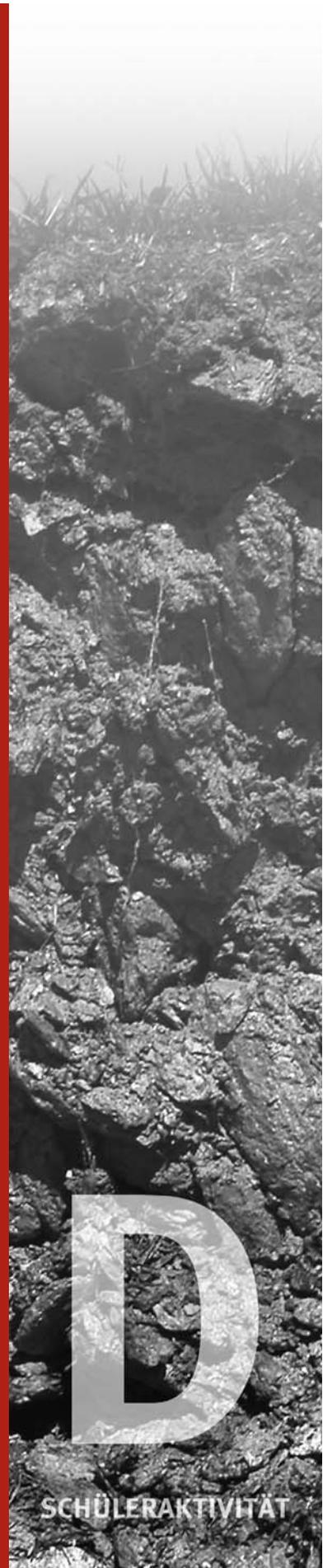


Reservoir und Filter – Die Rolle des Bodens im Wasserkreislauf

	Didaktische Hinweise	218
1	Der Wasserkreislauf	219
	<i>Schüleraktivität D1: Wir untersuchen den Weg des Wassers in der Natur</i>	220
2	Eine Quelle aus der Flasche	222
	<i>Schüleraktivität D2: Wir untersuchen den Weg des Wassers durch den Boden</i>	223
3	Guter Boden reinigt Wasser – Der Boden als Filter	225
	<i>Schüleraktivität D3a: Vom Schmutzwasser zum Trinkwasser (I)</i>	226
	<i>Schüleraktivität D3b: Vom Schmutzwasser zum Trinkwasser (II)</i>	227
4	Der Boden als Schwamm	228
	<i>Schüleraktivität D4: Der Boden als Schwamm</i>	229
5	Die Saugkraft des Bodens	230
	<i>Schüleraktivität D5a: Modellversuch zur Kapillarwirkung</i>	232
	<i>Schüleraktivität D5b: Untersuche den Wassertransport entgegen der Schwerkraft</i>	234
6	Wasserspeicherfähigkeit und Nutzwasserkapazität des Bodens	235
	<i>Schüleraktivität D6a: Wie viel Wasser speichert der Boden?</i>	236
	<i>Schüleraktivität D6b: Wann erleiden Pflanzen Durst?</i>	238
7	Wasserschlucker Boden – Versickerung und Versickerungsrate (Infiltration)	239
	<i>Schüleraktivität D7a: Ein Modellversuch zur Wasserversickerung</i>	241
	<i>Schüleraktivität D7b: Wir messen die „Schluckleistung“ des Bodens vor Ort</i>	243
8	Trinkwasserversorgung	246
	<i>Schüleraktivität D8: Unser Trinkwasser</i>	247



Reservoir und Filter – Die Rolle des Bodens im Wasserkreislauf

Didaktische Hinweise

CD | Alle Grafiken der Arbeitsblätter.

Das Spezifikum des vorliegenden Moduls ist seine Eignung sowohl für den Themenbereich „Boden“, als auch für den Themenbereich „Wasser“. So bieten sich beispielsweise die Schüleraktivitäten D1, D2 und D8 für den Einsatz bei der Behandlung des natürlichen Wasserkreislaufs bzw. der Wasserversorgung einer Gemeinde (auch schon in der Grundschule) an.

Die unterrichtliche Umsetzung der Rolle des Bodens im Wasserkreislauf sollte sich auf die Funktion „Reservoir und Filter“ beschränken – Stoffkreisläufe sind entweder auszunehmen oder sie können unter Einbeziehung des Moduls F (Schadstoffe im Boden) als Erweiterung von Schüleraktivität D3a und b („Der Boden als Filter“) zumindest ansatzweise mitbehandelt werden.

Für die Jahrgangsstufen 5 und 6 ist, wenn mindestens 2–3 Unterrichtsstunden zur Verfügung stehen, eine projektorientierte Umsetzung unter dem Leitthema „Vom Niederschlag zum Trinkwasser – der Weg des Wassers im Boden“ vorstellbar. Vor allem gilt dies für das Gymnasium (5. Jahrgangsstufe NT) und die Hauptschule (6. Jahrgangsstufe G/Sk/Ek).

Dabei wird mit den Experimenten D1 und D2 die Rolle des Bodens und des tieferen Untergrundes im natürlichen Wasserkreislauf verdeutlicht werden. Experiment D3a weist die Filterfunktion des Bodens nach. D3b kann erst in höheren Jahrgangsstufen eingesetzt werden, da für die Pufferfunktion des Bodens chemische Grundkenntnisse notwendig sind. Das Arbeitsblatt D8 fasst den Weg vom Niederschlag zum Trinkwasser zusammen.

Eine zweite Gruppe von Schüleraktivitäten steht unter dem Aspekt der Rolle des Bodens für die Wasserversorgung von Pflanzen. Die

hier vorgeschlagenen Experimente zur Adsorption, Infiltration und Kapillarwirkung sind für die gesamte Sekundarstufe I mit Schwerpunkt auf den Jahrgangsstufen 8–10 geeignet: Lernen vor Ort bzw. originale Begegnung erfolgt durch die Entnahme von Bodenproben durch die Schüler für D5b, D6a und D7a und bei der Durchführung von D7b im Gelände¹.

Ausgangspunkt ist der „Schwamm-Versuch“ D4, der den Boden als vernetztes Poren- und Hohlraumsystem verdeutlicht.

Die Kapillarwirkung des Bodens, d. h. wie sich Pflanzen Wasservorräte tieferer Schichten erschließen, wird durch einen Modellversuch (D5a) und für verschiedene Bodenarten im Experiment (D5b) nachgewiesen und gemessen bzw. protokolliert.

Mit dem Versuch D6a ermittelt der Schüler die Wasserspeicherkapazität von verschiedenen Bodenproben. Das Arbeitsblatt D6b fordert ein Berechnen der Wasserspeicherkapazität von drei Bodenarten und deren Übertragung auf die Klima- und Bodenbedingungen in Mitteleuropa (► Modul E Landwirtschaft). Das Ziel muss sein, dass der Schüler die entscheidende Rolle des Bodens für die Wasserversorgung der Pflanzen auch bei längerer Trockenheit erkennt.

Zur Infiltration, dem Eindringen von Wasser in den Boden in Abhängigkeit vom Bodenzustand, sollte im Idealfall zunächst ein Modellversuch (D7a) im Fachraum durchgeführt werden, ehe an Standorten der Schulumgebung mit unterschiedlichen Bodennutzungen und Bodenarten Messungen im Gelände mit dem Doppelringinfiltrimeter von den Schülern (in Gruppenarbeit, wenn mehrere Geräte vorhanden sind) vorgenommen und protokolliert werden.

¹ | Da Kenntnisse aus dem Physikunterricht notwendig sind, sollten die Experimente D5, D7, D9 und D10 erst ab Jahrgangsstufe 8 bzw. evtl. 7 (Gymnasium NT) eingesetzt werden.

D1 Der Wasserkreislauf

Hintergrund

Ohne Wasser gäbe es auf unserer Erde kein Leben. Im Boden ist es ein wichtiger Wirkstoff für die chemischen und biochemischen Vorgänge und zudem Transportmedium für alle Nährstoffe. Im Gegensatz zu den meisten anderen Stoffen wird Wasser global gesehen nicht verbraucht, sondern bleibt in einem Kreislauf erhalten. Angetrieben wird der Wasserkreislauf von der Wärmestrahlung der Sonne, die Wasser über den Ozeanen und Seen sowie der Erdoberfläche und der Vegetation verdunsten lässt. Der entstehende Wasserdampf steigt auf und bildet in der kalten Atmosphäre Wolken, deren Wasservorrat als Regen, Hagel oder Schnee auf die Erde niedergeht und den Ozeanen zugeführt wird.

Die Gesamtmenge an Wasser schätzt man auf rund 1.4 Mrd. km³. Aus den Ozeanen verdunstet im Jahr etwa sechsmal soviel Wasser (~ 480.000 km³) wie über der gesamten Landfläche. Rund 90 % davon gehen direkt als Niederschlag über dem Meer nieder, nur 10 % erreichen das Festland. Zwei Drittel des kontinentalen Niederschlags gelangen dabei unmittelbar über die Verdunstung wieder in die Atmosphäre.

Zum Versuchsablauf

Durch Variation des Bedeckungsgrades der „Erdoberfläche“ mit Vegetation gegenüber offener Boden- oder Wasserfläche kann bei sonst gleichen Rahmenbedingungen (Wärme, gleiches Gefäß) die Bedeutung dieser Flächen für die Verdunstung erarbeitet werden. In der einfachsten Variation bietet sich die Verwendung eines zweiten, zum ersten identischen Gefäßes an, das bis auf Höhe der Musterlandschaft ausschließlich mit Wasser befüllt wird. Um zu zeigen, dass ein funktionierendes Geoökosystem geschlossen sein muss, kann der Versuch parallel ohne Folie durchgeführt werden.

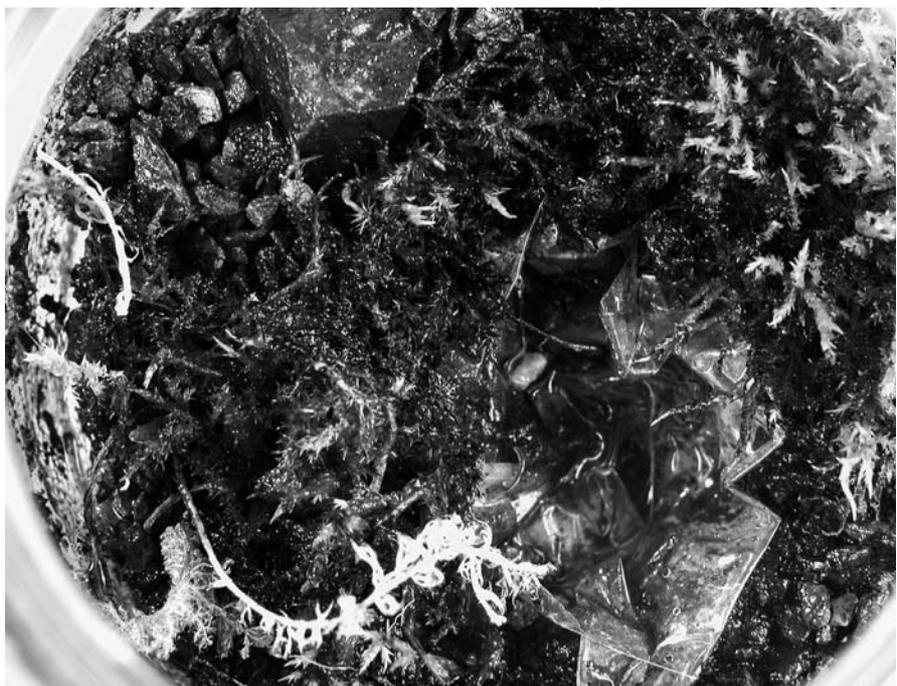
In der Anfangsdiskussion sollen sich die Schüler die Bestandteile eines abgeschlossenen

Geoökosystems überlegen: Sonne, Boden (Erdoberfläche) mit und ohne Vegetation, Luft (Atmosphäre) und Wasser. Es sollte ihnen bewusst sein, dass durch das Verschließen des Gefäßes mit der Folie der Wasserdampf am Verlassen der Atmosphäre gehindert wird. Durch die abnehmenden Temperaturen in der Atmosphäre (Eiswürfel) kondensiert der Wasserdampf zu feinsten Tröpfchen (im Experiment Beschlagen der Folie, evtl. sogar Nebelbildung mit Lichtstrahl durch Taschenlampe nachweisbar), die sich vergrößern bzw. sammeln und schließlich als Niederschlag abregnen (daher leichte Wölbung der Folie). Im Experiment direkt zu beobachten sind die Kondensation des Wasserdampfs, die Tröpfchenbildung und das Abregnen. Die Herkunft des Wasserdampfs aus dem Verdunstungsvorgang unter Wärmeeinwirkung muss sich der Schüler selbst erschließen.

Auswertung

Der Schüler soll seine Beobachtungen in einer schematischen Darstellung des vereinfachten Wasserkreislaufes darstellen. Als Alternative kann ihm auch das beigegefügte Arbeitsblatt zur Auswertung überlassen werden.

D20 | Blick von oben in eine Modelllandschaft mit kleinem Teich (rechts unten) in einem Glasgefäß.



Wir untersuchen den Weg des Wassers in der Natur

Materialien

-  sauberes Einmachglas oder ein größeres Glasgefäß, evtl. kleines Aquarium
-  durchsichtige Plastikfolie
-  Gummiring oder Gummizug
-  Bodenmaterialien (Gartenerde, Kies, Moospolster, evtl. Pflänzchen)
-  Glühlampe (mindestens 60 Watt; keine Energiesparlampe!)
-  Eiswürfel
-  Wasser

Durchführung

 Gestalte mit Hilfe der Materialien eine Modelllandschaft im Glasgefäß. Denke auch an einen kleinen Teich.

 Gieße ausreichend Wasser in das Gefäß, doch überflute nicht alles.

 Verschließe das Gefäß mit der Plastikfolie und dichte es mit dem Gummiring bzw. dem Gummizug ab. **!** Achte darauf, dass sich die Folie durch das spätere Auflegen des Eiswürfels ein wenig nach unten wölben kann.

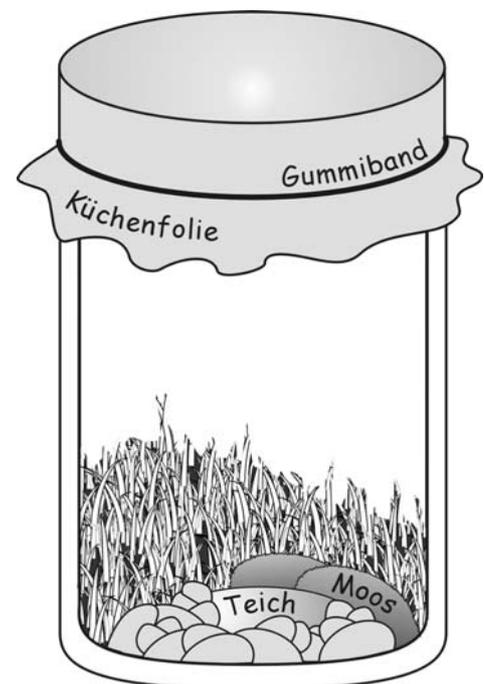
 Stelle das Glasgefäß ans Fenster in die Sonne oder unter die nicht zu heiße Lampe und lasse es dort eine Zeit lang (mindestens 30 Minuten) stehen.

 Lege den Eiswürfel auf die Folie.

 Beobachte genau, was sich währenddessen an der Folie zeigt.



Beschreibe und zeichne nach deinen Beobachtungen den Weg des Wassers durch die Natur.



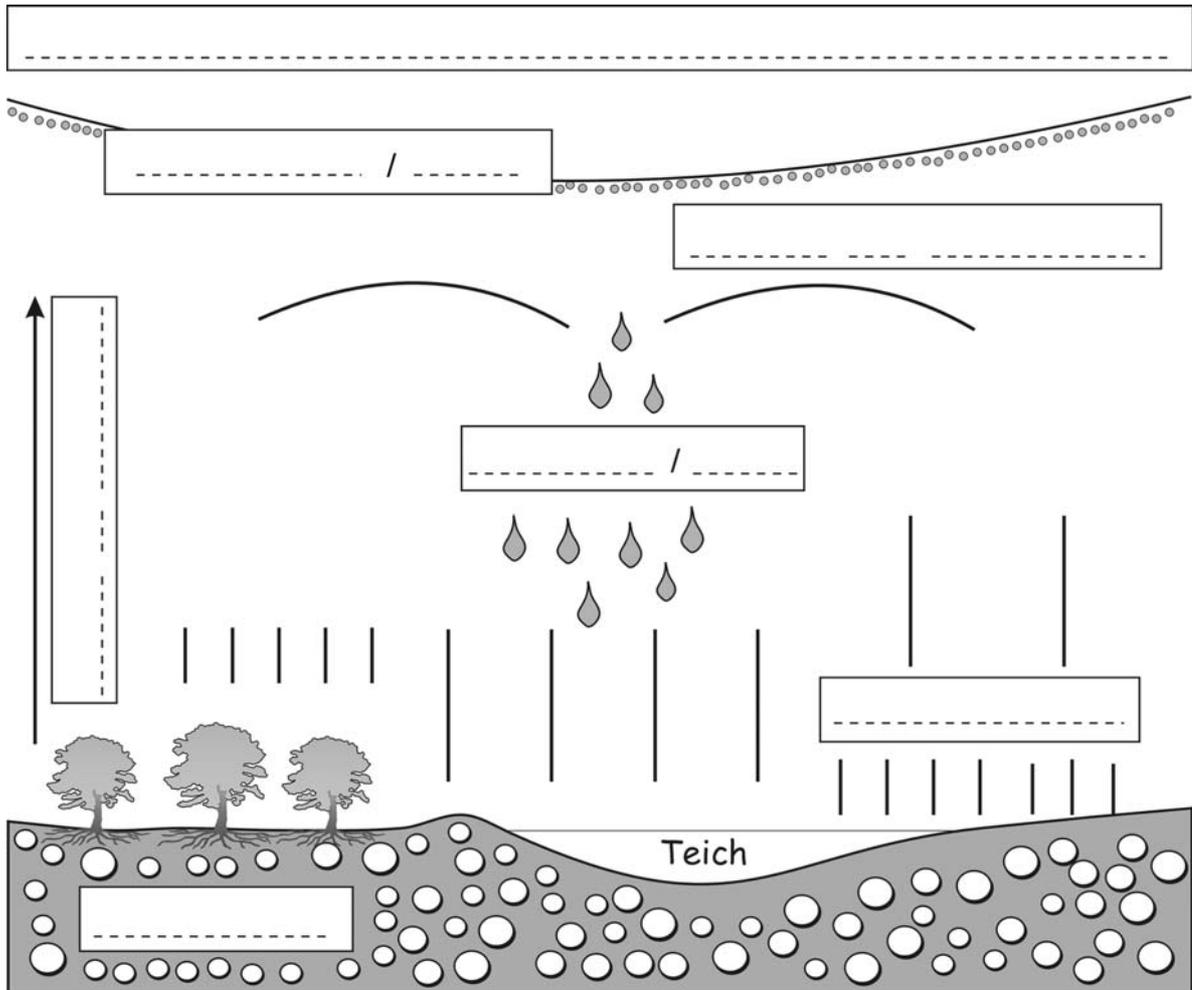


Vervollständige nach deinen Beobachtungen die nachfolgende Abbildung.
Ergänze die Pfeile. Trage die Begriffe in die Abbildung ein:

„Abnahme der Lufttemperatur“, „Atmosphäre/Luft“, „Boden“,
„Niederschlag/Regen“, „Tröpfchenbildung und Kondensation“, „Verdunstung“



Überlege dir eine geeignete Überschrift für die Abbildung.



Beschreibe hier den in der Abbildung dargestellten Vorgang in Worten:

D2 Eine Quelle aus der Flasche

Hintergrund

Sowohl der Boden als auch der geologische Untergrund besitzen keinen homogenen Aufbau. Meist weisen diese mehrere nahezu oberflächenparallele Lagen auf. Diese einzelnen Horizont- oder Schichtgrenzen stellen Flächen dar, an denen sich bestimmte physikalische und chemische Parameter im Boden ändern. So kommt es z. B. zu Änderungen der Lagerungsdichte und der Porenräume, was maßgeblich die Sickerseigenschaften des Bodens beeinflusst. Trifft das Sickerwasser auf eine undurchlässige Lage, erreichen die Niederschläge nicht mehr das Grundwasser, sondern werden oberflächenparallel abgelenkt. Laufen die wasserstauenden Schichten an einem Hang aus, kommt es zum Wasseraustritt an die Oberfläche. In solchen Fällen spricht man von Hangaustrittsquellen oder, auf den geologischen Untergrund bezogen, von Schichtquellen.

Zum Versuchsablauf

Bei der Vorbereitung der Wasserflasche ist darauf zu achten, dass die angebrachten Löcher einen Durchmesser von ca. 1–2 mm haben. Die Platzierung der Löcher sollte nicht nur an den Schicht- bzw. Horizontgrenzen erfolgen, sondern in gleichen Abständen über die gesamte Höhe der Flasche. Es sollten auch mehrere Löcher in gleicher Höhe angebracht werden. Wird nämlich ungewaschener Sand verwendet, kann es sein, dass noch im Sand vorhandene Schluff- oder Tonpartikel verspült werden und in der Sandschicht einen Wasserstau verursachen oder einzelne Löcher zusetzen. Damit das Wasser, das bis zum Flaschenboden durchläuft, von diesem nicht aufgestaut wird, sondern abfließen kann, sollten seitlich, ein wenig oberhalb des Bodens, Löcher angesetzt werden.

Mit der Abfolge der eingefüllten Schichten kann experimentiert werden, sie muss nicht der Abbildung entsprechen. Allerdings ist darauf zu achten, dass die Gartenerde immer die oberste Bodenschicht bildet.

Auswertung

Zum Transfer der eigenen Beobachtungen auf die Verhältnisse in der Natur können die Schüler die Abbildung auf der zweiten Seite des Arbeitsblattes bearbeiten.



D21 | Quelle aus der Flasche.

Versuchsaufbau mit vier verschiedenen Bodenarten (von unten nach oben: Lehm, Steine, Sand, Humus), es fehlen allerdings noch die Löcher an der Seite des Plastikgefäßes.

Wir untersuchen den Weg des Wassers durch den Boden

Materialien

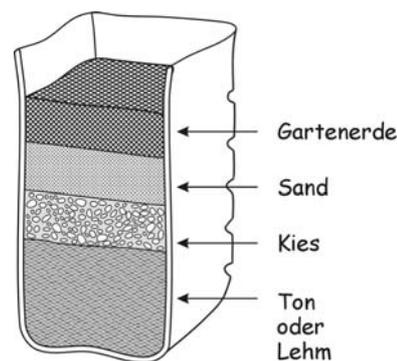
-  Bodenmaterialien (Gartenerde, Sand, Kies, Lehm)
-  durchsichtige Wasserflasche aus Plastik oder Ähnliches (z. B. Kanister)
-  Nagel (etwas dicker als eine Zirkelspitze), ggf. Schere
-  Gefäß mit Wasser
-  Plastikschüssel

Durchführung

-  Entferne ggf. den oberen Teil deines Gefäßes (Flaschenhals), damit es nach oben geöffnet ist.
-  Bringe mit dem Nagel in verschiedenen Höhen mehrere Löcher an einer Seite der Plastikflasche an. Wähle immer den gleichen Abstand zwischen den einzelnen Höhen.
-  Bringe zusätzlich kurz oberhalb des Flaschenbodens zwei weitere Löcher an. Damit wird verhindert, dass sich das Wasser am Boden staut.
-  Fülle die Plastikflasche in Schichten mit den verschiedenen Bodenmaterialien auf. Überlege dir dabei, welches Material die oberste Bodenschicht bildet.

-  Stelle die Flasche in die Plastikschüssel und gieße langsam von oben Wasser in die Flasche hinein.

-   Beobachte, welche Bodenschichten vom Wasser leicht durchdrungen werden, welche schwerer oder sogar überhaupt nicht. Beobachte, wo das Wasser aus der Flasche tritt.

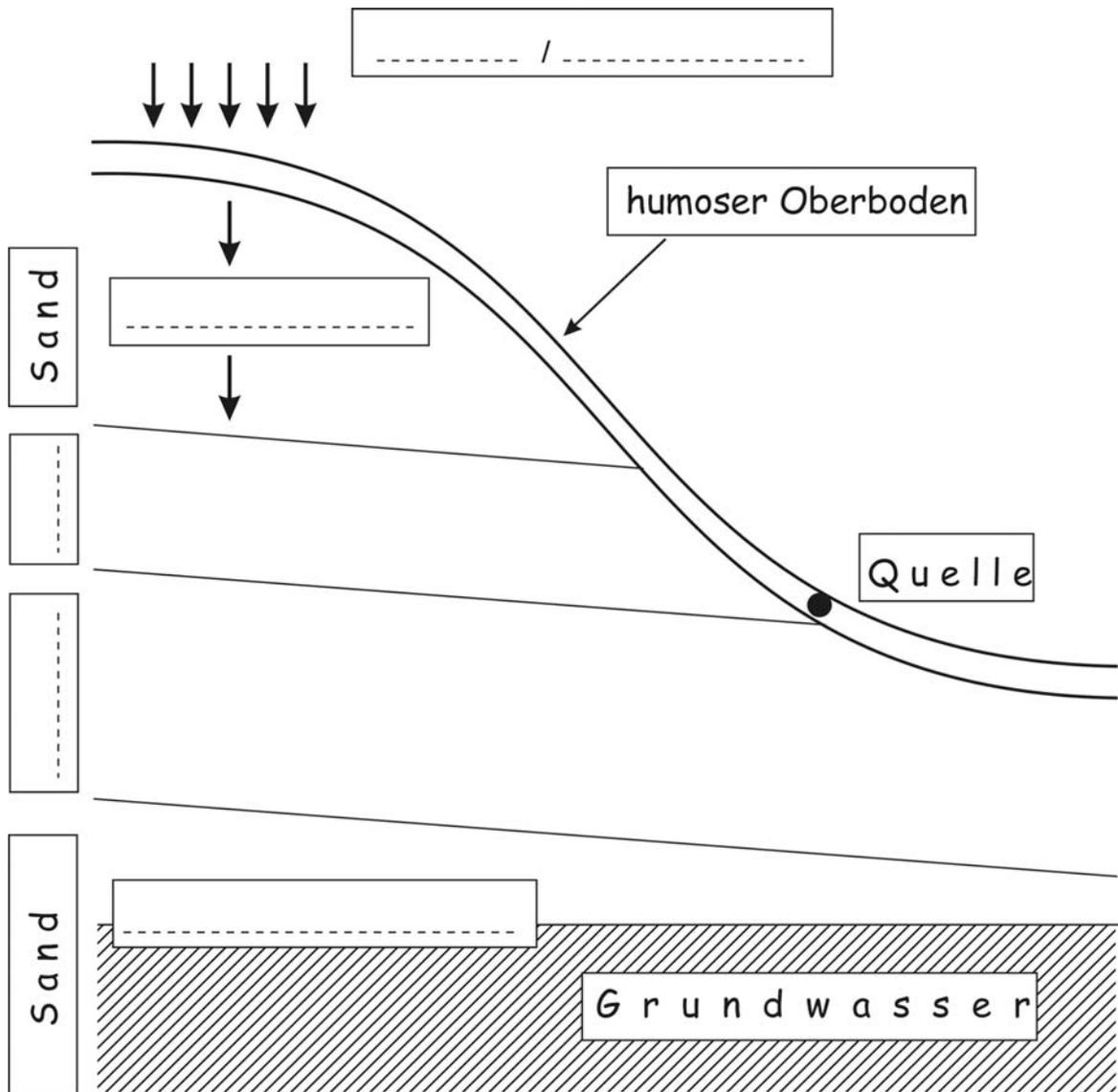


-  Setze deine Beobachtungen aus der Versuchsanordnung in die Natur um und zeichne den Weg des Wassers (in blauer Farbe) durch den Boden. Male die Bodenschichten in unterschiedlichen Farben aus.

Kennzeichne die Stelle, an der das Wasser wieder an die Oberfläche austritt.

-  Welche Erscheinung kann man an solch einem Austrittspunkt in der Natur erkennen?

Der Weg des Wassers durch den Boden



Male die Bodenschichten unterschiedlich farbig aus und ergänze die fehlenden Begriffe an der richtigen Stelle:

„Regen/Niederschlag“, „Kies“, „Lehm“, „Sickerwasser“.



Ergänze den Weg des Wassers durch den Boden. Verwende blaue Pfeile.



Bedenke, dass ein Teil des Sickerwassers auch schwer durchdringbare Schichten oder Horizonte durchsickern kann. Seine Sickergeschwindigkeit ist in diesem Fall nur langsamer.

D3 Guter Boden reinigt Wasser – Der Boden als Filter

Hintergrund

Boden wirkt chemisch und physikalisch als Adsorber bzw. Filter für hindurchfließendes Wasser, d. h. dass neben gelösten Stoffen (Adsorption) selbst feinste vom Wasser transportierte Partikel (mineralische Substanzen, Staubpartikel) im feinen Porengeflecht des Bodens hängen bleiben (Filtration) und das Wasser gereinigt wird. Diese Eigenschaft ist von großer Bedeutung für die Qualität des Grundwassers und insbesondere für die Trinkwassergewinnung (► Modul D Wasser, Kapitel 7 und Exkurs). Die Adsorptions- und Filterwirkung sind stark von der Bodenart, dem Humusgehalt und dem im Boden und tieferen Untergrund vorhandenen Poren- und Kluftsystem abhängig. Der Reinigungsprozess durch die Filtration geschieht auf rein mechanischem Wege, worauf im Unterricht explizit hingewiesen werden sollte.

Zum Versuchsablauf (Versuch D3a)

Bei der Vorbereitung bzw. Durchführung des Versuches ist auf die vorhergehende Reinigung der einzelnen Substrate durch mehrfaches Spülen mit klarem Wasser zu achten. Dadurch werden die feinsten Bestandteile ausgewaschen, die anderenfalls das Filtrat „verunreinigen“ würden. Dieser Reinigungsprozess des „Bodenfilters“ hat in der Natur bereits zu einer früheren Phase der Bodenentwicklung stattgefunden. Anstelle der Reinigung der einzelnen Bodensubstrate kann der Filterversuch zunächst auch mehrfach mit klarem oder trübem Wasser durchgeführt werden (entsprechend stellt sich die Filterwirkung erst im Verlauf des Versuches ein). Wichtig ist ein mehrfaches Durchspülen des Versuchsaufbaues, damit sich die Bodenbestandteile setzen können bzw. sich „offene“ Wegsamkeiten (z. B. miteinander verbundene Makroporen) schließen können. Da sich der „Bodenfilter“ bei starker Belastung mit Trübestoffen bei wiederholter Durchführung des Versuches zusetzen wird, kann sich die Durchflussgeschwindigkeit stark reduzieren. Es empfiehlt sich daher für die vorbereiteten Spülungen die Verwendung von klarem Wasser.

Variation

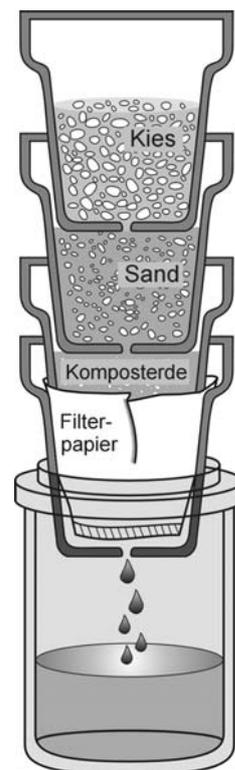
Der Versuch kann alternativ auch mit mehreren übereinander gestellten Blumentöpfen durchgeführt werden (häufig in der Literatur vorgeschlagener Aufbau). Dadurch bleibt der Boden den Schülern allerdings verborgen. Bei dieser Variante kann die mechanische Filterwirkung der einzelnen Bodenarten getrennt voneinander demonstriert werden.

Aus dem Versuch kann modellhaft auf die unterschiedliche Filterwirkung von Sedimenten geschlossen werden. Da Trinkwasser häufig aus dem Grundwasser bezogen wird, ist daraus die Gefährdung der Trinkwasserqualität in Gebieten mit grobkörnigem Sedimentuntergrund ableitbar.

Ergänzung des Versuches zur Pufferwirkung von Böden (Versuch D3b)

Wird der wässrigen Lösung Tinte (= Farbstoff in saurer Lösung) hinzugesetzt, wird das Filtrat entfärbt. Ursache ist die neutralisierende Pufferwirkung des humushaltigen Bodensubstrats durch Zurückhalten der H^+ -Ionen (► Modul F Schadstoffe). Wird das Filtrat mit Hilfe von Zitronensäure oder Essigsäure wieder angesäuert, kehrt die ursprüngliche Farbe zurück. Der Durchfluss größerer Mengen Tinte bewirkt eine nachlassende Pufferwirkung (erschöpfte Pufferkapazität) und damit eine reduzierte bzw. fehlende Entfärbung. Die chemische Filterung (Pufferung) ist von der mechanischen Filterung zu unterscheiden.

Es muss darauf geachtet werden, dass insbesondere nicht zu viele Bodenpartikel aus der Gartenerde ausgewaschen werden, da die dunkle Farbe dieser Teilchen die der Tinte überdecken können. Eine günstigere Pufferwirkung als käufliche (torfreiche) Gartenerde hat humusreiche Komposterde.



D22 | Alternative Durchführung des Versuches mit Hilfe von mehreren Blumentöpfen: Aufbauschema. 



D23 | Versuchsaufbau mit mehreren Blumentöpfen. 

Vom Schmutzwasser zum Trinkwasser – Guter Boden reinigt Wasser (I)

Materialien

-  verschiedene Bodenproben (Sandboden, Kies, sandigen Lehm, Gartenerde)
-  durchsichtige Plastikwasserflasche oder Kanister
-  Halterung zur Befestigung von Wasserflasche bzw. Kanister
-  Messer oder Schere, Nagel oder Zirkel
-  Filter, 2 Bechergläser

Durchführung

-  Reinige die für das Experiment vorgesehenen Bodenmaterialien zunächst, indem du sie in einem Filter mehrfach spülst. Dadurch werden die feinsten Bestandteile ausgewaschen, so wie es in der Natur fortwährend passiert. Alternativ muss der Versuch mehrfach durchgeführt werden, bis sich die gewünschte Filterwirkung einstellt.
-  Schneide den Boden der Wasserflasche auf. Bohre in den Verschlussdeckel mehrere Löcher (z. B. mit einem Nagel) und schraube ihn auf die Flasche. Befestige anschließend die Flasche kopfüber an einer Halterung.
-  Fülle die Wasserflasche in Schichten mit den verschiedenen Materialien (Blumenerde oben, keinen Lehm unmittelbar auf die Verschlusskappe, Verstopfungsgefahr). Stelle ein leeres Becherglas unter die Wasserflasche.
-  Spüle zunächst mit klarem Wasser durch, so dass sich die Bodenpartikel setzen können. Spüle so lange, bis das ausfließende Wasser fast klar ist.
-  Stelle eine aus allen Bodenmaterialien zusammengeschüttete Probe her und vermische sie mit Wasser (1–2 Liter). Diese Lösung dient als zu reinigende Wasserprobe.
-  Fülle einen Teil der Wasserprobe von oben in die Wasserflasche. Halte einen Teil als spätere Vergleichslösung zurück.
-  **Beobachte, was beim Durchlaufen durch deinen Boden mit dem Wasser passiert.**
-   **Vergleiche das unten aus der Flasche auslaufende Filtrat mit deiner zurückgehaltenen Vergleichslösung und erkläre das Ergebnis.**

Vom Schmutzwasser zum Trinkwasser – Guter Boden reinigt Wasser (II)

Materialien

-  verschiedene Bodenproben (Sandboden, Kies, sandigen Lehm, Gartenerde)
-  durchsichtige Plastikwasserflasche oder Kanister
-  Halterung zur Befestigung von Wasserflasche bzw. Kanister
-  Messer oder Schere, Nagel oder Zirkel
-  Filter, 2 Bechergläser

Durchführung

-  Stelle denselben Versuchsaufbau her wie im Versuch „Guter Boden reinigt Wasser (I)“.
-  Versetze in einem Becherglas klares Wasser mit etwas Tinte.
-  Gieße das mit Tinte versetzte Wasser von oben in die Wasserflasche.

 Beobachte, was mit dem dunkelblauen Wasser beim Durchlaufen passiert.
Erkläre.

-  Versetze das durchgelaufene Wasser mit etwas Zitronensäure oder Essigessenz (du kannst auch deinen Lehrer bitten, etwas verdünnte Salzsäure zuzugeben).

Beim Umgang mit Salzsäure auf die Gefahrenhinweise achten!



  **Erkläre das Ergebnis.**



D4 Der Boden als Schwamm

Hintergrund

Jeder Boden enthält unter natürlichen Bedingungen stets Wasser, das direkt oder indirekt aus dem atmosphärischen Niederschlag stammt. Dieses Bodenwasser verbleibt, je nach Bodenart und Porung, entweder als Haftwasser im Boden oder durchfließt ihn als Sickerwasser und bildet letztendlich das Grund- oder Stauwasser.

Das Haftwasser setzt sich aus Adsorptions- und Kapillarwasser zusammen, wobei das Adsorptionswasser gegen die Schwerkraft an den Oberflächen der festen Bodenpartikel festgehalten wird. Durch die äußerst starken Bindungskräfte, die bis zu 3×10^7 hPa erreichen, umhüllt es die festen Bodenbestandteile als eine nur wenige Nanometer dünne Lage. Dies führt dazu, dass dieses Wasser nicht von den Pflanzen genutzt werden kann. Die Menge des Adsorptionswassers ist nicht immer gleich, sondern steigt mit der Luftfeuchte, mit abnehmender Korn-

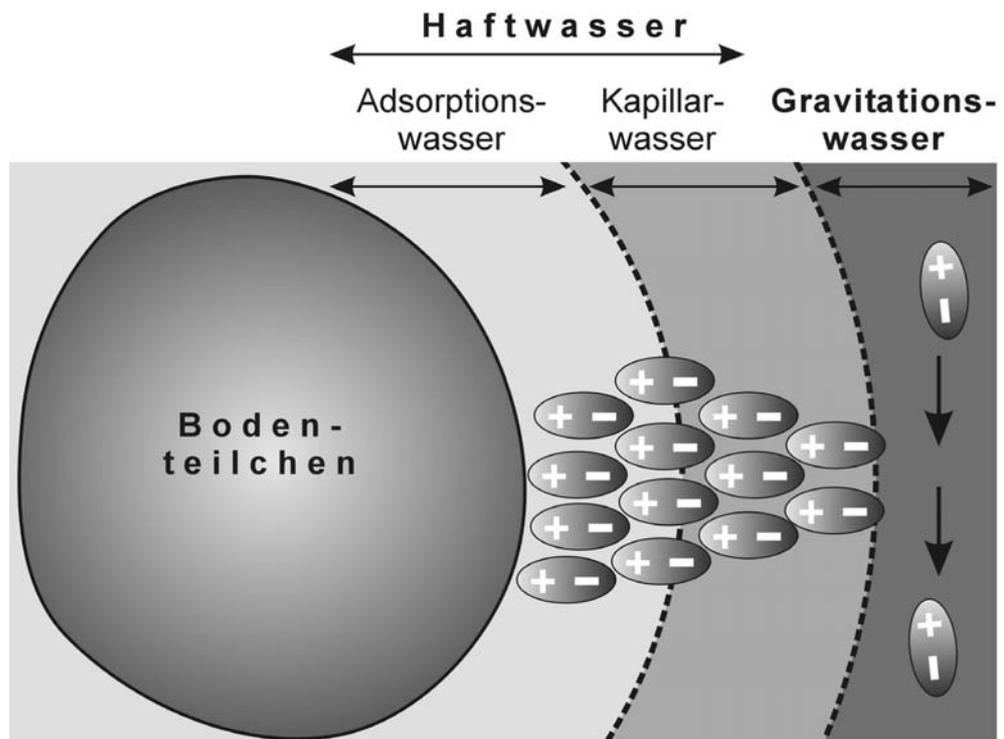
größe und zunehmender spezifischer Oberfläche der Bodenteilchen an.

Das Kapillarwasser hingegen ist in den Kapillaren und Poren des Bodens gebunden und durch geringere Bindungskräfte pflanzenverfügbar. Wird Haftwasser durch die Transpiration der Pflanzen oder durch die Verdunstung über die Oberfläche dem Boden entzogen, kann der Vorrat durch kapillaren Aufstieg von Grund- und Stauwasser wieder aufgefüllt werden.

Zum Versuchsablauf

Der einfache Versuch soll bei den Schülern das Verständnis dafür fördern, dass Boden neben seinen festen Bestandteilen auch aus miteinander verbundenen Hohlräumen (Poren) besteht, die mit Luft oder Wasser gefüllt sind. Schwerpunkt liegt hier auf den unterschiedlichen Arten des Wassers im Boden.

D24 | Die verschiedenen „Wasserarten“ im Boden: Adsorptionswasser, Kapillarwasser und Gravitationswasser. 



Der Boden als Schwamm

Materialien

-  Tafelschwamm (nicht neu, da sonst noch imprägniert)
-  Auffangbehälter (Schüssel)
-  Gefäß mit Wasser

Durchführung

-   Übergieße den Schwamm mit Wasser und beobachte, was passiert, wenn du den Schwamm anhebst.



-   Enthält der Schwamm nach dem Anheben noch Wasser?



-   Wringe den Schwamm fest aus. Enthält er danach noch Wasser?



-  Überlege dir, wie das Hohlraumsystem des Schwammes miteinander verbunden sein muss, damit deine Beobachtungen erklärt werden können.

-  Welcher Anteil des übergossenen Wassers bewegt sich der Schwerkraft folgend durch den Schwamm?

-  Welche Anteile bleiben entgegen der Schwerkraft als so genanntes Haftwasser zurück?

-  Welche Anteile davon könnten (auf den Boden übertragen) für die Pflanzen nicht verfügbar sein, da zu hohe Bindungskräfte zwischen Bodenbestandteilen und Wasser bestehen?

-  Wie bekommt man den Schwamm wieder vollständig trocken?
Welchem Prozess entspricht dies in der Natur?

D5 Die Saugkraft des Bodens



Hintergrund

Während oder nach längeren Trockenperioden ist häufig zu beobachten, dass Pflanzen immer noch eine ausreichende Wasserversorgung besitzen, obwohl der sie umgebende Boden äußerst trocken erscheint. In solchen Fällen besteht für die Pflanzen die Möglichkeit, Teile ihres Wasserbedarfs aus dem aus tieferen Bodenschichten aufsteigenden Kapillarwasser zu decken. Die kapillare Wirkung entsteht dabei durch untereinander verbundene Porenräume mit Durchmessern von meist kleiner 10 µm, die sich zu Kapillarbahnen und -netzen zusammenschließen.



Bei gleichkörnigen Substraten besteht ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen der kapillaren Steighöhe und der Korngröße, da in etwa von gleichgroßen Porenräumen ausgegangen werden kann. Liegen jedoch, wie es in den meisten Böden der Fall ist, verschiedene Korngrößen vor, besitzen Böden mit einem Maximum an Mittelporen (0,2–10 µm) den höchsten kapillaren Aufstieg. Aus diesem Grund sind lehmig-schluffige Böden (hoher Anteil an Mittelporen) weit weniger anfällig gegenüber Trockenheit als Sandböden (hoher Anteil an Grobporen > 10 µm) und Tonböden (hoher Anteil an Feinporen < 0,2 µm).



Modellversuch zur Kapillarwirkung

Mit Hilfe von Glasröhren mit kleinen Innendurchmessern kann die Abhängigkeit der Steighöhe vom Durchmesser der Kapillare demonstriert werden. Die Steighöhe ist näherungsweise mit folgender Formel zu ermitteln:

$$H = 0,15 * (D/2)^{-1} \text{ cm.}$$

Die Steighöhe H ist somit umgekehrt proportional zum Innendurchmesser der Kapillare D. Berechnet man jedoch das hochgezogene Wasservolumen V, so zeigt sich, dass dieses ungefähr proportional mit dem Innendurchmesser steigt ($V \sim D$).



$$V = H * (D/2)^2 * \pi$$

Durch die Gleichungen wird deutlich, dass Sandböden einen geringen, Schluffböden einen mittleren und Tonböden einen hohen kapillaren Aufstieg besitzen.

Zu den Versuchsabläufen

Versuch D5a ist ein Grundversuch zur Wirkung von Kapillaren. Er kann auch erst im Anschluss an Versuch D5b durchgeführt werden, nachdem das Phänomen des kapillaren Wasseraufstiegs im Experiment mit dem Boden erkannt worden ist. Nebenstehende Abbildung zeigt das Ergebnis von Versuch D5a zum umgekehrt linearen Zusammenhang zwischen Steighöhe H und Innendurchmesser der Kapillare D. Ergänzend zur Aufgabe des Schülerarbeitsblattes lässt sich der lineare Zusammenhang zwischen kapillar hochgestiegenem Wasservolumen und Innendurchmesser D ermitteln (Formel siehe oben).

Wenn der Versuch häufiger durchgeführt wird, bietet es sich an, die Glasrohre so auf einem weißen Karton mit z. B. doppelseitigem Klebeband (oder Kabelbindern) zu fixieren, dass sie unten etwas überstehen. Dann sollte man den Karton mit zwei Einkerbungen versehen, damit die gesamte Vorrichtung in die Petrischale zu hängen ist. So vermeidet man, mit den Glasrohren den Boden der Schale zu berühren. Zudem reicht eine Hand aus, um die Konstruktion zu halten, und man bekommt ein besseres Sichtfeld.

Versuch D5b kann vereinfacht in der Form durchgeführt werden, dass die mit Feinsand gefüllte und an einem Stativ befestigte Glasröhre in ein mit Wasser gefülltes Becherglas getaucht wird. Bei günstiger Färbung des zuvor trockenen Sandes ist ein rascher kapillarer Aufstieg des Wassers meist sehr gut zu beobachten. Zur Demonstration kann das Wasser mit Rote-Beete-Saft oder Tinte angefärbt werden.

D25 | Ablauf des Steigversuches, Detailaufnahmen. 

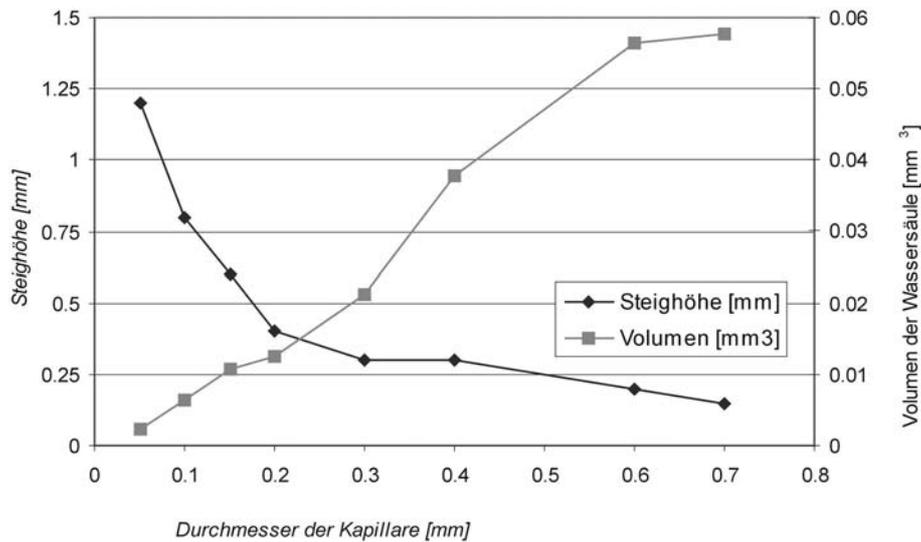
Beispiellösung zum Versuch D5a

Steighöhen in Kapillaren unterschiedlicher Durchmesser sowie zugehöriges Volumen der steigenden Wassersäule:

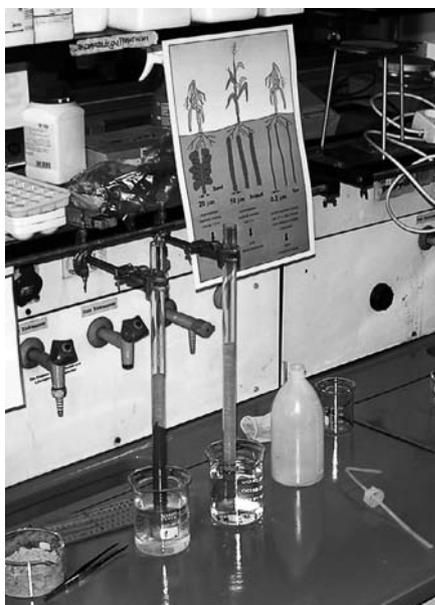
Durchmesser D [mm]	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05
Steighöhe H [mm]	0,15	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6	0,8	1,2
Volumen der Wassersäule [mm³]	0,058	0,056	0,038	0,021	0,013	0,011	0,006	0,002

Tabelle | Beispiellösung zu Versuch D5a.

Graphische Umsetzung der Beispiellösung



D26 | Graphische Umsetzung der Beispiellösung D5a.



D27 | Vereinfachter Steigversuch mit zwei verschiedenen Bodenarten, linkes Glasrohr: Schluff-Ton Gemisch, rechtes Glasrohr: gewaschener Sand.



D28 | Oben: Schülerinnen testen im Labor die Kapillarkräfte des Wassers mit Hilfe von Glasröhrchen mit unterschiedlichem Durchmesser. Links: Unterschiedliche Steighöhe des Wassers in den Glasröhrchen durch die Kapillarwirkung, im Hintergrund Ablauf von Versuch D5b.

Die Saugkraft des Bodens (I) – Modellversuch zur Kapillarwirkung

Materialien

-  Glasrohre mit unterschiedlichen Innendurchmessern (0,1 - 10 mm)
-  Petrischale, Lineal, Taschenrechner
-  mit Rote-Beete-Saft oder Tinte gefärbtes Wasser

Durchführung

 Gieße das gefärbte Wasser in die Petrischale.



 Halte nun die Glasrohre in die mit dem gefärbten Wasser gefüllte Petrischale. Achte darauf, dass du die Glasrohre nicht auf den Boden der Schale aufsetzt! Warte, bis sich die Wasserhöhe nicht mehr ändert.

 Ermittle für jedes Glasrohr mit dem Lineal die Steighöhe H des gefärbten Wassers. Wenn du ein weißes Blatt Papier hinter die Glasröhre hältst, erkennst du die Höhe des Wasserstandes besser.

 Notiere die Steighöhe H und den Durchmesser D der Glasröhre in die Tabelle. Ergänze die folgende Aussage:



Je größer der Durchmesser der Kapillarröhre, desto _____

Übertrage dein Ergebnis auf die Steighöhe in Ton-, Schluff- und Sandböden.



In welchem Boden ist sie am höchsten, in welchem am niedrigsten?

So könnte dein Messprotokoll aussehen

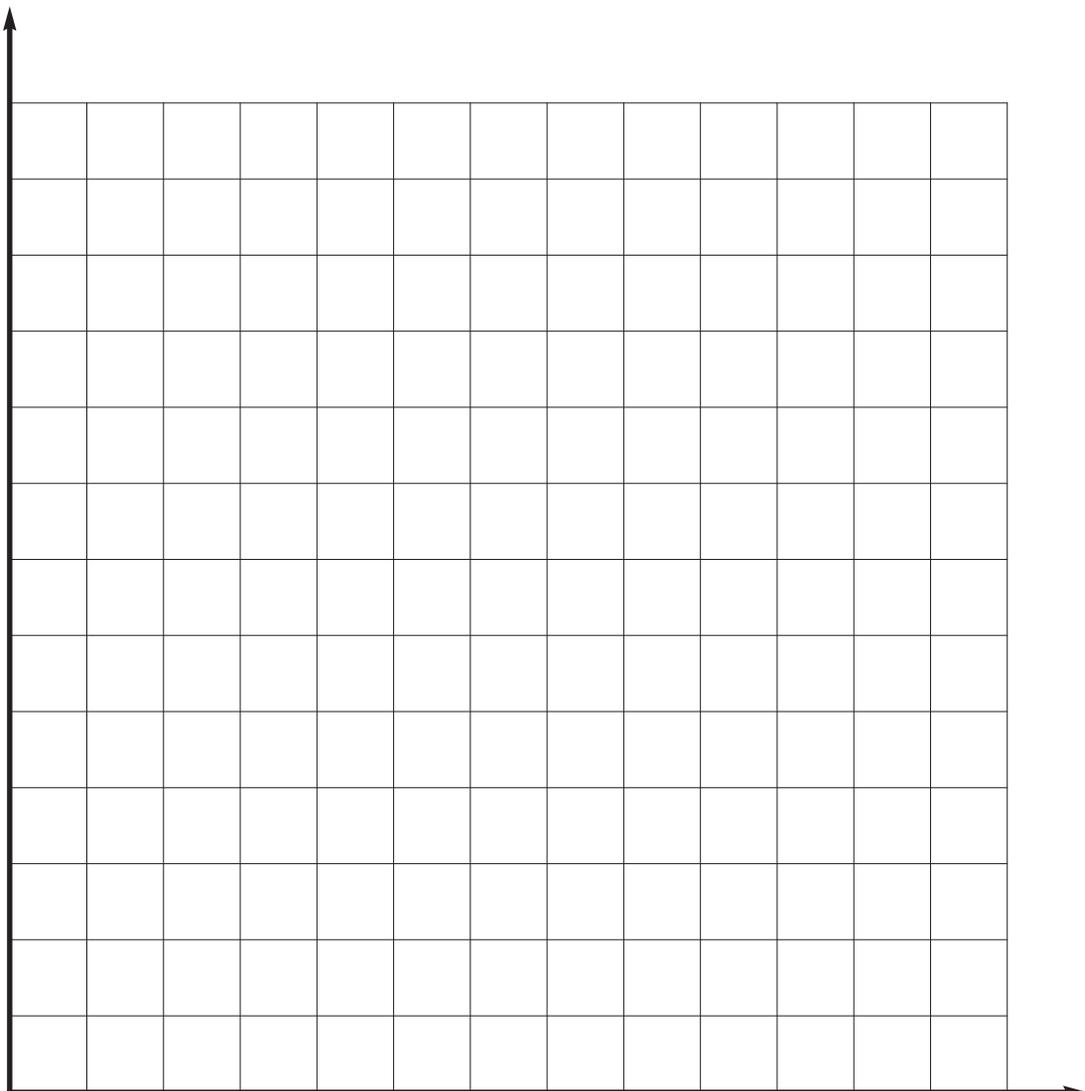
Durchmesser D [mm]									
Steighöhe H [mm]									



Trage den Graphen zwischen der Steighöhe H und dem Durchmesser D der Glasröhre ein. Beschrifte die Achsen.



Gibt es einen Zusammenhang zwischen diesen Größen?



Die Saugkraft des Bodens (II) – Untersuche den Wassertransport entgegen der Schwerkraft

Materialien

-  verschiedene Bodenarten (Ton, Sand, Kies, ...)
-  Glasrohre (ca. 30 cm lang, 3 - 5 cm Innendurchmesser)
-  durchbohrte Gummistopfen (passend zu den Glasrohren),
-  Sieb, Messlatte, Bechergläser, Stative mit Klemmen
-  Watte
-  Kressesamen

Durchführung

-  Gib so viel Watte in das eine Ende des Glasrohres, dass der Sand nicht mehr durch das Loch fällt, und verschließe diese Seite mit einem durchbohrten Gummistopfen.
-  Fülle die getrockneten Bodenproben in die Glasrohre, so dass sie auf der Watte aufliegen. Der Boden darf nicht durch den Gummistopfen rutschen. Achte darauf, dass in allen Rohren gleich hoch Bodenmaterial eingefüllt ist.
-  Säe nun einige Kressesamen in die verschiedenen Böden ein.
-  Befestige die Glasrohre an Stativen und stelle die fertig präparierten Rohre in die mit Wasser gefüllten Bechergläser. Achte darauf, dass der Wasserspiegel über die Watte bis in den Boden reicht!
-   Kontrolliere in den nächsten Tagen, bis zu welcher Höhe die verschiedenen Böden feucht sind und notiere, in welchen Rohren die Kressesamen keimen.
-   Gibt es einen Zusammenhang zwischen Bodenart bzw. Korngrößen, Steighöhe und Kressekeimung?
-   Welche Eigenschaften des Bodens sind für dessen Saugkraft wichtig?

Übrigens: Topfpflanzen kann man auch durch ein „Fußbad“ gießen. Gibt es einen Zusammenhang mit dem Experiment? Welchen Vorteil könnte es haben, die Topfpflanzen auf diese Art und Weise zu wässern? Denke an den Transport von Nährstoffen.

D6 Wasserspeicherfähigkeit und Nutzwasserkapazität des Bodens

Hintergrund

Boden verfügt über die Fähigkeit, Wasser entgegen der Schwerkraft zu halten und zu speichern. Dieses Haftwasser ist entweder adsorptiv oder kapillar gebunden. Das adsorptiv und in Kapillaren kleiner 0.0002 mm gebundene Wasser ist aufgrund der Bindungskräfte für die Pflanzen im Regelfall nicht verfügbar und wird auch durch die Verdunstung nur verhältnismäßig langsam wieder abgegeben. Das Trocknen des Bodens im Trockenschrank oder Backofen bewirkt allerdings selbst den Verlust des adsorptiv gebundenen Wassers.

Je kleiner in einem Boden die „Röhren bzw. Kapillardurchmesser“ werden (diese nehmen mit der Korngröße ab), desto stärker halten die kapillaren Kräfte das Wasser. So können besonders feinkörnige Böden (Tonböden) verhältnismäßig viel Wasser aufnehmen und speichern, dieses wird jedoch nur sehr schlecht wieder abgegeben. Aus grober Bodenart zusammengesetzte Böden (sandige Böden) besitzen hingegen eine schlechte Wasserspeicherfähigkeit, da in den großen Hohlräumen das Wasser nicht entgegen der Schwerkraft gehalten werden kann. Ein Optimum für die Pflanzen haben Böden mit einem hohen Anteil an mittelgroßen Poren (ca. 0.1 mm Durchmesser), d. h. schluffige Böden (z. B. Lössböden; ► Schüleraktivität D6b).

Die Fähigkeit, Wasser zu speichern, ist sowohl von der Bodenart als auch von der Struktur des Bodens oder vom Gehalt an Humus abhängig. Bei der Durchführung des Versuches D6a ist daher zu berücksichtigen, dass durch das Zerreiben der Bodenprobe eine gegenüber den natürlichen Bedingungen andere Bodenstruktur entsteht und damit die Ergebnisse nur qualitativ auf die Natur übertragbar sind. Der Natur am nächsten käme es, eine möglichst im ursprünglichen Verbund verbliebene Bodenprobe zu verwenden.

Ein Maß dafür, wie viel Wasser ein Boden enthält, das für die Pflanzen auch verfügbar ist, ist die Nutzwasserkapazität (oder auch nutzbare Feldkapazität genannt) (► Schüleraktivität D6b). Sie wird bestimmt durch den An-

teil des Wassers, der im Boden gespeichert ist und aufgrund nicht zu hoher Bindungskräfte an die Pflanze abgegeben werden kann. Mit Hilfe der in D6b angegebenen Informationen können die Schüler in einer einfachen Rechenaufgabe den Aussagewert der Nutzwasserkapazität eines Bodens erfahren (Lösungsweg im Einzelnen ► Exkurs Wasserverfügbarkeit in der Sachinformation).

Zum Versuchsablauf D6a

Versuch D6a demonstriert das von der Bodenart abhängige Speichervermögen. Der Versuch kann gleichzeitig auch dazu dienen, die unterschiedliche Fähigkeit der verschiedenen Bodenarten, Wasser überhaupt aufzunehmen, aufzuzeigen. Dazu wird diejenige Wassermenge bestimmt, die notwendig ist, bis sich ein glänzender Wasserfilm auf der Bodenprobe bildet (definierte Ausgangsmenge verwenden!). Die zugeführte Wassermenge ist gleichzeitig ein Maß für das Porenvolumen der Probe (► Modul A „Was ist Boden?“). Nach dem Ablassen des Wassers zeigen schluffige Bodenarten die größte Gewichtszunahme, sandige die geringste. Die Wiederholungsmessungen des Feuchtgewichtes im Abstand von jeweils zwei Tagen zeigen, dass sandige Böden im Vergleich zu den schluffigen und tonigen verhältnismäßig rasch ihr Trockengewicht erreichen. Am längsten dauert dies bei der tonigen Bodenart, dort kann sich ein konstantes Feuchtgewicht einstellen (hoher Anteil nur langsam verdunstendes und nicht pflanzenverfügbares Wasser).

D29 | Versuchsaufbau zur Wasserspeicherfähigkeit von Böden.



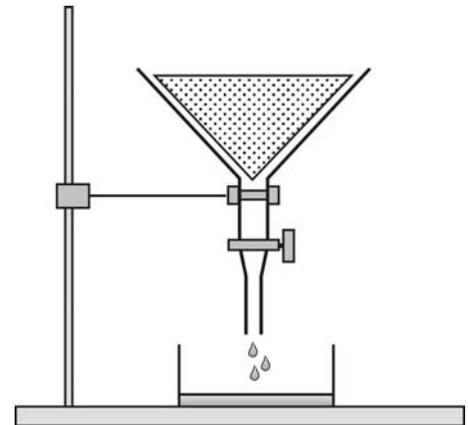
Wie viel Wasser speichert Boden?

Materialien

-  verschiedene Bodenproben (Sandboden, lehmiger Ackerboden, humusreicher Gartenboden)
-  Trockenschrank bzw. Backofen
-  mehrere gleich große Trichter mit Auslasshahn bzw. Trichter, an denen ein kurzes Schlauchstück mit Klemme angeschlossen ist, oder alternativ ein Blumentopf aus Plastik
-  Papierfilter (Tee- oder Kaffeefilter), Waage, Bechergläser

Durchführung

-  Trockne die Bodenproben im Trockenschrank (Klumpen ggf. zerreiben)
-  Teile die Bodenproben nach dem Trocknen. Bestimme mit Hilfe der Fingerprobe an dem einen Teil die jeweilige Bodenart.
-  Notiere diese in der Tabelle.
-  Fülle die Bodenproben in die mit feuchtem Filterpapier ausgelegten Trichter. Wiege die gefüllten Trichter, notiere die Ergebnisse in der Tabelle.
-  Gieße langsam bei geschlossener Schlauchklemme Wasser in jeden Trichter, bis der Boden kein Wasser mehr aufnehmen kann (glänzender Wasserfilm an der Oberfläche). Bei besonders lehm- und tonreichen Böden musst du die Bodenprobe evtl. sogar über Nacht stehen lassen.
-  Durch Öffnen der Schlauchklemmen lässt du anschließend das Wasser abfließen, das der Boden entgegen der Schwerkraft nicht halten bzw. speichern kann.
-  **Ermittle die im Boden gespeicherte Wassermenge. Überlege dir dazu dein Vorgehen.**
-  **Notiere in der Tabelle das dazu erforderliche Zwischenergebnis und die Wassermenge. Beschrifte die entsprechende Zeile für das Zwischenergebnis.**
-  Wiederhole die Bestimmung der gespeicherten Wassermenge in Abständen von zwei Tagen.



Auswertung:



Notiere die Ergebnisse in der Tabelle.



Datum		Bodenprobe 1	Bodenprobe 2	Bodenprobe 3
	Bodenart			
	Trockenmasse			
	Gespeicherte Wassermenge			



Vergleiche deine Bodenproben in Bezug auf die Korngrößen (Bodenart), die Beschaffenheit der Krümel und die Hohlräume.

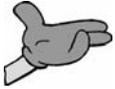
Notiere deine Ergebnisse.



Vergleiche die Böden hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Wasser aufzunehmen.

Vergleiche die Böden hinsichtlich ihrer Fähigkeit, das aufgenommene Wasser zu speichern. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Beschaffenheit der Böden und ihrer Fähigkeit, Wasser aufzunehmen und zu speichern?

Wann erleiden Pflanzen Durst? – Wie lange reicht das Wasser im Boden?



Ein Maß dafür, wie viel Wasser ein Boden enthält, das von den Pflanzen genutzt werden kann, ist die so genannte Nutzwasserkapazität oder nutzbare Feldkapazität. Diese wird in Vol.-% angegeben und gibt den pflanzenaufnehmbaren Wasseranteil im Verhältnis zum Bodenvolumen wieder. Eine Nutzwasserkapazität von z. B. 25 Vol.-% für einen schluffreichen Lössboden bedeutet, dass in einem Bodenkörper von 1 m³ Rauminhalt 0,25 m³, also 250 Liter Wasser in pflanzenverfügbarer Form gespeichert werden können.

Die Nutzwasserkapazität wird häufig auch auf eine Bodenfläche von 1 m² bezogen und dann als „Füllhöhe“ in dem Bodenkörper angegeben. In unserem Beispiel des Lössbodens sind dies 25 mm für eine Schichtdicke von 100 mm. Reichen die Wurzeln tiefer, erhöht sich entsprechend die Schichtdicke, aus der die Pflanzen ihr Wasser beziehen. Durch die Angabe der „Füllhöhe“ wird die Nutzwasserkapazität oder der Verlust durch Transpiration und Verdunstung besser vergleichbar mit den Niederschlagsmengen (üblicherweise angegeben in mm).

Tabelle | Typische Nutzwasserkapazitäten für Sand-, Lehm- und Tonboden.

Bodenart	Nutzwasserkapazität	Durchwurzelungstiefe
Sandboden	8 Vol.-%	60–100 cm
Lehmboden	20 Vol.-%	100–150 cm
Tonboden	10 Vol.-%	50–150 cm

Fragen und Aufgaben



Der durch Transpiration der Pflanzen plus Verdunstung hervorgerufene natürliche Wasserverbrauch beträgt für landwirtschaftliche Nutzflächen im Hochsommer in Mitteleuropa durchschnittlich 5 mm (= 50 Liter auf den m²) pro Tag.



Ermittle, nach wie vielen Tagen ohne Niederschlag die Pflanzen auf Sand-, Lehm- und Tonböden kein Wasser mehr aus dem Boden bekommen. Berücksichtige dabei die Durchwurzelungstiefe.



Informiere dich, wie lange im Durchschnitt sommerliche Trockenzeiten in Mitteleuropa andauern, und schätze ab, unter welchen Voraussetzungen damit eine landwirtschaftliche Nutzung von Sand-, Lehm- und Tonböden ohne Bewässerung möglich ist.



Informiere dich, in welchen Gebieten Deutschlands landwirtschaftlich genutzte Böden verbreitet vorkommen, die selbst bei ausgesprochenen Trockenperioden noch weitgehend ohne Beregnung auskommen.



Erkläre die unterschiedlichen Nutzwasserkapazitäten von Sand-, Lehm- und Tonboden.

D7 Wasserschlucker Boden – Versickerung und Versickerungsrate (Infiltration)

Hintergrund

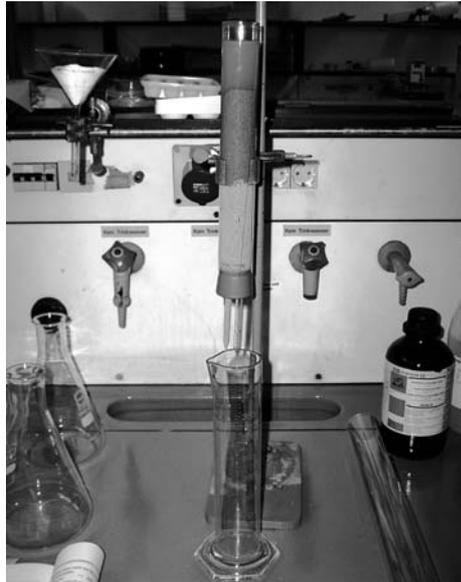
Unter Infiltration versteht man das Eindringen von Wasser in den Boden bei Wasserzufuhr. Die Infiltrationsrate ist dabei das Wasservolumen, das pro Zeiteinheit in den Boden einsickert. Das Infiltrationsverhalten eines Bodens wird durch die Art des Wasserangebotes sowie den Austrocknungszustand zu Beginn der Infiltration bestimmt. Als weitere Größen spielen der Zustand der Bodenoberfläche (z. B. Verschlammung), das Auftreten von Stauschichten im Profil und die Anwesenheit von Makroporen eine maßgebliche Rolle.

Die Infiltrationskapazität eines Bodens steht in engem Zusammenhang mit dem Oberflächenabfluss. Ihre Bestimmung ist insbesondere bei der Hochwasservorhersage von Bedeutung, da Niederschlagswasser, das nicht in den gesättigten Boden eindringen kann, oberflächlich dem nächstgelegenen Vorfluter zugeführt wird. Da die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses im Vergleich zur Grundwasserströmung relativ hoch ist, führt dies zu Hochwasserspitzen, die um ein Vielfaches über dem normalen Abfluss eines Flusses oder Baches liegen.

V Versuchsergebnisse (D7b)

Die Ergebnisse sind sehr stark vom Bodenzustand abhängig. Im Optimalfall ist zu Beginn der Messung ein schnelles Einsickern des Wassers in den Boden zu beobachten. Dies liegt daran, dass die Porenräume des Oberbodens noch luftgefüllt sind und das Wasser zuerst diese Bereiche bis zur Sättigung auffüllt. Erst danach bewegt sich die Sickerwasserfront gleichmäßig nach unten, die Kurve geht in einen linearen Verlauf über.

Ackerböden zeigen häufig die geringste Infiltrationsrate, da sie durch häufiges Befahren mit schwerem Gerät verdichtete Bodenhorizonte besitzen können. Die höchsten Raten sind auf Waldböden zu messen. Durch starke Durchwurzelung und lockere Lagerung kann hier der Boden eine große Menge an Wasser aufnehmen.



D30 | Versuchsaufbau zur Wasserversickerung.

Auf allen Standorten sind Trockenrisse zu beachten. Sie können dazu führen, dass das Wasser sehr schnell durch diese Strukturen abfließt und die eigentlichen Verhältnisse des Bodens nicht korrekt wiedergegeben werden.

Hinweise

Der Versuch geht von vereinfachten Verhältnissen und Annahmen aus. Es soll dem Schüler lediglich vermittelt werden, wie sich die Infiltration auf verschiedenen Böden qualitativ unterscheidet.

D31 | Doppelringinfiltrometer bei einer Messung in einem Maisfeld (vor Versuchsbeginn). 



D32 | *Doppelringinfiltrometer bei der Messung auf einer Wiese (hier mit einer Mariott'schen Flasche, aus der genauso viel Wasser in den Innenring des Infiltrometers nachgeführt werden kann, wie versickert; damit kann der Wasserstand konstant gehalten werden).*



Zunächst wird der hydrostatische Druck der Wassersäule innerhalb der Blechdose vernachlässigt, wodurch das Wasser zu Versuchsbeginn stärker in den Porenraum des Bodens gedrückt wird als im weiteren Verlauf. Um diesen Fehler zu umgehen, müsste der Wasserstand innerhalb der Dose konstant gehalten werden, indem von außen

genau soviel Wasser zugeführt wird, wie in den Boden versickert. Wird im Verlauf des Infiltrationsversuches Wasser in den Innenring nachgegossen, erhöht sich der Aufstau druck und damit der Druck des Wassereinpressens in die Poren. Dies kann zu einer wieder höheren Infiltrationsrate führen.

Durch die Verwendung eines wassergefüllten Außenringes wird das seitliche Wegfließen des Wassers aus dem Innenring verhindert. Damit ergibt sich eine genauere Infiltrationsrate.

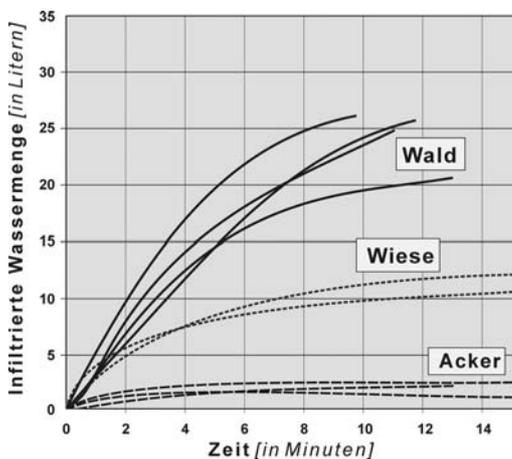
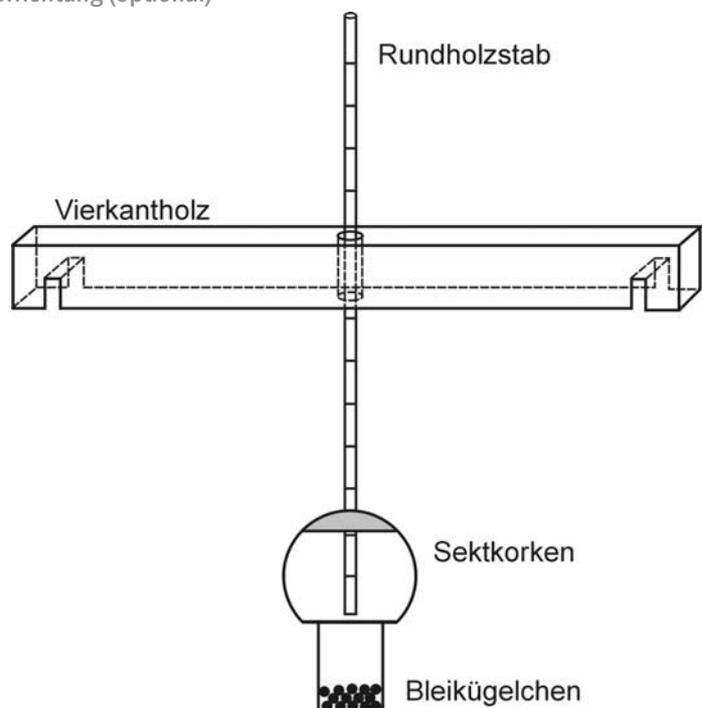
Um Böden verschiedener Nutzungsform und unterschiedlicher Bodenarten miteinander vergleichen zu können, sollten die Messungen an unterschiedlichen Standorten durchgeführt werden (z. B. Acker, Wiese, Wald). Im besten Falle läuft die Messung so lange, bis sich eine konstante Infiltrationsrate einstellt. Damit die Interpretation der Messergebnisse erleichtert wird, empfiehlt sich zudem die Entnahme eines Bodenprofils mit Hilfe eines Bohrstocks.

Auf fremden Grundstücken ist das Einverständnis der Eigentümer zu erfragen.

Bauanleitung für eine Schwimmervorrichtung (optional)

Materialien:

- Vierkantholz 300 x 30 x 30 mm, Rundholzstab Ø 5 mm
- Sektkorken (Plastik), Bleikugeln Ø 2 mm



D33 | *Beispielergbnis des Infiltrationsversuches D7b.* 

Wasserschlucker Boden (I) – Ein Modellversuch zur Wasserversickerung

Materialien

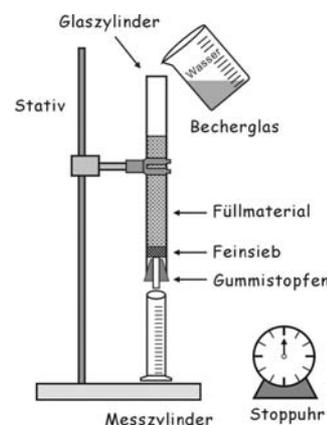
-  verschiedene Bodenproben mit unterschiedlichen Bodenarten (Sand, Ton, Kies, ...)
-  beidseitig offenes Glasrohr (\varnothing ca. 3 cm)
-  Verschlussstopfen mit Loch (passend zum Glasrohr), Stativ
-  Watte, Stoppuhr, Messbecher, Wasser

Durchführung

-  Gib auf einer Seite etwas Watte in das Glasrohr und verschließe es mit dem durchbohrten Gummistopfen so, dass die Watte dem Stopfen aufliegt. Überlege dir, welche Funktion die Watte hat.
-   Befülle das Glasrohr mit etwa 100 cm^3 einer der Bodenproben, so dass sie der Watte aufliegt. Befestige das Glasrohr am Stativ und stelle einen Messbecher unter die Versuchsanordnung.
-  Gieße 100 ml Wasser auf die Bodenprobe im Glasrohr.
-   Miss und notiere in die Tabelle die Zeit, nach welcher der erste Wassertropfen die Bodenprobe passiert hat und in den Messbecher tropft.
-  Lies danach in Abständen von jeweils 30 Sekunden die im Messbecher aufgefangene Wassermenge ab. Jede einzelne Messreihe ist dann beendet, wenn pro Minute weniger als 3 Tropfen im Messbecher aufgefangen werden.
-  Führe mehrere Messreihen mit den verschiedenen Bodenproben durch. Gehe dabei wie oben beschrieben vor.
-   Stelle den Verlauf der Wasserversickerung in einem Liniendiagramm dar. Wie hängt das aufgefangene Wasservolumen mit der Bodenart, also der Korngrößenzusammensetzung deiner Bodenprobe zusammen? Ergänze:

Je größer die Korngröße, desto _____

Je kleiner die Korngröße, desto _____
-   Gibt es Unterschiede bei den Bodenarten über den Austritt des ersten und des letzten Tropfen Wassers? Wenn ja, erkläre dies.



So könnte dein Messprotokoll aussehen:

Messreihe 1

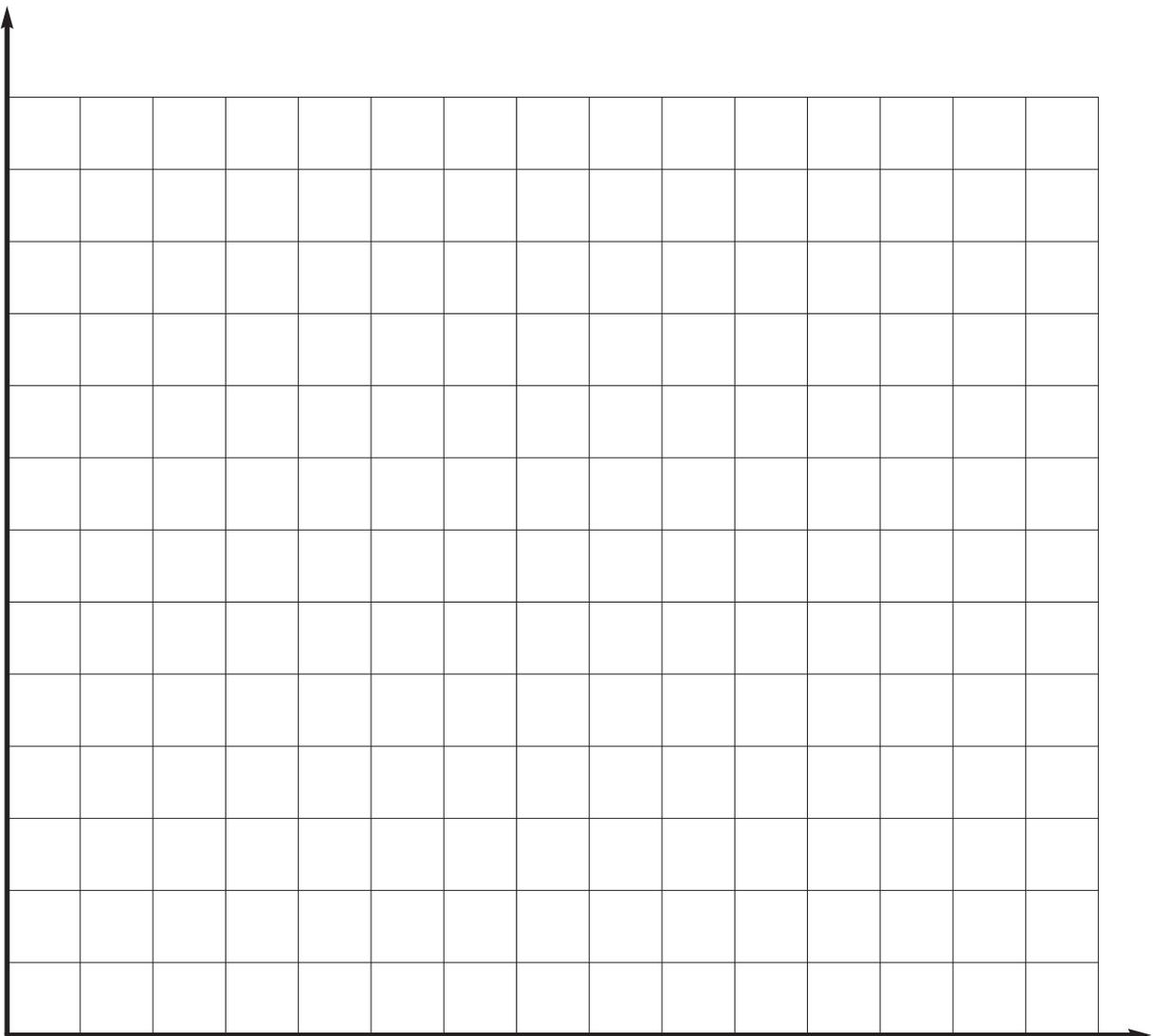


Bodenart:												
1. Tropfen nach												
t/s	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
V/cm ³												

Gespeicherte Wassermenge



Trage die Zeit (t) auf der x-Achse und das aufgefangene Wasservolumen (V) auf der y-Achse auf. Verwende für die verschiedenen Bodenproben unterschiedliche Farben.



Wasserschlucker Boden (II) – Wir messen die „Schluckleistung“ des Bodens vor Ort

Materialien

-  Blechdose oder Kunststoffbehälter mit ca. 10 l Inhalt (etwa Ø 230 mm, Höhe 260 mm, z. B. Gurken- oder Krautdose für Großverbraucher) ohne Deckel und Boden
-  Blechring (Teil eines größeren Fasses) oder Kunststoffring (z. B. aus Farbeimer, Maße etwa Ø 550 mm, Höhe 300 mm)
-  Plastikfolie
-  Schwimmer oder Lineal

Durchführung

-  Wähle im Gelände einige Standorte für die Durchführung des Versickerungsversuches auf einem Waldboden, einer Wiese und einem Acker aus.

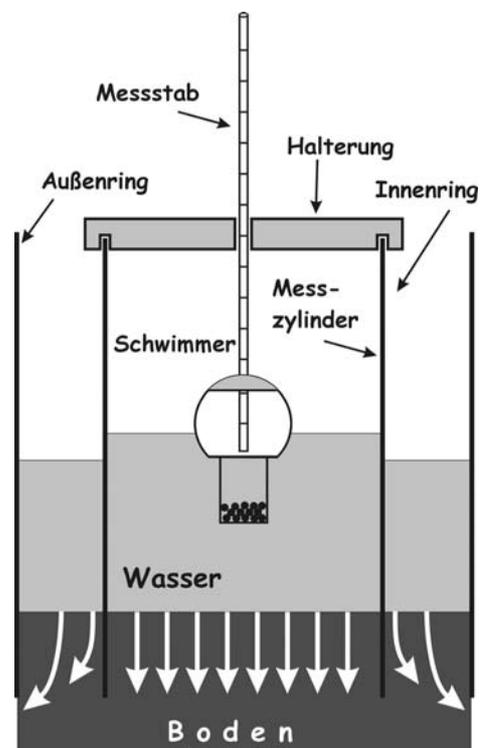


-  **Diskutiere mit deinen Mitschülern das zu erwartende Ergebnis für die jeweiligen Standorte.**

-  Baue das Doppelringssystem wie in der Abbildung gezeigt am Untersuchungsstandort auf. Schläge es vorsichtig etwa 8–10 cm ein (Holzbrett als Schlagschutz verwenden!). Die Dose muss soweit in den Boden eingeschlagen werden, dass kein Wasser seitlich auslaufen kann.

-  Setze die Messeinrichtung ein oder befestige ein 30 cm-Lineal auf der Innenseite des inneren Ringes.

-  Lege die Plastikfolie in das Doppelringssystem (Innen- und Außenring) und fülle die Ringe bis etwa 5 cm unter den oberen Rand mit Wasser.



Durchführung (Fortsetzung)

 Entferne die Folien (Beginn der Messzeit) und lies zunächst in kurzen Zeitabständen (ca. 5 – 10 Sekunden) den sinkenden Wasserstand im inneren Ring ab.



 Notiere ihn in der Tabelle. Wenn sich eine gleichmäßige Versickerung (= Infiltration) eingestellt hat, genügen auch Abstände von 30 Sekunden.

 Beende die Messung, wenn entweder kein Wasser mehr in den Boden einsickert oder sich eine konstante Versickerungsrate eingestellt hat. Sollte dies noch nicht eingetreten sein, wenn das gesamte Wasser versickert ist, gieße vorsichtig neues Wasser in den Innenring. Notiere jedoch den Zeitpunkt des Nachschüttens. **!** Achte auch darauf, dass im Außenring immer Wasser ist.



Warum wird sich beim Nachgießen von Wasser in den Innenring die Infiltrationsrate möglicherweise erhöhen?



Wiederhole den Versuch an mehreren Standorten mit unterschiedlicher Nutzung (Wald, Wiese, Acker) und unterschiedlichen Böden (Sandboden, Tonboden).



Bestimme die Bodenart ggf. mit Hilfe der Fingerprobe. Die Bodenprobe gewinnst du mit einem Bohrstock oder Spaten.

Stelle den Verlauf der Versickerung in Form eines Liniendiagramms dar. Berechne dazu das Wasservolumen, das pro Zeiteinheit in den Boden versickert. Wie ist die Maßeinheit? Trage das Wasservolumen auf der y-Achse und die vergangene Zeit auf der x-Achse ein. Finde eine sinnvolle Diagrammüberschrift und beschrifte die Achsen.



Formuliere mit kurzen Worten deine Versuchsergebnisse.



Erkläre, warum die Versickerungsrate zu Beginn höher ist als im weiteren Verlauf der Messung.



Vergleiche die verschiedenen Nutzungsarten der einzelnen Standorte beziehungsweise die verschiedenen Bodenarten hinsichtlich ihrer Fähigkeit Wasser aufzunehmen.



Welche Bodeneigenschaften steuern die Versickerungsfähigkeit an einem Standort?



Welche Böden sind an der Entstehung von Hochwasserereignissen besonders stark beteiligt?

So könnte dein Messprotokoll aussehen:

Standort: _____

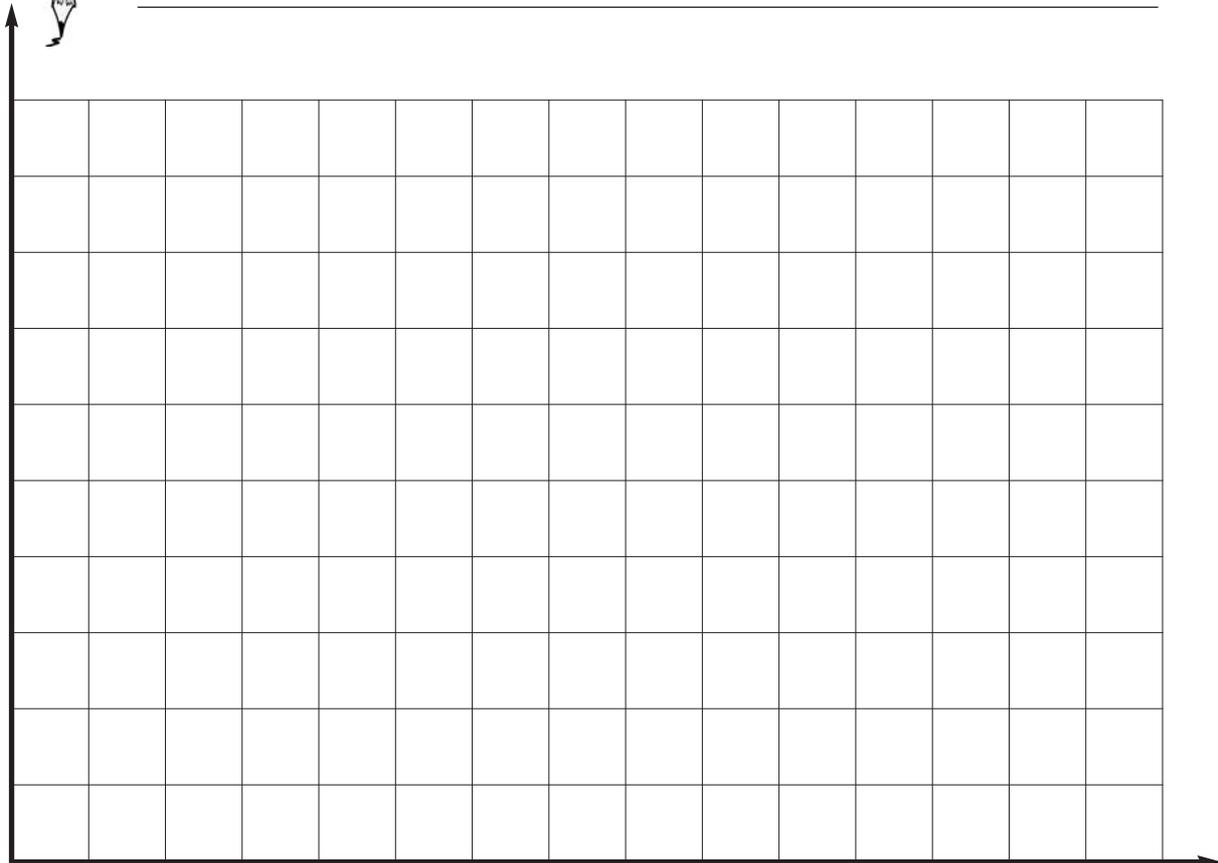
Bodenart: _____

Nutzung: _____

Messung



Zeit [s]	10	20	30	40	50	60	120	180	240	300	360	
Höhe [mm]												
Änderung [mm]												
Versickertes Wasservolumen []												



D8 Trinkwasserversorgung

CD | Arbeitsblattvorlage.

Hintergrund

Der durchschnittliche Wasserbedarf eines Menschen liegt bei 3 bis 5 Litern pro Tag. Einen Teil davon nehmen wir über die Nahrung, den größten Teil jedoch mit dem Trinkwasser auf.

Der tägliche Verbrauch jedes Einzelnen an Trinkwasser liegt allerdings weit höher. In deutschen Haushalten werden derzeit pro Person 129 Liter täglich verbraucht. Diese entfallen auf:

• Kochen und Trinken	3 %
• Körperpflege	36 %
• Toilettenspülung	32 %
• Reinigung	3 %
• Geschirr spülen	6 %
• Wäsche waschen	14 %
• Garten gießen	4 %
• Sonstiges	2 %.

Weltweit wird etwa 70 % des genutzten Wassers in der Landwirtschaft eingesetzt, die Industrie nutzt 20 %, der Verbrauch im Haushalt beträgt 10 %. Diese Werte schwanken regional sehr stark, wobei in Deutschland lediglich 3 % landwirtschaftlich genutzt werden. 16 % der Wassernutzung entfallen auf die Industrie, 69 % auf die Kühlung von Wärmekraftwerken und nur 12 % dienen der privaten Versorgung.

Trinkwasser wird über Brunnenbohrungen dem Grundwasser oder durch Quelfassungen den natürlichen Wasseraustritten entnommen. Angebot und Wasserqualität hängen dabei von der Beschaffenheit des Bodens und des geologischen Untergrundes ab. Besonders in städtischen Regionen spielt die Versorgung über die Oberflächengewässer bzw. deren Uferfiltrat eine große Rolle (► Sachinformation). Die Versickerung von verschmutztem Wasser ist eine gezielte Maßnahme im Reinigungsprozess.

Arbeitsaufträge an die Schüler

1. Verfolge den Weg des Trinkwassers und des Abwassers und ergänze die fehlenden Ausdrücke („Abwasser“, „Belüftung“, „Chlorung“, „Filterung“, „Brunnen“, „Sammelbrunnen“, „Sickerbecken“, „Trinkwasseraufbereitung“, „Trinkwassersperre“, „Uferfiltrat“, „Wasserturm“, „Flusswasserentnahme“).
2. Welche Trinkwasserreservoirs sind dargestellt?
3. Auf welchen Wegabschnitten kommt dem Boden eine besondere Funktion für die Trinkwasserversorgung und die Reinigung des Wassers zu?

Lösungen der Arbeitsaufträge

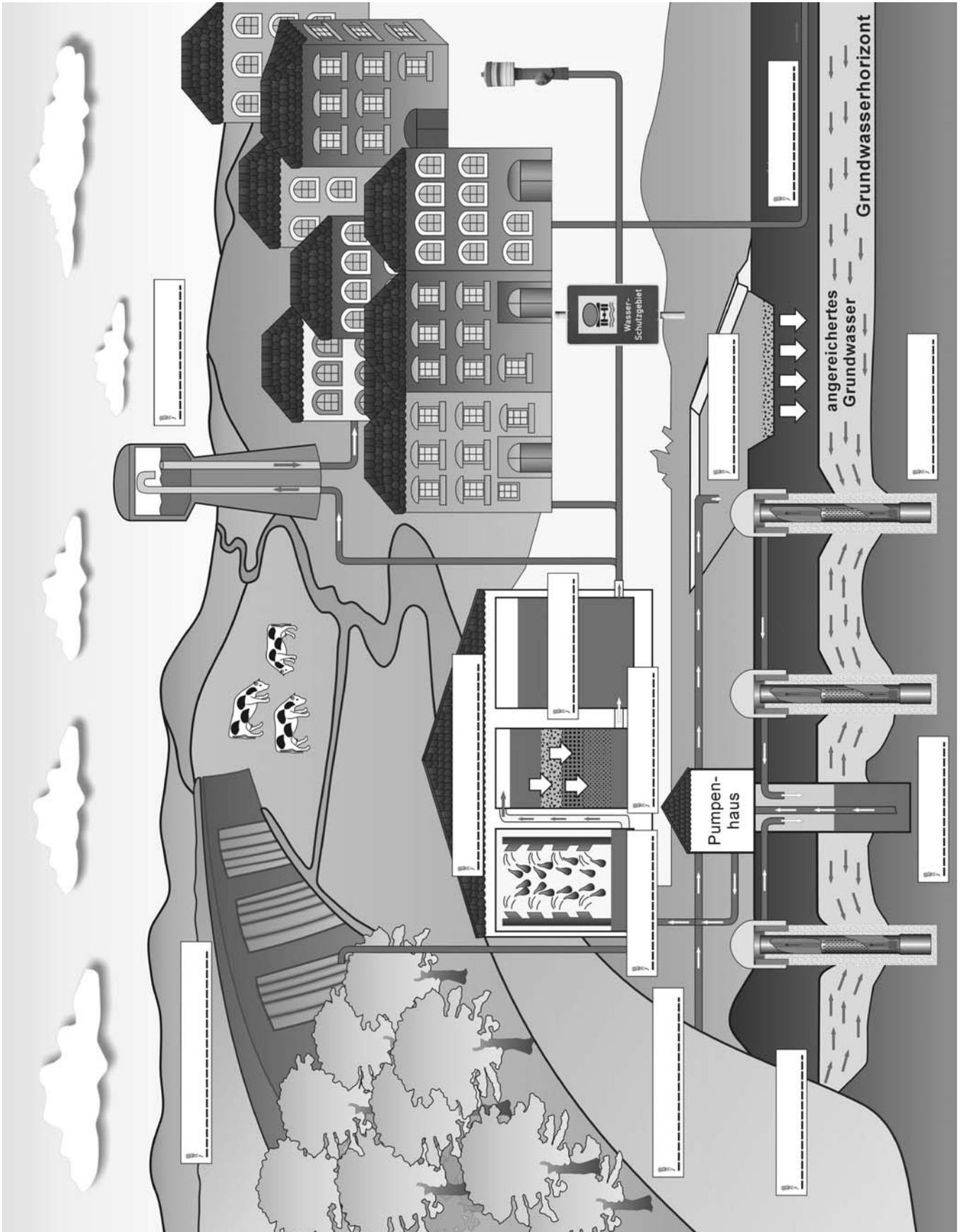
Zu 1. Lösung ► Modul D Wasser, S.212 ↗ D16.

Zu 2. Trinkwasserreservoirs: Trinkwassertalsperre, Grundwasser, Flusswasser, Wasserturm

Zu 3. a. Filterung des Uferfiltrats; b. Reinigung des Grundwassers; c. Reinigung des Regenwassers beim Durchsickern in das Grundwasser; d. Filterung beim Versickern im Sickerbecken.

(Quelle der Kopiervorlage ↗ D16, ► Modul D Wasser)

Unser Trinkwasser



Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)
Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)