasser festgehalten. Für Pflanzen ist nur festgehaltenes Wasser aus den mittelgroben Poren (*Mittelporen*) verfügbar. Sind die Poren allerdings noch kleiner (*Feinporen*), sind die Pflanzen nicht mehr in der Lage, das Wasser aufzunehmen, da dieses mit zu grosser Kapillarkraft festgehalten wird. Daraus ist ersichtlich, dass das Speichervermögen eines Bodens stark von dessen Porenbeschaffenheit abhängt. Je mehr Poren, desto grösser wird die *Oberfläche*; desto grösser das Speichervermögen. Da die Pflanze nur zu einem Teil (*Mittelporen*) des gesamten Speichers Zugang hat, ist das Verhältnis von *Fein-, Mittel- und Grobporen* entscheidend für die Qualität und Quantität der Speicherfunktion.

Wasser, Nähr- aber auch *Schadstoffe* werden im Boden in unterschiedlicher Form und Menge gespeichert. Ein Boden mit einem guten Speichervermögen zeichnet sich dadurch aus, dass er viel Wasser und Nährstoffe aufnehmen kann, diese aber kontinuierlich der Pflanze zur Verfügung stellt. Bei einer zu starken Bindung an die Bodenteilchen werden die Nährstoffe nicht mehr freigesetzt, und die Pflanze kann nicht von diesen zehren. Ungehemmt werden bei einer zu schwachen Bindung die Nährstoffe ausgewaschen.

Die Messung der Mengen des gespeicherten Wassers (siehe 5. Experiment: Speicher-
versuch) ergibt bei jedem Boden andere Werte. Wir können noch so viele verschiedene oder
sogar gleiche Böden testen und werden höchst selten die genau gleichen Resultate erhalten.
Wir stellen aber fest, dass Gartenerde, Naturwiese und Waldboden am wenigsten
Restwasser abgeben. Es sind dies Böden mit hohen *Humus*gehalten. Daraus geht hervor,
dass der *Humus*gehalt ein wichtiger Faktor für das Speichervermögen eines Bodens
darstellt. Das Speichervolumen wird auch durch die Grösse der Bodenteilchen (*Körnung*)
und deren Aufbau (Gefüge) beeinflusst. Je feinkörniger der Boden, desto grösser die
Oberfläche, desto grösser das Speichervolumen. Ein gutes Gefüge lässt das Wasser
gleichmässig versickern, alle Regionen des Bodens werden mit Wasser versorgt, das
Speichervermögen ist gross. Bei einem gestörten Gefüge gibt es Stauungen und
Schnellstrassen, das Wasser wird im Boden schlecht verteilt und kann dementsprechend
schlecht gespeichert werden. Kann das Wasser nicht versickern (siehe 10. Experiment),
muss es oberflächlich abfliessen und schwemmt fruchtbare Erde mit (*Erosion*). Je mehr
Wasser oberflächlich abfließt und je geringer der Pflanzenbewuchs ist, desto grösser ist die
Gefahr der *Erosion*.

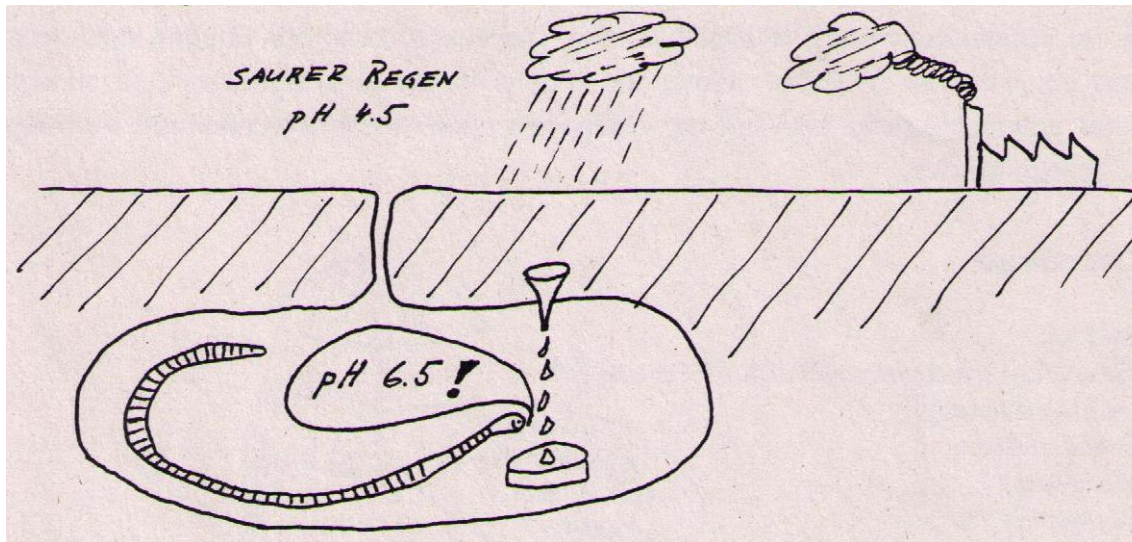


Die Beurteilung der Speicherfunktion im Boden/profil

Ein hoher *Humus*gehalt, gute Durchwurzelung, stabiles Gefüge, grosse *Mächtigkeit* und ein feinkörniger Boden sind die besten Voraussetzungen für ein grosses Speichervermögen. Beeinträchtigt wird dieses, wenn der Boden zeitweise oder dauernd wassergesättigt, allzu feinkörnig oder *verdichtet* ist. Neue Nährstoffe können in den bereits wassergesättigten oder *verdichteten* Boden kaum eindringen, allzu feinkörnige Böden binden die Nährstoffe so stark, dass diese kaum mehr verfügbar sind.

Der Boden als Puffer - Pufferfunktion

Ein Puffer fängt abrupte Veränderungen auf, dämpft diese, fängt sie vollständig auf, oder gibt sie langsam und gleichmässig weiter. Dabei können sowohl mechanische Veränderungen wie Schläge als auch chemische Veränderungen gepuffert werden.



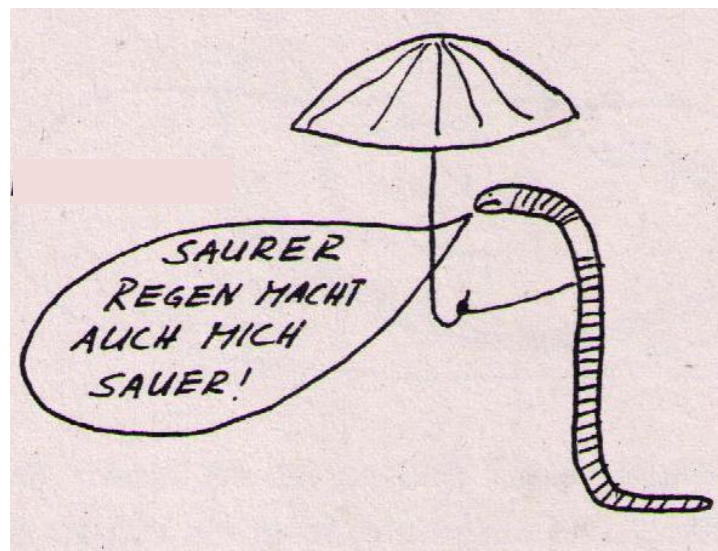
Die Pufferwirkung eines Bodens ist mit einem Stossdämpfer vergleichbar. Wie dieser Schläge auffängt und ausgleicht, fängt ein intakter Boden z.B. Säureschübe durch sauren Niederschlag, aber auch Nährstoff- und Schadstoffeinträge, beispielsweise durch Düngung, auf und gleicht diese bis zu einem gewissen Masse aus. Je mehr ein Stossdämpfer beansprucht wird, desto eher nimmt seine Wirkung ab; auch ein Boden kann nicht unbeschränkt die gleiche Pufferwirkung erzielen. Wie gut ein Stossdämpfer Schläge auszugleichen vermag, hängt stark mit dessen Bauweise zusammen; genauso hängt die Pufferwirkung des Bodens von der Zusammensetzung und vom Aufbau des Bodens ab.

Wasser, Säure, Nähr- und Schadstoffe gelangen meist in unregelmässigen Schüben über Luft und Niederschläge sowie die Ausbringung von Dünger und Pflanzenschutzmitteln in den Boden und werden dort dank der Pufferwirkung des Bodens gedämpft und zum grossen Teil neutralisiert. Die Pufferfähigkeit eines Bodens ist von seiner aktiven *Oberfläche* abhängig. Diese wiederum hängt stark von der Zusammensetzung und des Säuregrad des Bodens ab. Das Mass des Säuregrades ist der pH-Wert [Essig ist sauer und hat einen pH-Wert unterhalb von 7, Seifenwasser (Lauge) ist basisch oder alkalisch und hat einen pH-Wert deutlich über 7. Destilliertes Wasser sollte neutral sein und einen pH-Wert von 7 aufweisen]. Die *Oberfläche* ist je nach Bodenbestandteilen sehr unterschiedlich; Sand weist eine *Oberfläche* von 0.1 m² pro Gramm auf, Humus hingegen kann pro Gramm eine *Oberfläche* von 800 bis 1'000 m² aufweisen. Je tiefer der pH-Wert des Bodens, desto mehr wird die *Oberfläche* von Wasserstoffteilchen besetzt, desto kleiner wird die aktive Austauschfläche für andere Stoffe. Im Folgenden wird genauer auf die Säurepufferung eingegangen.

Pflanzen, Tiere und *Mikroorganismen* sind auf einigermaßen stabile pH-Verhältnisse angewiesen, das wiederum hängt stark von der Pufferkapazität eines Bodens ab. Da den Böden

im Laufe der Zeit mehr Säure beispielsweise durch sauren Niederschlag (pH-Wert des Regenwassers: früher ca. 4.5, heute ca. 5.4) und durch Düngung zugeführt wird, als von ihnen neutralisiert werden kann, nimmt ihr Säuregehalt ständig zu; es kommt zu einer Bodenversauerung. Viele Nahrungspflanzen könnten auf diesen Böden nicht mehr optimal gedeihen. Dank der chemischen Pufferkapazität der Böden kann diese Versauerung aufgefangen und der Prozess der Versauerung stark verzögert werden. Die Versauerung des Bodens läuft umso langsamer ab, je besser die Pufferwirkung des Bodens ist. Mit dem 7. Experiment kann sowohl der unterschiedliche pH-Wert der Böden als auch ihre unterschiedliche Pufferwirkung aufgezeigt werden.

Wir stellen fest, dass Böden mit hohen pH-Werten gute Säurepuffer sind. Daraus geht hervor, dass der Ausgangs-Säuregrad ein wichtiger Faktor für das Säurepuffervermögen eines Bodens darstellt. Das Puffervermögen wird aber auch durch den *Humus*- und Tongehalt beeinflusst. Im Sand kommen *Humus* und *Ton* nur in geringen Mengen vor, die aktive *Oberfläche* ist dementsprechend klein, die Säurepufferung ist bei ähnlichen pH-Werten deshalb geringer als bei humus- und tonreicheren Böden.

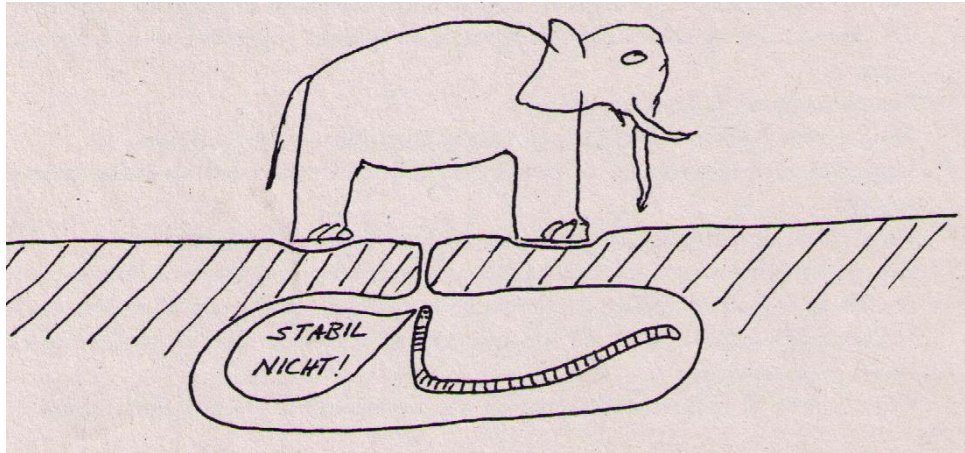


Die Beurteilung der Pufferfunktion im Boden/profil

Die Säurepufferfähigkeit eines Bodens steigt mit zunehmendem pH-Wert. Ein weiterer entscheidender Faktor ist der *Humus*- und Tongehalt der Böden. Bei gleichem pH-Wert puffern *humus*- und tonreiche Böden in der Regel besser als *humus*- und tonarme. Einen entscheidenden Einfluss bei der Säurepufferung hat der Kalkgehalt des Bodens. Solange Kalk überall im Boden vorhanden ist, sinkt der pH nicht unter pH 7 ab, da der Kalk die Säure neutralisiert. Der pH-Wert bleibt hoch und somit auch die Säurepufferkapazität des Bodens.

Der Boden als Gerüst - Stabilitätsfunktion

Ein Gerüst stützt und stabilisiert einen Gegenstand, der ohne Stütze seine Form nicht aufrechterhalten kann. Ein Gerüst kann sowohl von innen stabilisieren, wie beispielsweise das Skelett bei Mensch und Wirbeltier oder das Eisengitter im Beton. Ein Gerüst kann auch von aussen stützen wie beispielsweise der Chitinpanzer bei Insekten.



In Böden gibt es oft sowohl grobe (Steine) wie auch feine Gerüstbauteile (Feinerde). Dazu gehören *Sand* (\varnothing 2-0.05 mm), *Schluff* (\varnothing 0.05-0.002 mm) und *Ton* (\varnothing <0.002 mm). Im 8. Experiment wird deutlich, wie sich Bodeneigenschaften durch verschiedene Korngrößen-Anteile verändern.

Sand ist trocken rieselfähig und kann feucht geformt werden, er ist im Gegensatz zu Ton aber nicht plastisch. Trockener Ton ist hart. Körnungsgemische von Sand und Ton verlieren ihre Plastizität aber auch ihre Rieselfähigkeit und werden krümelig. Nur Körnungsgemische bieten optimale Bedingungen für die Bodenbearbeitbarkeit, Durchwurzelbarkeit und Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser.

Um eine Pappfigur zu bauen, braucht es zusätzlich zum Baustoff Pappe auch Kleister, um die ganze Figur zusammenzuhalten. Im Boden wird dieser Kleister vor allem durch die *organische Substanz (Humus)* und Absonderungen (Schleim) von Bodenorganismen gebildet (Lebendverbauung). Aber auch andere Stoffe tragen zur elastischen Stabilität des Bodens bei. Fehlen diese stabilisierenden Stoffe, wird der Boden instabil und erosionsanfällig. Das 9. Experiment zeigt uns, wie wir die Stabilität eines Bodens testen können.

Scheinbar feste Bodenkrümel zerfallen rasch. Gartenerde und Wiesenoberboden zerfallen relativ langsam. Wurmkothäufchen sind gewöhnlich am stabilsten. Der Regenwurm hat mineralische Bestandteile und abgestorbene Pflanzenteile gefressen, diese haben sich in seinem Magen gemischt und wurden zusätzlich durch Schleimabsonderungen des Regenwurms verkittet.

Boden wird betreten, befahren, bearbeitet und dabei zusammengepresst, auseinandergerissen und gequetscht. Belastungen können von intakten Böden, wenn diese nicht zu stark

durchnässt sind, ertragen werden. Die Böden können ihre ursprüngliche Struktur wieder aufbauen. Dazu ist das Bodengefüge von entscheidender Bedeutung. Den stärksten Einfluss auf die Stabilität des Bodens haben die Bodenlebewesen, die Pflanzen und organisches Material (*Humus*, Vegetationsrückstände) und *Pilze*. Die Bodentiere stabilisieren die Bodenteilchen durch ihre Schleimabsonderungen, welche die Teilchen verkleben. *Pilze* halten Bodenteilchen mit ihren überaus langen *Pilzfäden* zusammen. Eine ähnliche Wirkung haben die Pflanzenwurzeln, vor allem die Feinwurzeln, welche die Bodenteilchen umgeben und sie so zusammenhalten. Vegetationsrückstände und organische Dünger begünstigen das Bodengefüge indem sie die Aktivität der Bodenorganismen fördern. All diese Faktoren halten die Bodenteilchen zusammen, verleihen dem Boden eine elastische Stabilität, welche sich *erosionshemmend* auswirkt.

Geschwächt wird das Bodengefüge, wenn der Boden in zu nassem Zustand befahren oder bearbeitet wird, wenn dem Boden zu wenig Vegetationsrückstände und organische Dünger zugeführt werden und wenn Regentropfen auf den unbedeckten Boden (Acker ohne Pflanzen) prallen und so das Gefüge zerschlagen.

Die Beurteilung der Stabilitätsfunktion im Boden/profil

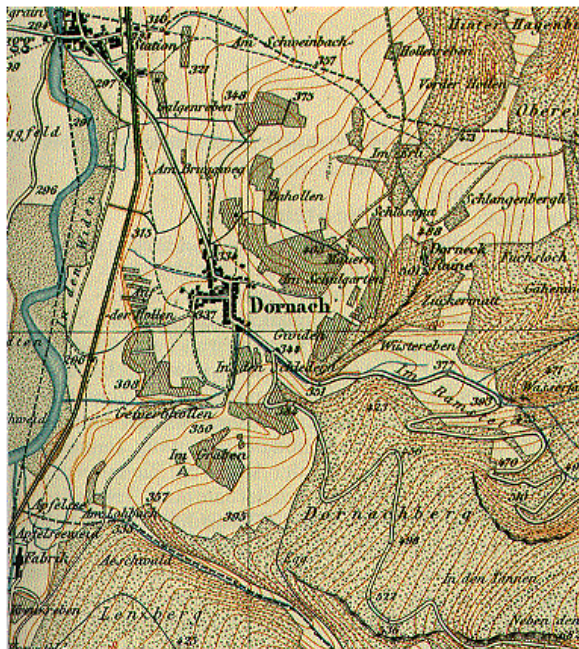
Eine hohe biologische Aktivität, eine starke Durchwurzelung und ein hoher *Humus*gehalt fördern die Stabilität des Bodengefüges. Instabile Böden verschlämmen an der Oberfläche und bilden Krusten, welche die Versickerung von Wasser hemmen, die *Erosion* fördern und ein schlechtes Saatbeet abgeben.

Der Boden als Fundament - Baugrundfunktion

Eine einzige menschenbezogene Funktion der Böden kann alle naturgegebenen Bodenfunktionen zerstören. Dies geschieht, wenn Böden überbaut werden, sei dies mit Häusern, Strassen oder sonstigen Bauwerken. Alle 5 Stunden wird in der Schweiz eine Fläche in der Grösse von 3 Fussballplätzen überbaut - dieser Boden ist unwiederbringlich verloren.

Die beiden Kartenausschnitte zeigen die Gemeinde Dornach im Jahre 1877 und ca. 100 Jahre später 1982. Der Zuwachs an Industrie, Häusern und Strassen ist enorm. Zum Zeitpunkt des neueren Kartenausschnittes betrug die Siedlungsfläche (Industrie, Strassen und sonstige Siedlungsfläche) der Gemeinde Dornach 180 ha, die Gesamtfläche 575 ha. Auswirkungen der zerstörten Filter- und Speicherfunktion durch die Versiegelung zeigt das 10. Rechnungsexperiment.

ca. 1877

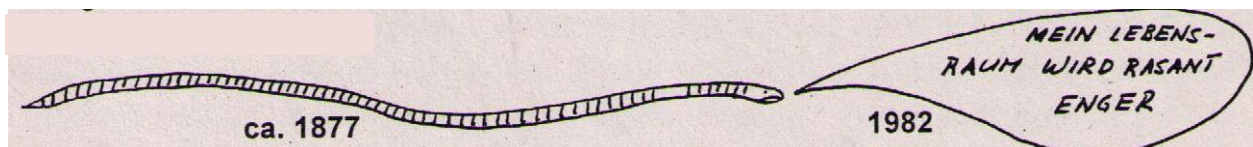


Topographischer Atlas der Schweiz (Siegfried-Atlas) 1:25'000, Blatt Gempfen

1982



Bundesamt für Landestopographie. 1982 Landeskarte der Schweiz 1:25'000, Blatt Arlesheim (1067).



Das anfallende Regenwasser kann wegen der *Bodenversiegelung* nicht versickern und gespeichert werden; es muss oberflächlich abfließen, oder der Kanalisation zugeführt werden. Dabei wird die Gefahr von Bodenerosion und Überschwemmungen stark erhöht, weil das Wasser oberflächlich rasch und mit grosser Kraft abfließt. Zudem wird im Boden weniger Wasser, das in Trockenzeiten die Böden und Flüsse speisen könnte, gespeichert. Die Folge ist eine rasch reagierende und ungleichmässige Wasserführung der Fliessgewässer. Bei starkem Regen fällt sehr viel Wasser an, das sofort den Fliessgewässern zugeführt wird. Kleine unscheinbare Bäche werden zu reissenden Wildbächen. In niederschlagsarmen Zeiten trocknen diese Gewässer aus, weil im Bodenspeicher kein Wasser mehr vorhanden ist, welches die Gewässer speisen könnte.

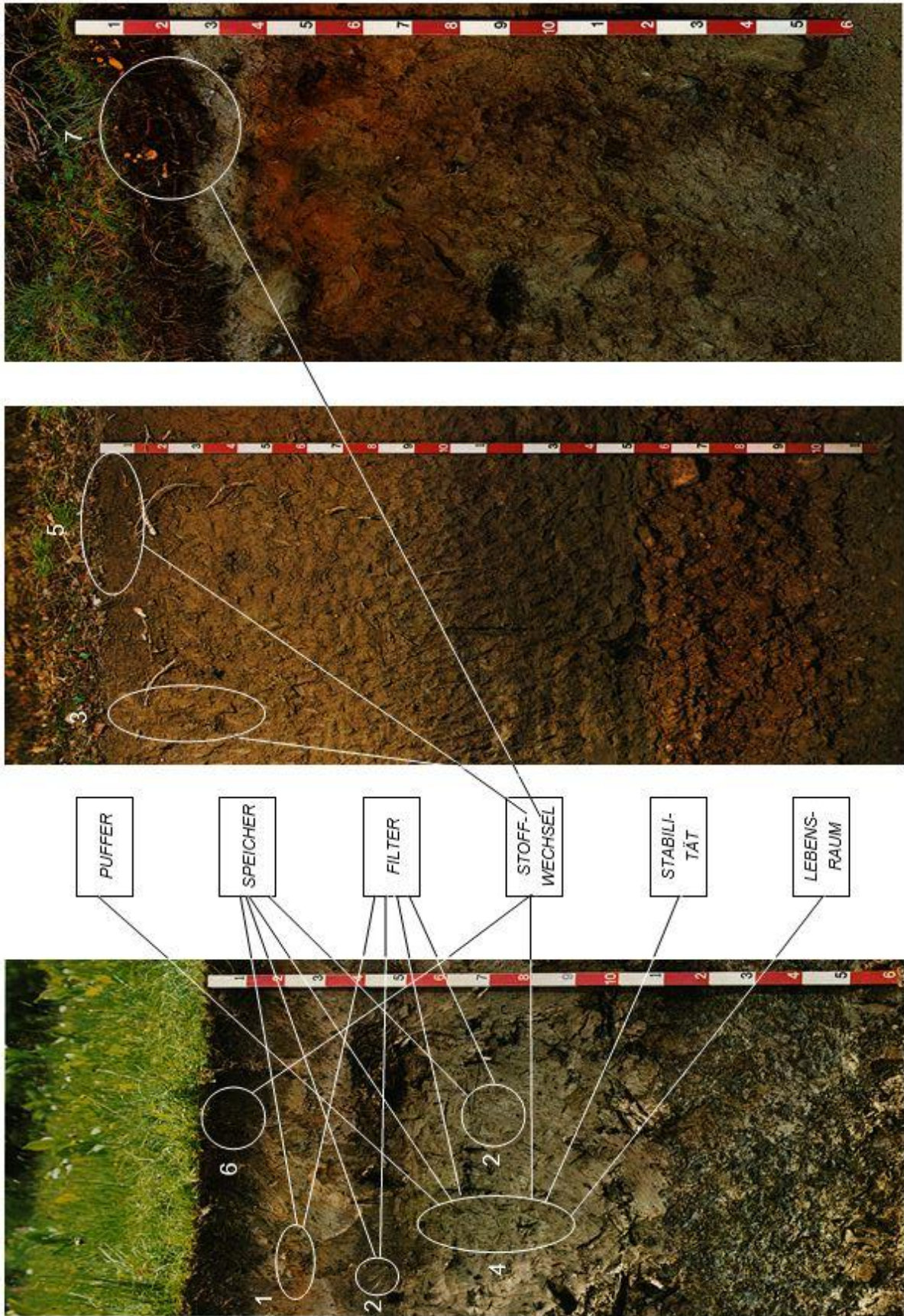
Diese Gefahren können vermindert werden, indem Plätze wie Parkplätze mit Gittersteinen erstellt werden, so dass das Wasser in den Grünflächen zwischen den Steinen versickern kann, Flachdächer begrünt werden, damit das Wasser gut verdunsten kann und das Regenabflusswasser von Siedlungsflächen nicht in die Kanalisation geleitet wird, sondern in den Boden wo es versickern kann. Dabei nimmt aber die Gefahr der Bodenverschmutzung zu, da viel Regenabflusswasser schadstoffbelastet ist. Es muss also ein Kompromiss gefunden werden, der beide Gefahren möglichst gering hält.

Die Beurteilung der Funktionen am Bodenprofil

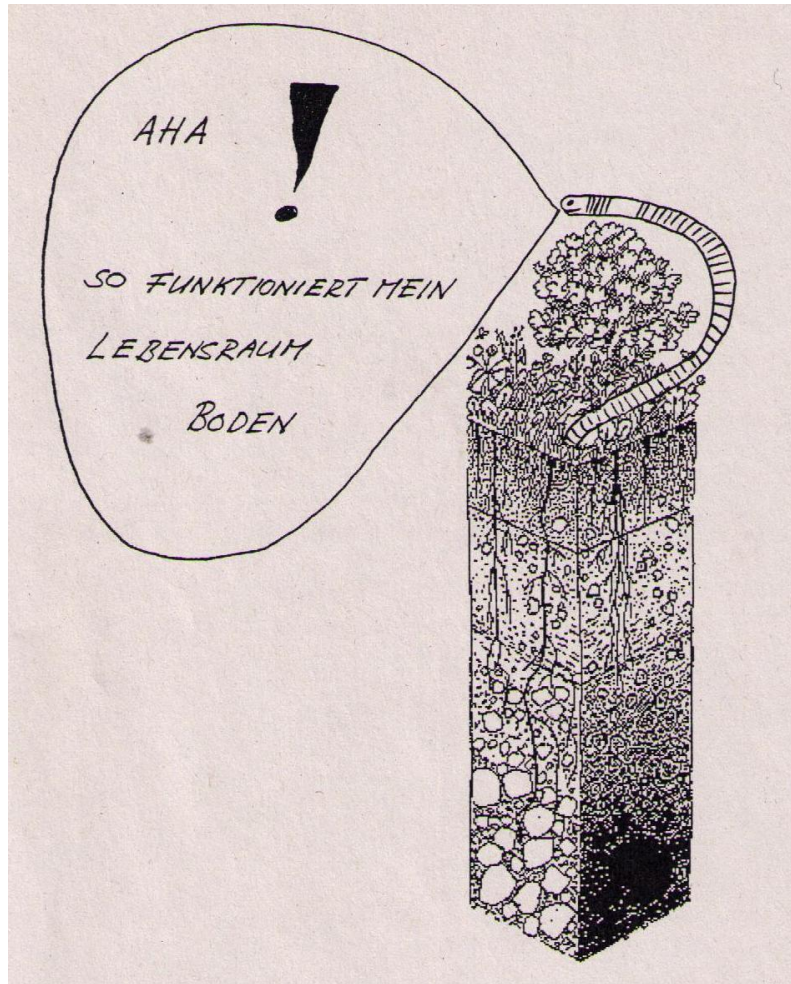
Um die Funktionen eines Bodens beurteilen zu können, genügt es nicht, nur die Oberfläche des Bodens zu betrachten. Der Bodenaufbau und weitere Eigenschaften des Unterbodens sind nur am Bodenprofil erkennbar. Ohne grossen Aufwand können dazu Böschungen (Fluss-, Strassenböschungen usw.), bestehende Gruben oder Wurzelstöcke umgeworfener Bäume benutzt werden. Oft aber - besonders an flachen Standorten und in Mulden - muss der Boden dazu aufgedigelt werden (siehe Anhang 7). Die im Inhaltsverzeichnis unter 11. aufgeführte, einfache Anleitung einer Bodenprofil-Skizze dient neben Fotografien zur Dokumentation von Bodenaufbau und Bodeneigenschaften.

Bodeneigenschaften wie Farbe, Feuchtigkeit, Steingehalt und Dichte, Aufbau und der *Mächtigkeit* verschiedenen Bodenhorizonte, geben Auskunft, wie gut ein Boden die verschiedenen Funktionen zu erfüllen vermag. Bei den nachfolgend abgebildeten Bodenprofilen sind konkrete gut sichtbare Beispiele über Zusammenhänge und Funktionen gegeben:

1. Rostflecken: Die Bodenschicht ist wechselfeucht. Um den lokalen Sauerstoffmangel etwas abzumildern geben die Eisen-Verbindungen (Fe-Oxide) Sauerstoff ab und werden dadurch löslich - gelangen diese Verbindungen an Stellen mit genügend Sauerstoff, oxidieren sie wieder; es entstehen Rostflecken. Die Speicherfunktion ist dadurch teilweise beeinträchtigt.
2. Grau-blau-grün-Färbung: Die Bodenschicht ist dauernd wassergesättigt, es gelangt keine oder nur noch sehr wenig Luft in diese Bodenschicht, das Eisen im Boden wird reduziert, Methan und Schwefelwasserstoff wird gebildet, der Boden riecht dadurch zum Teil faulig. Die Speicherfunktion ist stark eingeschränkt, aber auch die restlichen Funktionen sind beeinträchtigt.
3. Poröse Struktur: Wurzeln und Bodenlebewesen stabilisieren das Gefüge. Der Boden enthält viele Poren und Wurzelgänge, die Stabilität des Bodens ist nicht beeinträchtigt.
4. Verdichtete Schicht: Die Bodenschicht ist durch unsachgemässe Bearbeitung verfestigt oder die Bodenporen sind durch Verschlammung verstopft. Der Boden ist stark *verdichtet*, alle Funktionen sind dadurch stark beeinträchtigt. Verdichtete Schichten können auch natürliche Ursachen haben.
5. Geringe *Streu*auflage: Die Luft- und Nährstoffzufuhr für die *Mikroorganismen* ist ausreichend, die *organische Substanz* kann schnell abgebaut werden. Es ist nur eine geringe *Streu*auflage erkennbar, die bereits stark mit den darunterliegenden Schichten vermischt ist. Die Stoffwechselfunktion funktioniert gut.
6. *Relativ mächtiger* Auflage-*Humus*: Die Luftzufuhr ist durch die zeitweise Wassersättigung (1) vermindert. Die Tätigkeit der *Mikroorganismen* ist dadurch gehemmt. Kalte Temperaturen und saure Bodenverhältnisse können die *Mikroorganismen* zusätzlich hemmen. Der Boden trägt einen relativ mächtigen Auflage-*Humus*, in der die *Streu* teilweise noch nicht ganz abgebaut ist. Die Stoffwechselfunktion ist leicht eingeschränkt.
7. *Mächtiger* Auflage-*Humus*: Der Boden ist sehr sauer, die *Mikroorganismen* sind in ihrer Tätigkeit stark eingeschränkt. Kalte Temperaturen und geringes Nährstoffangebot können den Abbau zusätzlich verzögern. Der Boden besitzt einen mächtigen Auflage-*Humus*, der noch sehr viel unzersetzte oder nur zum Teil abgebaute *organische Substanz* enthält. Die *Humus*schicht ist klar von den mineralischen Schichten des Bodens getrennt, die Durchmischung ist schwach bis inexistent. Die Stoffwechselfunktion ist stark eingeschränkt.



Die Beispiele sollen den Zeigerwert von Bodenmerkmalen für wichtige Funktionen deutlich machen. Dabei gibt oft ein Merkmal Hinweise auf verschiedene Funktionen und umgekehrt dienen mehrere Merkmale zur Beurteilung einer Bodenfunktion. Jedoch sind diese Merkmale oft schwer und vielfach nur von Fachleuten erkennbar. Die dargestellten Beispiele sollen aber aufzeigen, wo und in welcher Form die beschriebenen Merkmale im Bodenprofil auftreten können.



Bodenexperimente und Bodenprofil-Skizze

1. Experiment „Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder“

Zur Beobachtung von Regenwurmaktivitäten im Klassenzimmer, werden oft Regenwurm-Schaukästen oder -Schaugläser empfohlen. Aber brauchbare Schaukästen sind gar nicht so einfach zu bauen (z.B. die Standvorrichtung) und Schaugläser sind oft zu wenig hoch und es fehlt die Abflussmöglichkeit von Überschusswasser. Deshalb wird hier der Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder vorgeschlagen. Zum Vergleich werden gleich zwei Schauzylinder benutzt.



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung: Inbetriebnahme 1 Lektion, dann alle 2-3 Tage je 10 Min. während 2-4 Wochen bis zum Versuchsabbruch und 1 Lektion Schlusserwertung.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 2 möglichst hohe, transparente Kunststoffzylinder (z.B. Vorratsdosen für Spaghetti).
- M: 2 Blumentopfuntersätze zum Auffangen von Überschusswasser.
- M: Eventuell 2 Zentralrohre oder Stäbe (der Zwischenraum zum Einfüllen der Erde sollte mindestens 2 cm breit sein. Dadurch müssen sich die Regenwürmer im Aussenbereich der Zylinder aufhalten und ihre Aktivität wird rascher und besser sichtbar).
- S: Zirka 4-5 Liter Garten- oder Ackererde
- S: Zirka 2 L Sand oder dunkle Blumenerde (Kontrastfarbe zum Boden)
- S: Alufolie zur Verdunkelung der Zylinder
- S: Zerkleinerte weiche Pflanzenteile (Gras oder Laub) als Futter
- S: Gefäss mit Wasser
- S: 3-4 grössere oder 5-6 kleinere Regenwürmer (Fundorte siehe Anhang 2)
- S: Pflanzensamen (z.B. Senf, Raps, Gräser)

So wird es gemacht:

- 1) Falls Zylinder nicht schon vorhanden sind: Im Boden der Kunststoffzylinder feine Löcher bohren, damit das Überschusswasser abfliessen kann, aber die Regenwürmer nicht entweichen können.
- 2) Falls Zentralrohr/-stab vorhanden ist, diesen in die Zylindermitte stellen und darum herum abwechselnd, gleichmässig mächtigere Erd- und dünnere Kontrastschichten einstreuen. Zuoberst eine dünne Kontrastschicht bis maximal 5 cm unter den Zylinderrand.
- 3) Schauzylinder mit Wasser begiessen und über ganze Versuchsperiode stets gut - aber nicht übermässig - durchgehend durchfeuchten.
- 4) In einem der Zylinder Regenwürmer halten und periodisch Futter dazugeben.

- 5) Regenwurmzylinder mit Alufolie umwickeln, in Untersatzgefäß stellen und an einem dunkeln, etwas kühleren Ort stellen (bei 12-20°C, z.B. unten in einen Schrank).
- 6) Der Vergleichszylinder ohne Regenwürmer, wird angesät, um das Wurzelwachstum zu beobachten.
- 7) Regenwurmzylinder während der Versuchszeit periodisch beobachten (Durchmischung und Aufschüttung).
- 8) Am Schluss können die beiden Zylinder mit reichlich Wasser aufgefüllt werden und die Wasserversickerung sowie das Verhalten der Regenwürmer beobachtet werden. Danach werden die Regenwürmer wieder möglichst am Fundort ausgesetzt.

Mögliche Versuchsspannen:

- Der Versuch funktioniert nur zufriedenstellend mit vertikalgrabenden, aktiven Tauwürmern (*Lumbricus terrestris*)
- Die Böden sind zu nass oder zu trocken, so dass die Würmer wenig aktiv sind.

2. Experiment „Bodentiere fangen“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung:

Methode Handauslese: 2 Lektionen

Methode mit Licht austreiben: Inbetriebnahme 20 Min. und nach mindestens 24 Std. 2 Lektionen zur Bestimmung der Bodentiere, Auswertung und Ergebnisbesprechung.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

Methode: Handauslese

- M: 1 Kleine Gartenschaufel (Blumenkelle)
- M: 2 Ansaugflaschen (Exhaustoren)
- M: 3 Pinsel
- M: 5 starke Lupen
- M: 2 Lupenbecher
- S: Frische Streu- und Oberboden-Proben oder Oberboden-Zylinderproben (siehe Anhang 3)
- S: Verschlussbare Probensäcke für die Bodenproben
- S: 1-5 Plastikunterlagen (z.B. aufgeschnittene, gebührenfreie Kehrachtsäcke) zum Ausbreiten der Bodenproben
- S: Plastiklöffel
- S: Feine Holzspiesse oder Stricknadeln
- S: evtl. 1 bis mehrere wärmende, verstellbare Lampen (Bürolampen)
- S: 5 Protokollformulare Bodentiere (Kopien von Anhang 5)

Hinweis: Bodentiere sind oft so klein, dass sie nur in einer Lösung unter dem Binokular oder Mikroskop in Petrischalen oder Uhrgläser gut genug beobachtet und bestimmt werden können.

Methode: Austreiben mit Licht: (für 2 ausgewählte Proben)

- M: 1 Kleine Gartenschaufel (Blumenkelle)
- M: 2 Probenzylinder (mehr Probenzylinder können bei Bedarf mit kleinen, leeren Konservendosen hergestellt werden)
- M: 2 grosse Trichter mit Siebeinsätzen und Auffanggefässen (Berleseapparatur)
- M: Set mit Petrischalen, Uhrgläser Pipetten und Kunststoffunterlagen
- S: 2 wärmende, verstellbare Lampen (Bürolampen)
- S: Haushalt- oder WC-Papier als Füllmaterial für Probenzylinder
- S: 1 L reines Isopropanol aus der Apotheke oder Chemikalienfachhandel
- S: 1 oder mehrere Binokulare oder Mikroskope

Geeignete Zeitperiode und Vergleiche:

Um möglichst viele Bodentiere zu fangen, sollte das Experiment im Frühjahr oder im Herbst bei feuchten, nicht zu kalten Verhältnissen durchgeführt werden, da sich dann am meisten Bodentiere in der Streu und den obersten Bodenschichten aufhalten.

Sinnvoll sind Vergleiche verschiedener Standort-Oberböden (< 5 cm) oder verschiedener Bodentiefen (0-2 cm und 6-8 cm) am selben Standort.

Wo ich die benötigten Böden finde: (siehe Anhang 2)

- Laubwald (gut abbaubares Laub z.B. Ahorn, Esche, Erle, Pappel)
- Nadelwald (Fichtenforst)
- Ackerboden (langjähriger)
- Naturwiese (Dauerwiese)

So wird es gemacht:

Methode: Handauslese:

- 1) Ca. 1 L Streuschicht mit Oberboden (<5 cm) sorgfältig mit Gartenschaufel in angeschriebene, verschliessbare Probensäcke füllen und möglichst kühl transportieren.
- 2) Proben getrennt auf Plastikfolien (z.B. aufgeschnittene, gebührenfreie Kehrachtsäcke) ausbreiten und evtl. mit Bürolampe beleuchten und erwärmen (Austreiben der Bodentiere).
- 3) Proben mit Löffeln, Spiessen und Lupen nach Bodentieren durchsuchen, mit Ansaugflasche oder Löffel und Pinsel fangen, allenfalls in Lupenbecher geben, bestimmen (Anhang 4) und in Protokollformular (Anhang 5) registrieren.

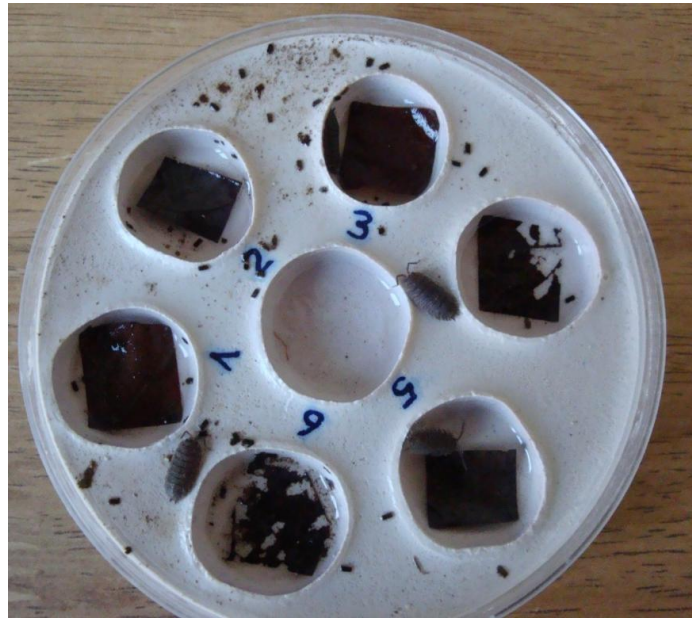
Methode: Austreiben mit Licht:

- 1) Streuschicht entfernen und Probenzylinder 2 cm tief sorgfältig in Oberboden drücken, mit Gartenschaufel darunter fahren und herausheben. Probe mit Füllmaterial in Dose verschliessen, möglichst kühl transportieren und frisch in Berleseapparatur geben.
- 2) Berleseapparatur einrichten: Trichter ohne Siebeinsätzen auf Auffanggefässe stellen, anschreiben und Lichtquellen einrichten. Proben sollen nicht über 35°C erwärmt werden.
- 3) Zylinderproben vorsichtig aus Zylinder auf Siebeinsätze in Trichter geben und erst dann sorgfältig auf Auffanggefässe mit 2-3 cm Isopropanol-Lösung stellen, damit möglichst kein Probenmaterial in die Auffanggefässe fällt.
- 4) Austreibungsdauer unter Licht mindestens 24 Std., bis die Bodenproben vollständig trocken sind.
- 5) Isopropanol-Lösung mit fixierten Bodentieren sorgfältig und vollständig in Petrischale giessen, evt. mit Pipette nachspülen. Zur genaueren Beobachtung allenfalls einzelne Bodentiere mit Pipette in Uhrgläser überführen.
- 6) Bodentiere unter Binokular oder Mikroskop beobachten und mit Bestimmungsschlüssel (Anhang 4) bestimmen und in Protokollformular (Anhang 5) registrieren.

Mögliche Versuchsspannen:

- Proben enthalten wenig Bodentiere, weil es zu kalt, zu feucht oder zu trocken ist, oder die Proben zu tief entnommen wurden.
- Handauslese: Viele Bodentiere sind sehr klein, in der Farbe dem Boden ähnlich, oder durchsichtig und sind nur mit Mühe oder gar nicht mit der Lupe sichtbar.
- Austreiben mit Licht: Die Erwärmungstemperatur ist zu hoch und tötet Bodentiere. Die Erwärmungstemperatur ist zu tief oder die Dauer zu kurz, so dass die Probe nicht vollständig austrocknet und Bodentiere in der Probe bleiben.

3. Experiment „Laubzersetzung durch Asseln“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung:

Evt. Bau von Assel-Terrarium 2-3 Lektionen. Inbetriebnahme ½ Lektion, alle 1 bis 2 Tage 10 Min. Beobachtung und Pflege bis Versuchsabbruch nach ca. 10 Tagen, Schlussbesprechung und aufräumen ½ Lektion.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 2 Assel-Terrarien (mit Gips ausgegossene Petrischalen mit Vertiefungen)
- M: 1 Spritzflasche
- M: 1 Sprühflasche
- M: 1 Löffel und Pinsel oder eine Ansaugflasche zum Fangen der Asseln
- S: 1 Verschlussbares Gefäss mit etwas Laub zum Transport der Asseln
- S: 1 Schere
- S: Wasser für Spritz- und Sprühflaschen.
- S: 8-12 ähnlich grosse Asseln (siehe Anhang 2)
- S: Transportgefäss für Asseln
- S: Verschieden gut abbaubare Laubblätter (gut abbaubar: z.B. Esche, Erle, Pappel, Hasel, Ahorn; schlecht abbaubar: z.B. Eiche, Buche)

So wird es gemacht:

Bau von Assel-Terrarien: Auf Petrischalen-Deckel Negativformen der 7 Vertiefungen aus Plastilin kleben. Bodenteil bis halbe Höhe mit Gips ausgießen. Deckel mit Negativformen vorsichtig aufsetzen und nach Erhärten, vorsichtig hin und her drehen und abheben.

- 1) Gips in Petrischale mit Wasser sättigen und umgekehrt abtropfen lassen.
- 2) Laubblätter mit Schere in Quadrate von ca. 1 cm² schneiden, alternierend in nummerierte Vertiefungen legen und Reihenfolge notieren.
- 3) Zentrale Vertiefung stets mit Wasser gefüllt halten.
- 4) In jedes Terrarium gleichviele, ähnlich grosse Asseln setzen, Deckel aufsetzen und Terrarium mit feuchtem Lappen zudecken und an dunklem, eher kühlen Ort aufbewahren.
- 5) Täglich Wasser in Zentralvertiefung nachfüllen, evtl. besprühen und Beobachtungen (Fressvorlieben) notieren. Terrarien sollen stets feucht aber nie nass sein.

Mögliche Versuchsspanne:

- Asseln haben zu nass oder zu trocken sind wenig aktiv oder sterben.
- Keine Fressvorlieben zu beobachten, weil Laubsorten zu ähnlich sind.

4. Experiment „Zellulose Abbau durch Pilze und Bakterien“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung: Vorbereitung und Inbetriebnahme 1 Lektion nach einem Monat Versuchszeit 1 Lektion zur Auswertung und Ergebnisbesprechung.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 1 Sieb (Maschenweite 2 mm)
- M: 1 Sprühflasche für Wasser
- S: Frische Feinerde-Proben (siehe Anhang 3)
- S: Ca. 10 Petrischalen aus (Kunststoff)
- S: In Petrischalen passende Rondellen aus porösem, festem Papier (Löschblatt- oder Filterpapier)
- S: Doppelt so viele, gleich grosse Rondellen aus synthetischem, weitmaschigen Stoff (Tüll)
- S: 1 Bostitch-Hefter
- S: 1 Suppenlöffel
- S: 1 spitzes Messer oder Pinzette
- S: 3-5 biologisch verschieden aktive Bodenproben

Wo ich die benötigten Böden finde: (siehe Anhang 2)

- Acker (langjähriger)
- Naturwiese (Dauerwiese)
- Laubwald (mit gut abbaubarem Laub z.B. Ahorn, Linde, Esche, Weide, Pappel, Grauerle, Ulme)
Oberboden (<5 cm) und Unterboden (>30 cm)
- Nadelwald (Fichtenforst)
- Sand (Sandkasten)

So wird es gemacht:

- 1) Frische Bodenproben evt. etwas abtrocknen lassen und sieben.
- 2) Papierrondellen zwischen zwei Stoffrondellen heften
- 3) Petrischale mit Löffel je knapp zur Hälfte mit Probenmaterial füllen und mit Sprühflasche gut befeuchten.
- 4) Papierrondelle einlegen, Petrischale mit Boden knapp auffüllen und wieder gut befeuchten.
- 5) Deckel auflegen und anschreiben (Bodenprobe, Datum).
- 6) Während mindestens 4 Wochen bei Zimmertemperatur oder zur Beschleunigung wärmer mit Luftzutritt, im Dunkeln (unter feuchtem Lappen) aufbewahren und alle paar Tage mit Sprühflasche befeuchten.
- 7) Nach Versuchsdauer, Petrischalen-Deckel entfernen, Papierrondellen mit spitzem Messer oder Pinzette vorsichtig freilegen und den Abbau der Papierrondellen in Prozent schätzen (Abbauleistung).

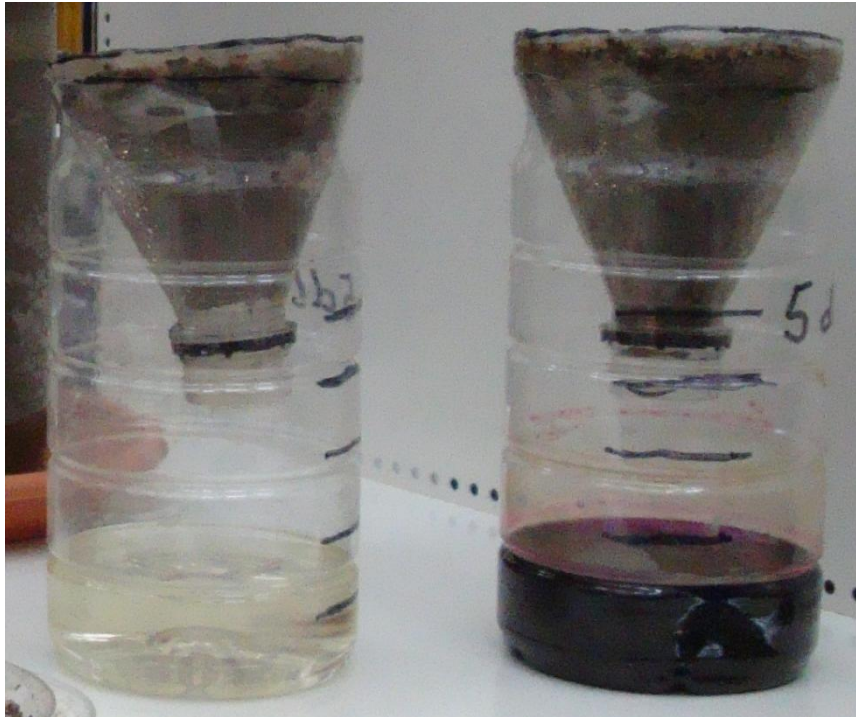
Mögliche Versuchsspanne:

- Durchwegs fehlender oder geringer Abbau wegen zu wenig kontrastreicher Böden, kurzer Versuchsdauer, zu nass oder zu trocken und/oder zu tiefer Temperatur.
- Durchwegs hoher Abbau wegen zu langer Versuchsdauer.

Hinweis: Der Versuch kann anstelle von Petrischalen auch mit Blumentöpfen und von Hand zerriebener Erde durchgeführt werden, dabei ist jedoch der Bodenkontakt der Papierrondellen weniger gut und regelmässig.

Tipp: Testen der Abbauehemmung, indem statt Wasser Umweltgifte wie Essig- oder Salzwasser verwendet werden.

5. Experiment „Sicker-/Speicher-/Filterversuch“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung:

Versuch und Auswertung 1-2 Lektionen, mindestens 1 Nacht stehen lassen und noch 1 Lektion (total 2-3 Lektionen).

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 2 Trichtergefäße
- M: ½ L Messgefäß mit ml-Skala.
- S: Trockene oder frische Feinerde-Proben (siehe Anhang 3)
- S: Haushaltspapier oder WC-Papier zum Verstopfen des Trichterausguss
- S: 1 Messstab
- S: (Stopp-)Uhr
- S: ca. 1/2 L stark gefärbte Flüssigkeit (z.B. Frucht- oder Gemüsesaft wie Cassis oder Randen).
- S: Wasser
- S: evt. 2 oder mehr transparente, nicht getönte PET-Flaschen und 1 Japanmesser (wenn die Trichter selber hergestellt werden)

Wo ich geeignete Böden finde: (siehe Anhang 2)

- Reiner (gewaschener) Sand (trocken für Speicherversuch)
- Feinkrümelige, humusreiche Garten- oder Ackererde
- Evt. weitere feinkrümelige Böden (Fichtenwald, Laubwald, Moor)

Hinweis: Filter- und Sickerversuch können auch mit frischen, feuchten Proben durchgeführt werden, der Speicherversuch benötigt jedoch trockene Böden.

So wird es gemacht:

- 1) Allenfalls Trichtergefäße selber herstellen: PET-Flaschen mit Japanmesser so zerschneiden, dass der obere Teil als Trichter in den unteren Teil gesteckt werden kann und Filtergefäße entstehen.
- 2) Trichterausguss mit benetztem Knäuel Haushalt- oder WC-Papier verstopfen und Boden einfüllen.

Sickerversuch:

- 3) Von abgemessener Ausgangsmenge/Giesswasser (½ L) unter Zeitmessung z.B. 1 cm Wasser (Sickerhöhe) auf ebene Bodenoberfläche im Trichter giessen und Zeitpunkt beobachten, bis das Wasser vollständig versickert ist (Versickerzeit/trocken).
- 4) Weiter Wasser in Trichter giessen bis Boden vollständig wassergesättigt/nass ist und Arbeitsschritt (3) wiederholen (Versickerzeit/nass) und gesamte abgemessene Wassermenge aufbrauchen.
- 5) Filtergefässe mindestens 12 Std. an ungestörtem Ort zum Abtropfen stehen lassen.

Speicherversuch:

- 6) Gefilterte Wassermenge im Auffanggefäss messen und gespeicherte Wassermenge berechnen.

Filterversuch:

- 7) Nach dem Ausschütten des Filterwassers im Auffanggefäss, wird der Trichter wieder aufgesetzt und die Bodenoberfläche zu einem kleinen Krater geformt, damit die vorsichtig und schubweise in Trichtermitte gegossene Farbflüssigkeit nicht der Trichterwand entlang fliesst.

Versuchsprotokoll und Auswertung:

Boden:	1/	2/	3/	4/
a) Boden-Einfüllmenge (ml)				
b) Sickerhöhe (mm)				
c) Giesswassermenge (ml)				
d) Sickerzeit/trocken (sec)				
e) Sickerzeit/nass (sec)				
f) Gefiltertes Wasser (ml)				
g) Gespeichertes Wasser (ml)				
h) Filterqualität				

- **Sickerversuch:** Sickerleistung (mm/Min) = b / d bzw. $e * 60 \text{ sec}$ (siehe 6. Experiment)

- **Speicherversuch:** Speichervermögen (%) = $g / a * 100$

- **Filterversuch:** h) Filterqualität: gut: klare Filterlösung; mässig: schwache Färbung; gering: starke Färbung

Mögliche Versuchspannen:

- Der raschere Wasserfluss in bevorzugten Bahnen (z.B. zwischen trockenen Krümeln und entlang der Trichterwand) verfälscht die Ergebnisse.
- Mit Feinmaterial verunreinigter Sand verfälscht die erwarteten Ergebnisse von Sandböden.
- Feinhumusarme und stark sandhaltige Böden verfälschen die erwarteten Ergebnisse.
- Die Filterwirkung nimmt mit der Zeit ab, wenn die Filterkapazität erschöpft ist.

6. Experiment "Sickerversuch im Freiland"



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung:

2 Lektionen im Freien.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 2 Sickerzylinder (aus Kunststoff, Konservendosen sind oft zu wenig stabil)
- M: 1 Hammer und Brett zum Einrammen der Zylinder
- M: 1 Doppelmeter
- S: ca. 1.5 L Wasser (z.B. in PET-Flaschen) pro Zylinder und Standort.
- S: Zeitmessgerät mit Sekundenanzeige (Uhr, Handy, Timer)

Wo ich die benötigten Bodenstandorte finde: (siehe Anhang 2)

Die Böden sollten möglichst wenig Steine und grobe Wurzeln aufweisen:

- Garten- und/oder Ackerboden-Standort
- Wiesenboden-Standort (Dauerwiese)
- Evt. Waldboden-Standort

So wird es gemacht:

- 1) Am ersten Standort beide Zylinder im Abstand von 1- 2 m vorsichtig und gleichmässig ein paar cm tief - vorzugsweise in bereits etwas feuchten Boden - rammen. Bei Widerstand durch Steine, neuen Standort suchen.
- 2) Je ca. 1.5 L Wasser in Zylinder giessen und sicherstellen, dass das Wasser nicht seitlich wegfließt.
- 3) Distanz in mm vom Wasserspiegel bis zur Zylinderkante messen (notieren) und Zeitmessung laufen lassen.
- 4) Nach einer bestimmten Zeit (z.B. 10 Min.), erneut Distanz vom Wasserspiegel bis zur Zylinderkante in mm messen, die Sickerhöhe berechnen und zum Vergleich die Sickerleistung in mm/Min. bzw. L/Min*m². ausdrücken (1 mm Wasserhöhe entspricht 1 L Wasser pro m²).
Berechnung: Sickerleistung (mm/Min. oder L/Min*m²) = Sickerhöhe (mm) / Sickerzeit (sec.) * 60 sec.

Tipps:

- Wird ein Stück lockere Garten-oder Ackererde zertrampelt und darauf zum Vergleich ein Sickerversuch durchgeführt, kann der Verdichtungseffekt nachgewiesen werden.
- Die seitliche Ausbreitung der Versickerungsfront kann in trockenen Böden beobachtet werden, wenn der Boden nach dem Versuch aufgedrückt wird.

Mögliche Versuchsspannen:

- In steinigem Böden lassen sich die Zylinder nicht ohne Schaden einrammen.
- Seitlicher Wasseraustritt wegen ungenügender Zylinderabdichtung bzw. Einrammtiefe.
- Wasser versickert extrem rasch wegen Wurmröhre, Wurzel, Mausloch u.a.
- Die Versickerung kann sich unter dem Zylinder im Boden seitlich ausdehnen und eine zu gute Sickerleistung vortäuschen.

7. Experiment „Säure-Pufferversuch“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung:

Versuch und Auswertung 2-3 Lektionen ohne Probenbeschaffung.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 1 Spritzflasche für demineralisiertes Wasser
- M: Dosierbecher ca. 20-50 ml
- S: Je ca. 1 dl trockene Feinerde-Probenmaterial (siehe Anhang 3)
- S: 1 L demineralisiertes Wasser aus Fachhandel für Autozubehör oder Apotheke
- S: 5 dl Essig (reiner Tafellessig)
- S: Plastikteller oder -schalen für trockene Feinerde-Proben.
- S: Teelöffel zum Schöpfen der Bodenproben
- S: Rührstäbchen (z.B. für Kaffeebecher)
- S: Mind. 10 Plastikbecher (ca. 2 dl)
- S: pH-Indikatorstäbchen (MERK pH-Bereich 2-9) in Apotheke oder Internet bestellen.
- S: Timer oder (Stopp-)Uhr

Wo ich geeignete Böden finde: (siehe Anhang 2)

- Garten- oder Ackererde
- Nadelwaldboden ohne oberste Nadelstreuschicht.
- Sand (z.B. aus Sandkasten)
- Evt. weitere Böden (z.B. Auenwald) oder Unterboden (B-Horizont)

So wird es gemacht:

- 1) pH-Messung in Boden-Wasserlösung: Mit Dosierbecher je 1 Teil Boden und 2 Teile demineralisiertes Wasser in Plastikbecher geben, während ca. 10 Min. wiederholt gut umrühren und mit Indikatorstäbchen pH-Wert messen.
- 2) pH-Messung im Essig: Etwas Essig in sauberen Becher geben und pH-Wert messen.
- 3) pH-Messung in Boden-Essiglösung: Wie (1) mit Essig statt mit Wasser.
- 4) Gemessene pH-Werte in nachstehende Tabelle eintragen und pH-Differenzen berechnen:

pH-Messungen	Böden			
	1)	2)	3)	4)
a) Boden-Wasserlösung				
b) Essig				
c) Boden-Essiglösung				
<i>pH-Differenzen:</i>				
c-b				
a-c				

Die Säurepufferung ist umso grösser je grösser die Differenz (c-b) und je geringer die Differenz (a-c) sind, wobei die Differenz (a-c) pannenanfälliger ist.

Mögliche Versuchsspannen

- Ungenügend kontrastreiche Böden (zu geringe Unterschiede von pH, Humusgehalt und Körnung).
- Verschmutztes Material und/oder Verschleppung (Kontamination).
- Missachtung der Versuchsanleitung bei der Zubereitung der Lösungen und/oder der pH-Messung.

8. Experiment „Sand/Ton-Mischversuch“



Böden sind mehr oder weniger unterschiedliche Körnungsgemische und haben verschiedene Bodeneigenschaften. Der ökologische Einfluss verschiedener Sand- und Tonanteile soll hier untersucht werden.

Zeitbedarf: ½-1 Lektion

Was ich dazu brauche: (S: selber beschaffen)

- S: 1 kg frischer, feuchter Ton und etwa gleiche Menge trockener Sand (reicht für 10 Kinder)
- S: 1 trockenes, hartes Tonstück zum Vergleich
- S: Unterlage (z.B. Plastikteller)
- S: (Spritz-)Flaschen mit Wasser
- S: Lappen oder Haushaltspapier zum Reinigen der Hände

Wo ich geeigneten Sand und Ton finde:

- Möglichst reiner Sand aus Sandkasten, Fluss- oder Seeufer (trocknen lassen)
- Feuchter, frischer Ton aus Tongrube oder Modellerton aus Bastel- oder Farbabteilung.

Vorgehen:

- 1) Je ein feuchtes Tonstück (ca. 100 g und etwa gleiche Menge Sand getrennt auf Unterlage (Teller) geben.
- 2) Eigenschaften (Plastizität, Rieselfähigkeit, Krümfähigkeit) von Ton (feucht/trocken) und Sand einzeln untersuchen (Ton kneten, zu Würstchen rollen und biegen).
- 3) Zunehmend Sand in feuchten Ton kneten in der Mischung immer wieder Eigenschaften und deren Veränderungen beschreiben, allenfalls mit Wasser befeuchten.

Mögliche Versuchsspannen:

- Der Ton ist zu trocken und nicht richtig knetbar.
- Es wird zu wenig Sand in den Tonklumpen geknetet.

9. Experiment „Krümel-Stabilitätsversuch“

Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung: ½ -1 Lektion

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 1 Spritzflasche (mit Wasser)
- S: Bodenkrümel verschiedener Stabilität und Wurmkothäufchen
- S: 6 durchsichtige Plastikbecher
- S: 1 Löffel

Wo finde ich die benötigten Bodenkrümel: (siehe Anhang 2)

- Ackerboden wenn möglich mit instabiler Struktur z.B. langjähriger Maisanbau (Oberboden 0-5 cm und Unterboden ab 30 cm Tiefe)
- Gartenerde
- Wiesenboden (Oberboden 0-5 cm und Unterboden ab 30 cm Tiefe)
- Wurmkothäufchen

Bodenkrümel sorgfältig in gepolsterten, verschliessbaren Gefässen transportieren.

So wird es gemacht:

- 1) Je ein Bodenkrümel und Wurmkothäufchen mit Löffel sorgfältig in Plastikbecher geben.
- 2) Mit Spritzflasche sorgfältig Wasser der Seite entlang in die Becher füllen, ohne die Krümel zu bespritzen.
- 3) Zerfall der verschiedenen Bodenkrümel beobachten.

Mögliche Versuchsspannen:

- Wenn die Krümel extrem trocken sind, können sie beim Wasserkontakt platzen.
- Tonreiche Krümel langjähriger Wiesenböden können sehr stabil sein.

10. Experiment „Wasserabfluss wegen Bodenversiegelung“

Zeitbedarf für das Rechenexperiment: ½ bis 1 Lektion

- 1) Wieviel Wasser fällt bei einem Platzregen von 30 mm innerhalb einer Stunde in der Gemeinde Dornach an, das aufgrund der *versiegelten Fläche* nicht versickern kann, wenn davon ausgegangen wird, dass ca. $\frac{3}{4}$ der Siedlungsfläche von 180 ha *versiegelt* sind?
- 2) Wie manches 50 m Schwimmbecken mit einer Breite von 20 m und einer durchschnittlichen Tiefe von 2.5 m ergibt dies? Bei Dornach hat die Birs einen durchschnittlichen Abfluss von 10'000 Liter pro Sekunde.
- 3) Wie lange dauert es, bis das gesamte zusätzliche Wasser abgeflossen ist, wenn dieses mit der gleichen Abflussmenge (10'000 l/s) in die Birs geleitet wird?
- 4) Und um wie viel steigt der Wasserstand, wenn das Flussbett der Birs 10 m breit ist und die Abflussgeschwindigkeit 5 km/Std (1,39 m/s) beträgt?

Lösungen: Siehe Anhang 6.

11. Anleitung „Bodenprofil-Skizze“



Zeitbedarf ohne Materialbeschaffung: Bodengrube graben 1-2 Lektionen, Bodenprofil-Skizze erstellen 1 Lektion.

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

- M: 1 Klappspaten
- M: 1 kleine Gartenschaufel (Blumenkelle)
- M: 1 Bodenspatel (Unkrautstecher oder Messer mit starrer Klinge)
- M: 1 Doppelmeter
- M: 1 Spritzflasche (mit Wasser)
- M: 1 Sprühflasche (mit Wasser)
- M: 4 Probenschalen
- M: 1 Schutzbrille
- S: evtl. Kalktest mit 10%iger Salzsäure (geeignet sind 5 ml Pipetten-Fläschchen aus der Apotheke zusätzlich in leeres Brausetablette-Röhrchen verpackt. Nach ein paar Wochen wird jedoch der Pipetten-Gummi spröde.)

Wichtig! Salzsäure ist ätzend und darf nicht in die Augen (Schutzbrille aufsetzen) gelangen, auch nicht über die Hände. Bei allfälligem Salzsäurekontakt der Augen, Haut oder Kleider ausgiebig mit Wasser spülen, falls Augen betroffen sind, notfallmässig Augenarzt aufsuchen.

Erläuterung: Je mehr Kalk ein Boden oder Gestein enthält, desto mehr CO₂-Gas wird beim Kontakt mit Salzsäure gebildet, das hörbar und schäumend entweicht.

- S: evtl. pH-Indikatorstäbchen mit demineralisiertem Wasser, kleinen Bechern und Rührstäben (siehe 7. Experiment)
- S: Lappen zum Reinigen der Hände
- S: evtl. Probensäcke mit wasserfestem Filzstift zum anschreiben derselben
- S: Kopien Formulare „Bodenprofil-Skizze“ (Anhang 8)
- S: Schreibzeug mit Unterlage

Wo ich geeignete Boden-Standorte finde: Siehe Anhang 2.

So wird es gemacht:

- 1) Vorhandenes Bodenprofil mit Spaten, Gartenschaukel oder Bodenspatel auffrischen und wenn nötig mit Wassersprühflasche befeuchten, oder neue Bodengrube graben (siehe Anhang 7).
- 2) Bodenhorizonte (Tiefe, Grenzen und Verläufe) festlegen und in Protokollformular Bodenprofil-Skizze (Anhang 8) eintragen. Bodenhorizonte sind schichtweise Veränderungen von Bodeneigenschaften, vorab der Bodenfarbe, aber auch von Streuschicht, Humusaufgaben, Humushorizont, Durchwurzelungstiefe, Verwitterungsunterschiede, Stoffverlagerungen, Kalkgrenze u.a.
- 3) Horizontweise charakteristische Bodeneigenschaften erfassen und durch entsprechende Signaturen in die Horizontskizze eintragen sowie Horizontsymbol festlegen (Anhang 8).
- 4) Hilfreich ist horizontweise - von unten nach oben - Bodenproben in Schalen zu geben, um gewisse Bodeneigenschaften ausserhalb der Bodengrube zu untersuchen.
- 5) Aus jedem Bodenhorizont Bodenkrümel entnehmen, mit Sprühflasche benetzen und mit Fühlprobe Zusammensetzung der Feinerde (*Bodenart*) schätzen und in Skizze eintragen (Anhang 8). Sand: körnig; Schluff: mehlig; Ton: plastisch, schmierig; L Lehm (Korngrössen-Mischung): IS lehmiger Sand; sL sandiger Lehm; tL toniger Lehm; IT lehmiger Ton (siehe 8. Experiment).
- 6) Eventuell in jedem Bodenhorizont mit 10%iger-Salzsäure Kalktest an den Steinen und der Feinerde durchführen, um allfällige Kalkgrenze festzulegen. Dazu wird die Schutzbrille aufgesetzt und etwas Salzsäure auf Bodenkrümel oder Steine getropft: +++ kalkreich (starkes Schäumen); ++ mässiger Kalkgehalt (schwaches Schäumen); + geringer Kalkgehalt (nur schwach hörbar); - kein Kalk (keine Reaktion).
Mit pH-Indikatorstäbchen oder Indikatorlösung können auch grobe pH-Bestimmungen durchgeführt werden: dunkelgrün: pH >7 alkalisch; hellgrün: pH 7 neutral; gelb: pH 6.5-6 schwach sauer; orange: pH 5.5-5 sauer; rot: <4.5 stark sauer.
- 7) Horizontweise Bodenkrümel benetzen und mit einem Finger Horizontskizze entsprechend einfärben (Anhang 8).

Mögliche Probleme:

- Bodenhorizonte sind sehr diffus und schlecht abgrenzbar.
- Auftreten sehr geringmächtiger Bodenhorizonte.

Begriffserläuterungen

<i>Bakterien:</i>	Klasse einzelliger, einfach strukturierter, 0,5 bis 5 Tausendstel-Millimeter (μm) grosser <i>Mikroorganismen</i> . Sie können von einer Schleimschicht umgeben sein. Diese hilft bei der Stabilisierung des <i>Krümel</i> gefüges. In Wurzelnähe kommen die Bakterien stark angehäuft vor. Sie leben von Wurzelausscheidungen und reinigen damit die wurzelnahe Zone.
<i>Bodenart:</i>	Korngrössen-Zusammensetzung der mineralischen Feinerde ($\emptyset < 2 \text{ mm}$) aus Sand ($\emptyset 2-0.05 \text{ mm}$), Schluff ($\emptyset < 0.05-0.002 \text{ mm}$) und Ton ($\emptyset < 0.002 \text{ mm}$).
<i>Erosion:</i>	Verlagerung von Bodenmaterial durch Wasser und Wind. Während die Wassererosion nur bei Gefälle auftritt, zieht die Winderosion hauptsächlich ebene Flächen in Mitleidenschaft. Da die obersten Erdschichten zuerst von der Erosion erfasst werden und diese meist die fruchtbarsten Bereiche der Böden sind, kann die Bodenerosion die Ertragsfähigkeit der Böden erheblich senken. Auf Ackerflächen können durch Erosion auch bei uns jährlich mehrere Tonnen Erde verloren gehen.
<i>Fäkalien:</i>	Als Fäkalien wird der von Menschen und Tieren ausgeschiedene Kot und Harn bezeichnet.
<i>Feinporen:</i>	Bodenporen mit einem Durchmesser kleiner als 0,2 Tausendstel-Millimeter (μm). Sie enthalten nicht-pflanzenverfügbares Wasser und sind nur bei starker Austrocknung des Bodens mit Luft gefüllt.
<i>Grobporen:</i>	Bodenporen mit einem Durchmesser grösser als 10 Tausendstel-Millimeter (μm). Sie leiten das Sickerwasser rasch ab und sind 2 bis 3 Tage nach Niederschlägen wieder mit Luft gefüllt.
<i>Hektare (ha):</i>	Entspricht 10'000 Quadratmeter (m^2), z.B. Fläche von 100 m x 100 m.
<i>Humus:</i>	Die Gesamtheit der <i>organischen Substanzen</i> des Bodens bildet den Humus. Der Humus liegt in den Böden in unterschiedlicher Kombination, Ausbildung und Tiefenverteilung vor und bildet charakteristische Erscheinungsformen: die Humus-Formen. Wichtigste Trocken-Humus-Formen: Mull, Moder und Rohhumus. Ausserdem verschiedene Feucht-Humus-Formen: Feucht-Mull, Feucht-Moder, Feucht-Rohhumus, Anmoor und Torf.
<i>Kohlenhydrate:</i>	Leicht verdauliche Nahrungsbestandteile aus C (Kohlenstoff), H (Wasserstoff) und O (Sauerstoff), wie beispielsweise Zucker und Stärken (Getreidemehl).
<i>Konkretionen:</i>	Örtliche Konzentration bestimmter Stoffe, wie z.B. Kalk, Eisen oder Magnesium, die sich verfestigen (Stecknadelgrösse bis ganze Knollen).
<i>Körnung:</i>	Zusammensetzung der mineralischen Teilchen in einem Boden nach Kornklassen Sand, <i>Schluff</i> , <i>Ton</i> geordnet.
<i>Krümel:</i>	Dreidimensionaler Baustein des Bodens, gebildet aus den von Pilzfäden, Bakterien-schleim usw. zusammenverkitteten Körnern und organischen Teilchen. Das Ausgangsmaterial ist oft Regenwurm-kot.
<i>Mächtigkeit:</i>	Dicke der gewachsenen Bodenschicht (Bodenhorizont) oder des Gesamtbodens, gewöhnlich in cm.

<i>Mikroorganismen:</i>	Mikroorganismen sind mikroskopisch kleine, meist einzellige, zuweilen auch mehrzellige Organismen aus dem Tier- und Pflanzenreich, zu denen die <i>Bakterien</i> , die Blaualgen, die tierischen Einzeller (Protozoen) sowie ein grosser Teil der Algen und <i>Pilze</i> gehören. Sie können nur mit Hilfe eines Mikroskops gesehen werden. Ihr gewichtsmässiger Anteil an den Bodenlebewesen umfasst rund 80 %.
<i>Milliliter:</i>	1'000ml (Milliliter) = 100cl (Zentiliter) = 10dl (Deziliter) = 1L (Liter)
<i>Mittelporen:</i>	Bodenporen mit einem Durchmesser zwischen 0,2 bis 10 Tausendstel-Millimeter (μm). Sie enthalten pflanzenverfügbares Wasser und sind bei Austrocknung des Bodens mit Luft gefüllt.
<i>Nährstoffauswaschung:</i>	Unter dem Einfluss der Niederschläge werden die Nährstoffe mit dem Sickerwasser im Boden nach unten verlagert und zum Teil aus dem Wurzelraum ausgewaschen. Die Menge der ausgewaschenen Nährstoffe ist abhängig von Konzentration, Menge und Dynamik des Sickerwassers.
<i>Nahrungskette:</i>	Reihe von Organismen, die ernährungsbedingt voneinander abhängig sind und dadurch wie die Glieder einer Kette miteinander in Verbindung stehen. Beispiel: Pflanzen nehmen ihre Nährstoffe aus dem Boden auf, werden von pflanzenfressenden Tieren, wie dem Kaninchen gefressen, dieses wiederum wird vom Fuchs gefressen. Stirbt der Fuchs, wird er von aasfressenden Tieren und <i>Mikroorganismen</i> zersetzt und zu Nährstoffen abgebaut, die die Pflanzen zu ihrer Ernährung benötigen: die Kette oder der Kreislauf sind vollständig und geschlossen.
<i>Oberfläche:</i>	Als spezifische Oberfläche der festen Bodensubstanzen (m^2/kg) bezeichnet man die Summe aller Grenzflächen fest-flüssig und fest-gasförmig. <i>Tonminerale</i> und <i>Humus</i> besitzen nicht nur eine äussere sondern auch eine innere Oberfläche, weshalb ihre spezifische Oberfläche sehr gross sein kann. Alle anderen Bodenminerale besitzen lediglich eine äussere Oberfläche.
<i>Ökosystem:</i>	Ein Ökosystem besteht aus einer Lebensgemeinschaft meist artverschiedener Organismen und dem Lebensraum (Biotop) in welchem sich diese Organismen aufhalten.
<i>Organische Substanz:</i>	Zur organischen Substanz der Böden gehören alle in und auf dem Boden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe sowie deren Umwandlungsprodukte. Die lebenden Organismen, sowie Wurzeln gehören nicht zur organischen Substanz der Böden.
<i>Pilze:</i>	Die Pilze bilden eine Abteilung der Pflanzen mit rund 100'000 Arten. „Pilze“, wie wir sie vom Pilzsammeln her kennen, sind nur die Fruchtkörper der Pilzkörper. Ihr grösster Teil befindet sich im Boden, wo sie eigentliche Geflechte von Pilzfäden (Mycele) bilden. Sie bauen vorwiegend Substanzen ab, die für andere Bodenlebewesen schlecht abbaubar sind. Je saurer der Boden ist, umso zahlreicher kommen sie vor und treten an die Stelle der <i>Bakterien</i> . Pro Gramm Boden können weit über 200 m Pilzfäden ermittelt werden. Das Flechtwerk aus Pilzfäden stabilisiert die <i>Bodenkrümel</i> . Die Feinwurzeln von über 90% der Blütenpflanzen leben in <i>Symbiose</i> mit Pilzen (Mykorrhiza).
<i>Schadstoffe:</i>	In der Umwelt vorhandene, für Lebewesen schädlich wirkende Stoffe.

<i>Schluff (auch Silt):</i>	Mineralische Bodenteilchen. Grösse: 0.005 bis 0.0002 mm. Oft durch Ablagerung von Wasser oder Wind entstanden.
<i>Schwermetalle:</i>	Bezeichnung für Metalle mit einer Dichte von mehr als 4,5 g/cm ³ . Einige Schwermetalle wie beispielsweise Zink, Kupfer und Nickel sind in sehr geringen Mengen für Mensch, Tier und Pflanze unentbehrlich. Kommen sie aber in zu hohen Mengen im Boden vor wirken sie giftig. Anderen Schwermetallen wie Blei, Cadmium und Quecksilber kann bis heute keine positive Wirkung zugeschrieben werden, sind aber in hohem Masse gesundheitsgefährdend, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden.
<i>Stoffwechsel:</i>	Die Gesamtheit aller biochemischen Vorgänge im pflanzlichen, tierischen und menschlichen Organismus, die dem Aufbau, dem Umbau und der Erhaltung der Körpersubstanz, zur Aufrechterhaltung der Körperfunktionen und zur Gewinnung chemischer Energie dienen. Kurz: Alle Vorgänge in Lebewesen, die für ihre Existenz notwendig sind.
<i>Strahlenpilze:</i>	Strahlenpilze (Actinomyceten) bilden Übergangsformen zwischen <i>Bakterien</i> und <i>Pilzen</i> . Im Gegensatz zu diesen sind Strahlenpilze widerstandsfähiger gegenüber Trockenheit und Wärme. Sie sind ausgesprochen säureempfindlich und lieben daher neutrale Böden. Strahlenpilze sind fähig, besonders schwer zersetzbare Stoffe abzubauen. Ihre Bedeutung ist vor allem bei der <i>Humusbildung</i> zu sehen, sie verleihen den Böden den charakteristischen frischen Erdgeruch.
<i>Streu:</i>	Gesamte abgestorbene <i>organische Substanz</i> , die äusserlich noch nicht zersetzt ist und auf der Bodenoberfläche liegt.
<i>Symbiose:</i>	Das Zusammenleben zweier Organismen verschiedener Artzugehörigkeit, wobei jeder Partner Nutzen aus dieser Verbindung hat. Beispiel: Symbiose zwischen Wurzeln und Pilzen (Mykorrhiza). Die Pflanze versorgt den Pilz mit <i>Kohlehydraten</i> , der Pilz begünstigt die Wasser- und Mineralstoffaufnahme für die Pflanze.
<i>Ton/Tonmineralien:</i>	Feinste mineralische Plättchen, Grösse: unter 0.0002 mm. Sie entstehen während der Bodenbildung. Schichtartiger Aufbau mit grosser innerer <i>Oberfläche</i> . Tonplättchen quellen bei Befeuchtung auf.
<i>Verdichtung:</i>	Durch mechanische Einwirkung oder auch natürliche Vorgänge gepresste oder verstopfte Bodenstruktur.
<i>Verfügbarkeit:</i>	Menge der Nähr- und/oder <i>Schadstoffe</i> , die die Pflanze oder die Bodenorganismen aus dem Boden aufnehmen können.
<i>Versiegelter Boden:</i>	Überdeckung des natürlichen Bodens mit Teer (Strassen), Beton (Häuser und andere Bauwerke) oder anderen undurchlässigen Materialien, so dass dieser Teil des Bodens kein Wasser mehr aufnehmen kann und keine Pflanzen mehr wachsen können.

Hinweise auf weitere Lehrmittel und Info-Stellen zur Bodenkunde

1) Anleitungen für Bodenexperimente und bodenkundliche Untersuchungen

- Böden be/greifen - Bodenexperimente für die Mittel- und Oberstufe (www.educa.ch; Suchbegriff: Boden)
- Bodenforschung für Kinder - Unterrichtsmodul für den Kindergarten und die Unterstufe (www.educa.ch; Suchbegriff: Boden)
- Das Moor - Extremer Nassstandort im Vergleich: Fächerübergreifendes Unterrichtsmodul mit Exkursion für die Mittel- und Oberstufe (www.educa.ch; Suchbegriff: Moor)

2) Ausgewählte, aktuelle Lehrmittel zur Bodenkunde für den Schulunterricht

Solche sind auf der Website IdeenSet „Erdböden“ der PHBern zusammengestellt und leicht verfügbar unter: www.phbern.ch/ideenset-erdboeden

3) Informationsstellen

- INFORAMA Landwirtschaftliche Bildungs- und Beratungszentren im Kanton Bern.
Adressen und Telefonnummern sind im Internet und bei den kantonalen Verwaltungen erhältlich.
Auskunft über landwirtschaftliche Belange der Bodenkunde.
- Bodenschutzfachstellen der Kantone
Adressen und Telefonnummern sind im Internet und bei den kantonalen Verwaltungen erhältlich.
Auskunft über Bodenbelastungen und Bodenschutzmassnahmen in den Kantonen.

Anhänge

Anhang 1: Zeitplan der Bodenexperimente

Bodenexperimente	Tag																										Zeitbedarf	
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Mo	Di	Mi	Do	Fr	total		
	1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19	22	23	24	25	26	Min.	Lekt.						
Probenahmen	130																									130	3	
Probenvorbereitung	45					45																					90	2
1. Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder	45		10		10	10		10		10		10		10		45											160	4
2. Bodentiere fangen:																												
- Methode von Hand auslesen	90																										90	2
- Methode mit Licht austreiben	20		90																								110	2
3. Laubzersetzung durch Asseln	30		10		10	10		10		30																	100	2
4. Zellulose Abbau durch Pilze und Bakterien	45																								45	90	2	
5. Sicker-/Speicher-/Filterversuch	90	45																									135	3
6. Sickerversuch im Feld	90																										90	2
7. Säure-Pufferversuch	120																										120	3
8. Sand/Ton-Mischversuch	30																										30	1
9. Krümel-Stabilitätsversuch	45																										45	1
10. Wasserabfluss wegen Bodenversiegelung	45																										45	1
11. Bodenprofil-Skizze	45																										45	1
Zeitbedarf total	Min.	695	45	110	0	20	20	0	20	0	40	10	0	10	0	45	0	0	0	0	45	0	0	0	0	45	1060	24
	Lektionen	15	1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	24	

Anhang 2: Fundorte geeigneter Versuchsböden und -tiere

Bodeneigenschaften	Beschreibung	Fundorte
Humus	Mehr oder weniger abgebautes organisches Material in Böden	Oberböden
Streuauflage (O1 Horizont)	Laub-/Nadelschicht	Im Wald unter Laub- und Nadelbäumen (je nach Jahreszeit und Baumart verschieden stark abgebaut)
Rohhumus (O2 Horizont)	wenig zersetzte Streu	Vorwiegend unter Nadelwald (Fichtenforst)
Moder (O3 Horizont)	vermoderte Streu	Unter Rohhumusschicht oder an Nassstandorten (Moore, Auen, Quellgebiete). Als Ersatz auch Kompost/Blumenerde aus dem Fachhandel.
Mull (A Horizont)	organisch-mineralischer Feinhumus	Oberboden von Garten-, Grasland- oder Ackerböden und im Wald unter Moderschicht
Feinerde	Ø <2mm	Böden sieben mit Maschenweite 2mm
Sandige Böden	Ø >0.02-2mm	Flussauen im Ober- und Mittellauf, Fusszone von Sandsteinfelsen
Schluffige Böden	Ø 0.002-0.02mm	Lössregionen (Birrfeld, Möhlin, Sundgau)
Tonige Böden	Ø <0.002mm	Auengebiete im Unterlauf und Seeregionen, Tonsteinregionen (z.B. Opalinuston), Verwitterungslehme im Jura
Lehmböden	Körnungsmischung	Unterböden von Grundmoränen
Bodenstruktur:	Stabilität	
Schwache Struktur	zerfällt leicht	Regionen mit schluffigen und sandigem Böden mit intensivem Ackerbau (Mais betont)
Starke Struktur	zerfällt nicht leicht	Regionen mit tonigen Böden und Lehmböden unter Grasland
Boden pH	Bodenreaktion	
alkalisch/basisch	pH >7.2, Kalktest mit 10%-Salzsäure positiv (schäumt)	Flachgründige Böden oder Unterböden über Kalk- und Mischgesteinen (Molassesandstein, Moränen, Auen)
neutral	pH 6.8-7.2	Viele Ackerböden
sauer	pH <6.8	Oberböden unter Nadelwald und Böden in höheren Lagen (ab ca. 800 m ü.M.)
Organische Böden	>15% Humusgehalt	Siehe Rohhumus und Moder
Vernässte Böden	Graue und rostrot/grau-gefleckte Böden mit gehemmtem Humusabbau	In Regionen mit stagnierendem Stau- oder Grundwasser (Auen, Talsenken und Talrinnen, Quellgebiete)
Unterböden (B-Horizont)	Meist braun-rostrot gefärbt und noch durchwurzelt	Einfacher als Bodenprofil-Gruben graben, sind relativ frische Böschungen und Gruben (z.B. Wege, Flüsse, Baugruben)
Untergrund (C-Horizont)	Gesteinsfarbe dominiert (oft gräulich) nicht mehr durchwurzelt.	Wie Unterböden oder in Kies-, Sand-, Tongruben, Hangrutsche (überall wo der Untergrund aufgeschlossen ist.

Regenwürmer:

- 1) Eigentliche, tiefgrabende, mässig pigmentierte, agile Regenwürmer mit dauerhaften Wurmröhren (Tauwurm, *Lumbricus terrestris*): Umgraben von Graslandböden mit Wurmkothaufen oder frisch gepflügte Ackerböden durchsuchen. Nachts mit Taschenlampe auf Rasenböden nach Regenwürmern suchen. An schattiger, feuchter Stelle (unter Büschen) über Laub und Pflanzenresten Unterlage (Sack, Brett, dunkler Plastik) ein paar Tage lang auf den Boden legen, darunter werden Regenwürmer, Asseln und andere Bodentiere angezogen.
- 2) Flachgrabende, schwach pigmentierte Regenwürmer ohne dauerhafte Wurmröhren: Unter ausgelegter Unterlage.
- 3) Stark pigmentierte Kompostwürmer: Kompost umgraben.

Asseln:

An feuchten, dunklen Standorten mit vermoderndem Holz (unter Büschen, alte Bauernhäuser und Keller) sowie nach ein paar Wochen unter am Schatten ausgelegter, undurchsichtiger Unterlage.

Anhang 3: Entnahme von Bodenproben und Probenvorbereitung

Für 9 der 10 Bodenexperimente werden folgende Probenarten und ungefähre Bodenmengen benötigt:

Bodenexperimente	Probenarten	Probenmengen
1. Regenwurm/Wurzel-Schauzylinder	Frische Rohboden-Proben	Je 2 L
2. Bodentiere fangen: - Methode von Hand auslesen - Methode mit Licht austreiben	Frische Streu- und Oberboden-Proben	Je 1 L
	Frische Oberboden-Zylinderproben	Je 1 Zylinderprobe
3. Laubzersetzung durch Asseln	Laubproben	Einige Blätter
4. Zellulose Abbau durch Pilze und Bakterien	Frische Feinerde-Proben	Je 2 dl
5. Sicker-/Speicher-/Filterversuch	Der Speicherversuch benötigt trockene Feinerde-Proben, sonst genügen frische Feinerde-Proben	Je ½ L
6. Sickerversuch im Feld	Böden mit wenig Steinen und Wurzeln	Feldversuch
7. Säure-Pufferversuch	Trockene Feinerde- Proben	Je 1 dl
8. Sand/Ton-Mischversuch	Trockener Sand und feuchten Ton	Je 100 g (1 dl)
9. Krümel-Stabilitätsversuch	Feuchte oder trockene Proben	Ein paar Krümel und Wurmkothaufen

Probenahmen

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

M: 1 Kleine Gartenschaufel (Blumenkelle)

M: 1 Klappspaten

M: 1 Bodenspatel (Unkrautstecher oder Messer mit starrer Klinge)

M: 1 Doppelmeter

M: Probenschalen

S: verschliessbare Plastiksäcke

S: Wasserfester Filzstift zum Anschreiben der Probensäcke

So wird es gemacht:

- Streuproben: An ausgewähltem Standort Streuschicht mit Gartenschaufel vollständig in angeschriebenen Probensack füllen und verschliessen.
- Oberbodenproben: An ausgewähltem Standort Streuschicht vollständig entfernen und Oberboden evt. der angegebenen Tiefe mit Gartenschaufel in angeschriebenen Probensack füllen und verschliessen.
- Unterbodenproben: Entweder kleine Grube graben (im flachen Mittelland ca. 50-60 cm tief) und mit Gartenschaufel oder Bodenspatel Probenmaterial der gewünschten Tiefe in darunter gehaltene Probenschale und dann in angeschriebenen Probensack befördern. Oder bestehendes, aufgefrischtes Bodenprofil nutzen.
Hinweis: An Bodenprofilen werden die Proben aus Kontaminationsgründen stets von unten nach oben entnommen.
- Untergrundproben: Gleiches Vorgehen wie für Unterbodenproben, doch ist es oft zu aufwändig so tief zu graben. Deshalb wird empfohlen entsprechende Untergrundproben (Lockergestein, Festgestein) dort zu holen, wo sie zu Tage treten (Böschungen, Gruben usw.)
- Zylinderproben für Bodentiere: Streuschicht entfernen und Zylinder vorsichtig 2 cm in Oberboden stossen, mit Gartenschaufel darunter fahren und Zylinderprobe sorgfältig in Dose verschliessen.

Probenvorbereitung

Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste, S: selber beschaffen)

M: 1 Mörsergefäss (z.B. Teigschüssel mit Hohlboden)

M: 1 Stössel (Rundholz)

M: 1 Sieb (Maschenweite 2 mm)

M: Probenschalen

S: Unterlage zum Ausbreiten und Trocken der Bodenproben (Zeitungen, Plastik)

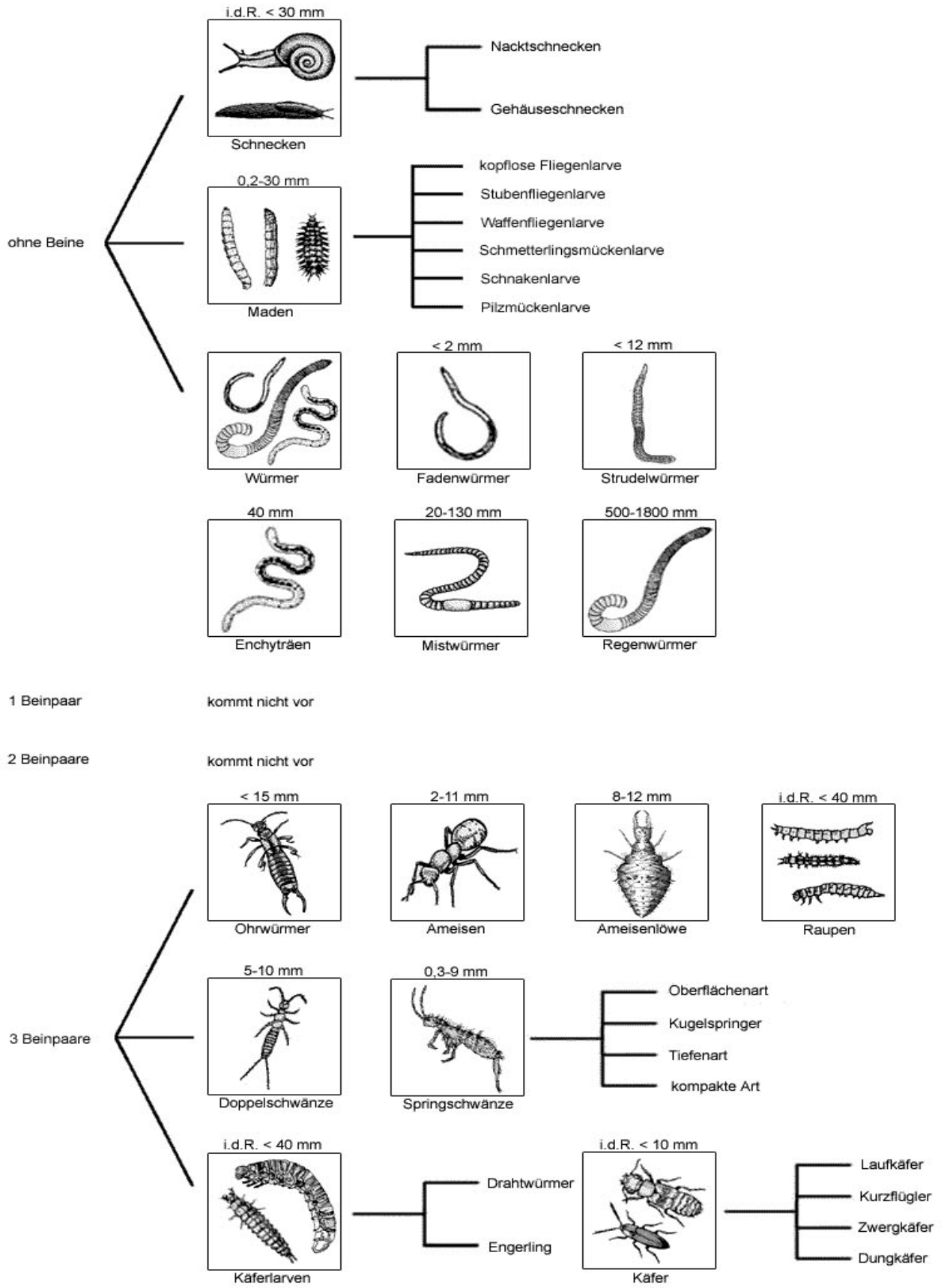
S: verschliessbare Probensäcke

S: Wasserfester Filzstifte zum Anschreiben der Probensäcke

So wird es gemacht:

- a) Frische Rohbodenproben: Proben aus Plastiksack auf Unterlage leeren und gröbere Steine, Wurzeln und allfällige Fremdkörper von Hand herauslesen ohne die Krümelstruktur zu zerstören.
- b) Frische Feinerde-Proben: Wie (a) aber zusätzlich durch Sieb (Maschenweite 2 mm) reiben. Vor jeder neuen Probe Sieb waschen.
- c) Trockene Rohbodenproben: Frische Proben (a) auf Unterlage ausbreiten und an der Luft ein paar Tage trocknen lassen. Der Trocknungsvorgang kann im Backofen bei max. 50°C beschleunigt werden.
- d) Trockene Feinerde-Proben: Trockene Rohproben (c) in Mörsergefäß mit Stößel zerstoßen und durch Sieb schütteln.

Anhang 4: Bestimmungsschlüssel für Bodentiere



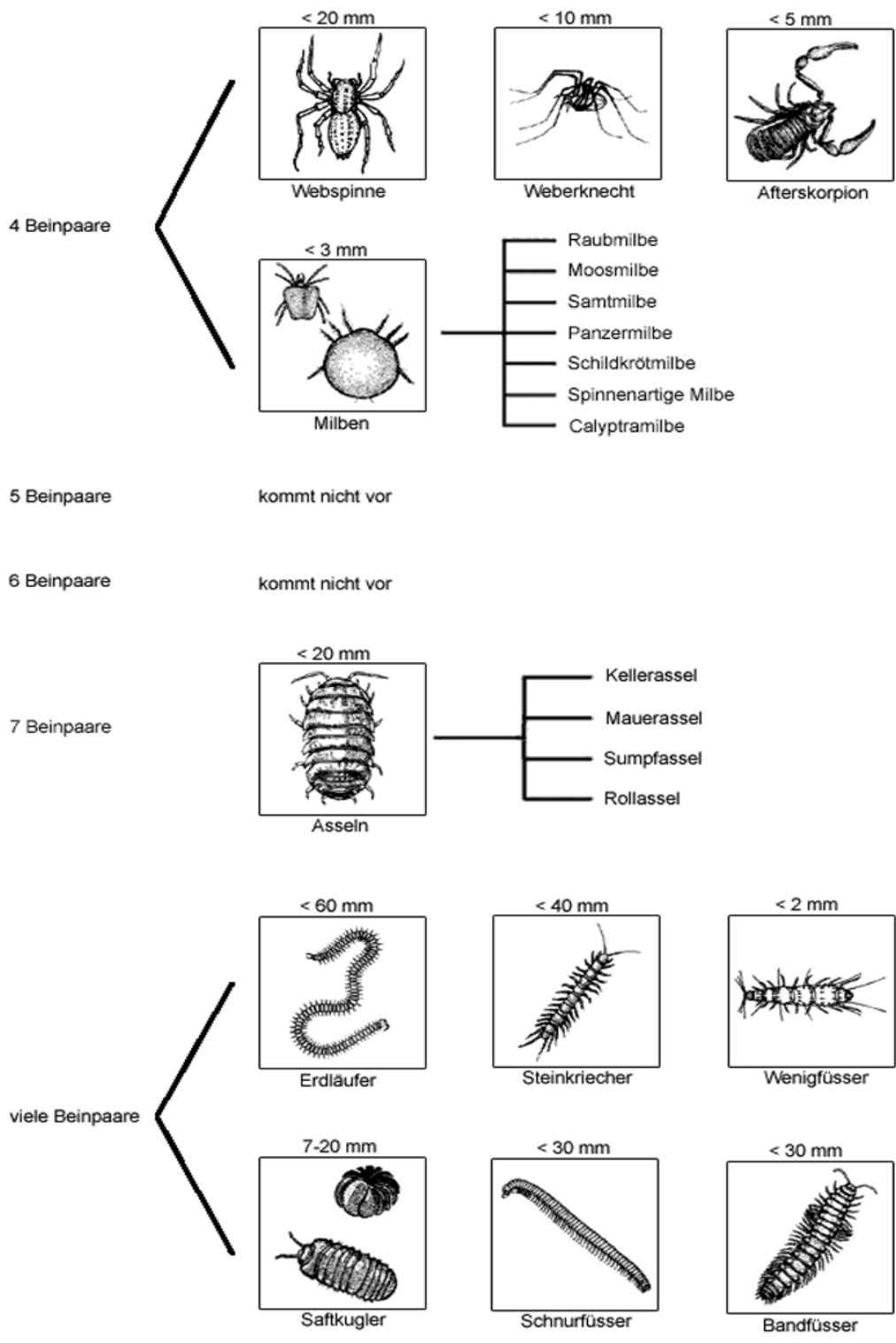


Abb., z.T. verändert aus: Unterricht Biologie 57: Bodenbiologie, 1981 (Schülerposter)

Literatur
 Brauns, A. (1968): Praktische Bodenbiologie
 Dunger, W. (1964): Tier im Boden
 Eisenbeis/Wichard (1995): Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden
 Müller, G. (1965): Bodenbiologie (6a31)

(Quelle: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/07/05.htm>)

Anhang 5: Protokollformular Bodentiere

A) Standort/Probe _____

B) Standort/Probe _____

C) Standort/Probe _____

D) Standort/Probe _____

Methode: _____ Datum: _____

Nr.	Bodentiergruppen Standorte: Anzahl:	Anzahl Tiere und Arten in den Standortproben							
		A)		B)		C)		D)	
		Tiere	Arten	Tiere	Arten	Tiere	Arten	Tiere	Arten
1	ohne Beine								
2	Nacktschnecken								
3	Gehäuseschnecken								
4	Maden								
5	Würmer								
6	3 Beinpaare/Insekten								
7	Mit Flügeln								
8	Käfer (Deckflügel)								
9	Ohne Flügel								
10	Andere								
11	4 Beinpaare								
12	Spinnen								
13	Milben								
14	Andere								
15	7 Beinpaare/Asseln								
16	Viele Beinpaare								
17	Hundertfüßer								
18	Tausendfüßer								
19	Andere								
	Total								

Bemerkungen:

Anhang 6: Lösungen zum 10. Experiment

- Auf $\frac{3}{4}$ der Siedlungsfläche von 180 ha kann das Wasser nicht versickern, dies entspricht 135 ha.
- Auf 135 ha fallen 30 mm Regen, dies ergibt 40,5 Mio Liter.
($135\text{ha} * 30\text{mm} = 135 * 100\text{m} * 100\text{m} * 0.03\text{m} = 40'500\text{m}^3 = 40,5 \text{ Mio Liter}$)
- Der Inhalt eines Schwimmbeckens von 50 m Länge, 20 m Breite und 2,5 m Tiefe ist 2,5 Mio Liter.
($50\text{m} * 20\text{m} * 2.5\text{m} = 2'500\text{m}^3 = 2,5 \text{ Mio Liter}$)
- Der anfallende Regen der aufgrund der versiegelten Fläche nicht versickern kann, füllt gut 16 Schwimmbecken.
($40'500\text{m}^3 / 2'500\text{m}^3 = 16.2 \text{ Schwimmbecken}$)
- Das zusätzliche Wasser benötigt 1 Stunde und 15 Minuten bis es in die Birs abgeflossen ist.
($40'500\text{m}^3 / 10'000\text{l/s} = 40'500'000\text{l} / 10'000\text{l/s} = 4'050\text{s} = 1\text{Std } 7\text{Min } 30\text{s}$)
- Der Wasserstand der Birs ist in dieser Zeit um 72 cm höher.
($10'000\text{l/s} / 5\text{km/Std} / 10\text{m} = 10\text{m}^3/\text{s} / 1.39\text{m/s} / 10\text{m} = 0,72\text{m}$)

Anhang 7: Anleitung Bodengrube graben



Was ich dazu brauche: (M: in Materialkiste)

M: 1 Klappspaten (oder Pickel und Schaufel)

M: 1 kleine Gartenschaufel (Blumenkelle)

M: 1 Bodenspatel (Unkrautstecher oder Messer mit starrer Klinge)

M: 1 Doppelmeter

So wird es gemacht:

- 1) Die Profilwand (Stirnwand) soll wegen des Lichteinfalls zur Zeit der Bodenbeschreibung der Sonne zugewandt sein. An Hanglagen gegen das Tal.
- 2) Die Grube soll mindestens 60 cm breit sein und 1.5 bis 2 mal so lang wie sie tief werden soll. (Im Mittelland ohne Erosion oder Aufschüttung beginnt der Unterboden ab ca. 30 cm und der Untergrund ab ca. 80 bis 120 cm).
- 3) Die Bodenoberfläche oberhalb der Profilwand soll nicht betreten werden und sauber bleiben.
- 4) Falls die Oberfläche grasbewachsen ist, werden zuerst Grasziegel ausgestochen und weggelegt.
- 5) Zuerst wird schichtweise der (dunklere) Oberboden ausgehoben und auf einer Seite angehäuft.
- 6) Der (hellere) Unterboden wird schichtweise ausgehoben und auf der anderen Seite angehäuft, wobei gegenüber der Stirnwand eine Treppe angelegt wird. Dadurch wird auch das Aushubvolumen verringert. Grosse Steine und Blöcke werden separat zur Seite gelegt.
- 7) Nach dem Erstellen der Bodenprofil-Skizze werden allenfalls horizontweise von unten nach oben Bodenproben entnommen.
- 8) Die Bodengrube wird zugeschüttet indem zuerst die grossen Steine, dann der Unterboden und der Oberboden unter Stampfen eingefüllt werden und zuletzt allenfalls die Rasenziegel darüber gelegt werden.

Hinweis: Falls die Bodengrube mehrere Tage offen bleiben soll, muss, diese deutlich markiert werden, damit niemand hineinfällt. Für hineingefallende Tiere ist ein Ast als Steigbaum schräg in die Grube zu legen.

Anhang 8: Formular Bodenprofil-Skizze

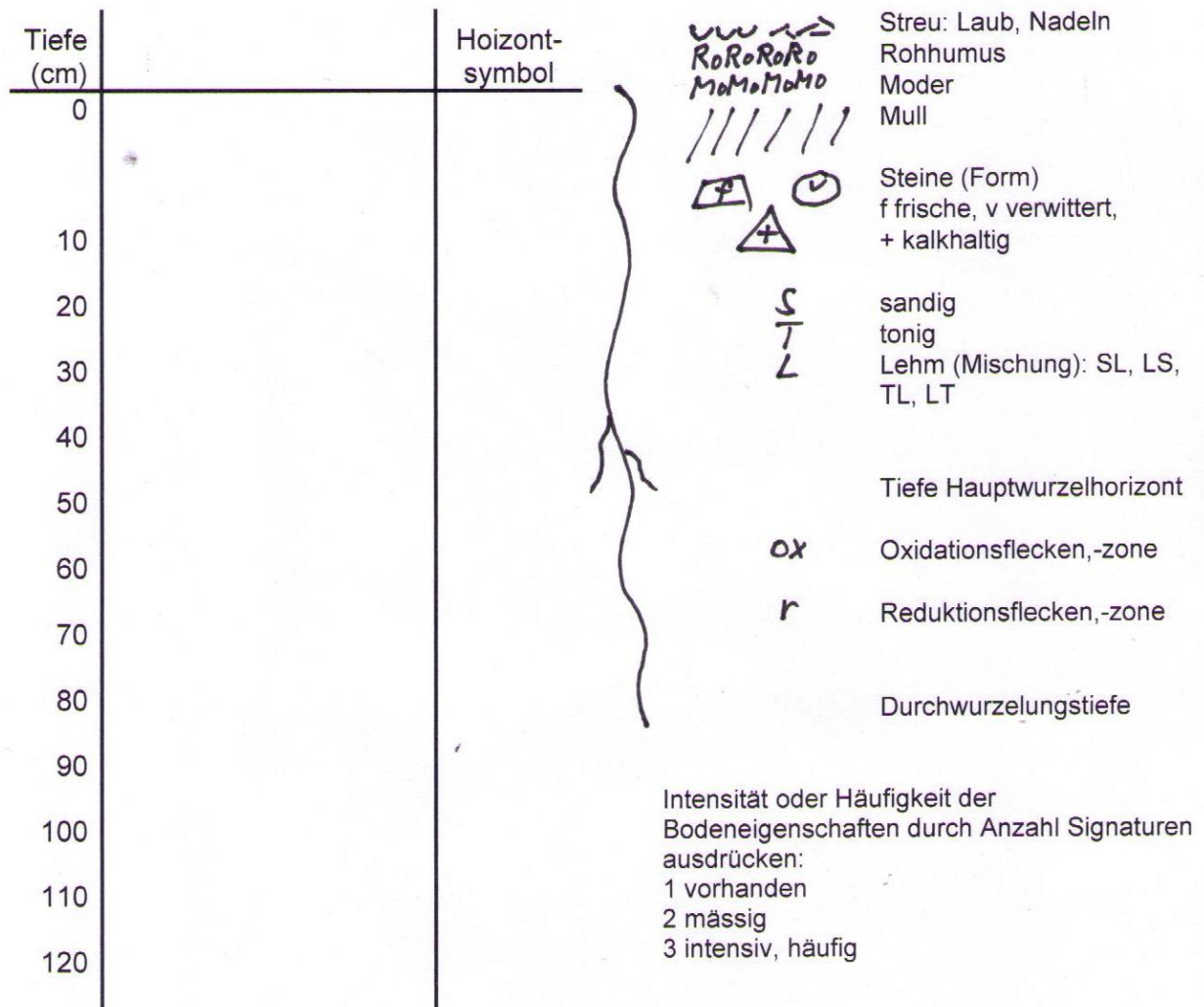
Bodenforscher/in: _____ Datum: _____

Standort: _____ Höhe ü.M. _____

Landform/Relief: _____

Vegetation/Landnutzung: _____

Geologie/Muttergestein: _____



Horizonte:

- O organischer Auflagehorizont
- A Oberboden: Mischung aus organischem und mineralischem Material
- B Unterboden: Mineralischer Verwitterungshorizont
- C/R Untergrund: Locker- (C) oder Festgestein (R)

Horizontgrenze: diffus - - - - - deutlich - - - - - scharf; : ++++++ Kalkgrenze

Bodenfarben: Feuchte Bodenabstriche mit Finger in Skizze

Graubraun/-schwarz: Humus

Rostfarben: Gut durchlüftete Oxidationszone

Grautöne: Schlecht durchlüftete Reduktionszone (+/- wassergesättigt)