



Begleitmaterialeien für den Schulunterricht

Klimafreundlicher Garten –
Bewässerung von Hochbeeten



Baden-Württemberg

Impressum

Herausgeber

Gewinnsparverein der Volksbanken und Raiffeisenbanken in Baden-Württemberg e. V.
Heilbronner Straße 41, 70191 Stuttgart
Telefon: 0711 22213-2774
E-Mail: Anita.Bartolcic@vr-gewinnsparen.de

Baden-Württembergischer Genossenschaftsverband e. V.
Heilbronner Straße 41, 70191 Stuttgart

Projektpartner

Pädagogische Hochschule Heidelberg
Keplerstraße 87, 69120 Heidelberg
Telefon: 06221 477-0
M2–M8: Prof. Dr. Lissy Jäkel
M9: Valentin Kleinpeter

Pädagogische Hochschule Karlsruhe
Bismarckstraße 10, 76133 Karlsruhe
Telefon: 0721 9254731
M1: Prof. Dr. Dorothee Benkowitz
Julia Syring

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport
Baden-Württemberg
Thouretstraße 6, 70173 Stuttgart
Telefon: 0711 279-0

Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
Kernerplatz 10, 70182 Stuttgart
Telefon: 0711 126-0

Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG)
Diebsweg 2, 69123 Heidelberg
Telefon: 06221 7484-0

Text: Ute Ruttensperger

Gestaltung

ÖkoMedia GmbH, Stuttgart, oekomedia.com

Stand

© 09/2025

Druck

CO₂-kompensiert gedruckt auf 100 Prozent Recycling-Papier, das mit dem „Blauen Engel“ zertifiziert ist.

Bildnachweis

Seiten 1: © ÖkoMedia GmbH / KI generiert

Seite 7: © SDGs, United Nations

Seiten 12, 14: © Goldschmidt

Seiten 13, 15, 17, 25: © Julia Syring

Seiten 23, 27: © IS

Seite 25: © Andrea von Neuhoff genannt vor der Lay

Seiten 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 55, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 58, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 86, 88:
© Lissy Jäkel

Seite 36 (Illustration): © ÖkoMedia GmbH / L. Jäkel

Seite 39: © Quelle: Dawson, C. J.; Hilton, J.; (2011). Fertiliser Availability in a Recource limited world: Production and Recycling of Nitrogen and Phosphorus. Food Policy.

Seite 41 (Illustration): © ÖkoMedia GmbH

(nach L. Jäkel) unter Verwendung eines Motivs von stock.adobe.com © luismolinero

Seite 53, 82, 87: © Ökomedia GmbH

Seite 54: © stock.adobe.com © luismolinero

Seite 56, 58, 59, 85 (Illustration): © ÖkoMedia GmbH / L. Jäkel

Seite 75 (chemische Formeln): © Wikipedia
(oben Emeldir, unten Fanziska SH)

Seiten 89, 90, 91, 92: © Valentin Kleinpeter

Gefördert
durch



Baden-Württemberg
Ministerium für Ernährung,
Ländlichen Raum und Verbraucherschutz



Schulgarten auf der BUGA 2023 in Mannheim mit bewässerten Hochbeeten

Begleitmaterialien für den Schulunterricht

Bewässerung von Hochbeeten

Begleitende Informationen für Lehrpersonen
zur Bewässerung von Hochbeeten
als Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung

von

Dorothee Benkowitz,
Lissy Jäkel,
Valentin Kleinpeter

Inhaltsverzeichnis

6 M1 Klimagarten

- 9 M1 | A1 Was bedeutet Kreislaufwirtschaft?
- 10 M1 | A2 Brennnesseljauche – Anleitung für einen natürlichen Pflanzendünger
- 12 M1 | A3 Aus Grün macht Schwarz – Herstellung von Pflanzenkohle
- 14 M1 | A4 Aus „Abfall“ wird Terra Preta
- 15 M1 | A5 Wirksamkeit von Terra Preta
- 17 M1 | A6 Können Pflanzen das Klima beeinflussen?
- 19 M1 | A7 Kartografen gesucht! Zeichne deinen Schulgarten.
- 20 M1 | A8 Klimafitter Schulgarten
- 23 M1 | A9 Wie viel Regen fällt auf euer Gemüsebeet?
- 25 M1 | A10 Olla – Bauanleitung für eine Bewässerungshilfe
- 26 M1 | A11 Protokoll – Wie funktioniert die Olla?
- 27 M1 | A12 Pflanzen-Reporter im Einsatz

28 M2 Wasserhaltefähigkeit des Bodens

- 31 M2 | A1 Enthält der Boden Torf? Wir mikroskopieren Erde
- 33 M2 | A2 Bodentypen Teil 1
- 34 M2 | A3 Bodentypen Teil 2
- 35 Versuche zur Wasserkapazität und zum Bodenluftvolumen des Bodens

38 M3 Mineralische und organische Düngung

- 41 M3 | A1 Stickstoffkreislauf und Nitrat
- 42 M3 | A2 Nitratgehalt im Gemüse
- 44 M3 | A4 Stickstoffverbindungen im Meerwasser
- 45 M3 | A5 Nitratgehalt in grünem Gemüse
- 46 M3 | A6 Düngeempfehlungen
- 48 M3 | A7 Nitratgehalt begrenzen
- 49 M3 | A8 Nachweis von Nitrat
- 50 Lösungen Modul 3
- 51 Lösungen Modul 3
- 52 Lösungen Modul 3

53 M4 Pflanzerde selbst mischen

- 55 M4 | A1 Humus
- 58 M4 | A2 Kompost
- 59 M4 | A3 Dünger – wichtig für das Pflanzenwachstum
- 60 Lösungen Modul 4

61 M5 Der pH-Wert des Bodens und des Gießwassers

- 64 M5 | A1 Versuch zur Bodenreaktion (pH-Wert)
- 65 M5 | A2 pH-Werte des Bodens
- 67 M5 | A3 Carbonatgehalt (Kalkgehalt) des Bodens und des Gießwassers
- 68 M5 | A4 pH-Werte im Alltag
- 70 Lösungen Modul 5

71 M6 Was haben Radieschen mit Vulkanen zu tun? Es geht um Schwefel!

- 75 M6 | A1 Ganz schön scharf!
- 76 Lösungen Modul 6

**77 M7 Wie regulieren die Pflanzen ihren Wassergehalt?
Es geht um Stomata!**

- 80 M7 | A1 Fenster im Blatt – oben oder unten
- 82 M7 | A2 Ionenaustauscher im Moor: Torfmoos und fleischfressende Pflanzen
- 84 M7 | A3 Den Lebensraum Moor schützen!

85 M8 Ionentauscher Torfmoos

- 86 M8 | A1 Modellexperiment für Torfmoos als Ionenaustauscher
- 87 Lösungen Modul 8

**88 M9 Welcher Indikator eignet sich für den pH-Wert von Wasser,
Rotkohlsaft, Bromthymolblau oder Universalindikator?**

- 90 M9 | A1 Ist CO₂ tatsächlich für die Versäuerung der Meere verantwortlich?
- 91 M9 | A2 Welchen pH-Wert hat mein Leitungswasser und was filtert eigentlich ein Wasserfilter?

Klimagarten

M1

Modul



Bezug zum Bildungsplan

Ein klimafreundlicher Schulgarten bietet Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, ökologische, ökonomische und soziale Zusammenhänge handlungsorientiert und praxisnah zu erleben. Als lebendiger Lernort verbindet er Fachwissen mit konkretem Handeln. Durch die aktive Mitgestaltung erwerben die Lernenden nicht nur naturwissenschaftliche Kompetenzen, sondern entwickeln auch ein tieferes Verständnis für nachhaltiges Wirtschaften, Umweltbewusstsein Verantwortungsübernahme und gesellschaftliche Mitgestaltung.

Leitperspektiven

Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

Die Leitfrage der BNE lautet, wie wir heute handeln müssen, damit Menschen an anderen Orten auf der Welt und künftige Generationen gut auf der Erde zusammen leben können. Der Schulgarten bietet hier einen idealen Zugang: Schülerinnen und Schüler erleben, wie natürliche Kreisläufe funktionieren (z. B. Kompostierung in **M1-A1**) und entdecken, wie durch nachhaltiges Handeln sowohl Umweltressourcen geschont als auch die biologische Vielfalt bewahrt wird. Mit der Herstellung von Terra Preta (**M1-A4**) setzen sich die Lernenden aktiv mit nachhaltiger Bodenverbesserung auseinander und erkennen den Wert natürlicher Stoffkreisläufe. Beim Garten-Check (M8) entwickeln sie zudem eigene Ideen, wie der Schulgarten klimaresilienter gestaltet werden kann. Damit werden sowohl reflektierende als auch handlungsorientierte Kompetenzen im Sinne der BNE gestärkt.

Verbraucherbildung (VB)

Verbraucherbildung im Schulgarten bedeutet, Verantwortung für das eigene Handeln zu übernehmen, z. B. beim Einsatz von Materialien oder beim Umgang mit Nahrungsmitteln. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass viele vermeintliche „Abfälle“, wie Pflanzenreste oder Küchenabfälle, wiederverwertet werden können (M2, M3 oder M4). Auch bei der Auswahl der Materialien im Garten wird ein bewusster Umgang mit Ressourcen thematisiert: alte Tontöpfe oder gebrauchte Gläser (z. B. für M9 Regenmesser oder M10 Olla) werden kreativ upgecycelt. Dadurch werden bewusstes Konsumverhalten und ein nachhaltiger Lebensstil thematisiert und im eigenen Handeln reflektiert.

Medienbildung (MB)

Auch Medienbildung kann im Schulgarten auf innovative Weise integriert werden. Beim Material „Pflanzen-Reporter im Einsatz“ (**M1-A12**) beobachten die Lernenden ihre gewählte Pflanze über einen längeren Zeitraum und dokumentieren ihre Beobachtungen digital wie beispielsweise als Blogeintrag, Instagram-Beitrag, Fototagebuch oder Poster. Sie lernen dabei, digitale Medien gezielt zur Informationsverarbeitung, Präsentation und Kommunikation zu nutzen. Ergänzend können Messdaten (**M1-A9**) digital erfasst und z. B. mit Tabellenkalkulation oder Diagrammen visualisiert werden. Dadurch erwerben die Schülerinnen und Schüler sowohl praktische Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Medien als auch die Fähigkeit, diese kritisch zu hinterfragen.



Klasse 5/6

Ökologie (BNT): Die Schülerinnen und Schüler können mehrere typische Organismen eines einheimischen Lebensraums mit einfachen Bestimmungshilfen im Freiland klassifizieren (**M1-A12**) und erschließen sich erste ökologische Zusammenhänge.

Materialien trennen – Umwelt schützen (BNT): Zudem erfahren die Lernenden durch Recyclingprozesse in der Natur (**Kompostieren pflanzlicher Reste in M1-A1**) wie Stoffkreisläufe funktionieren und Ressourcen geschont werden können.

Klasse 7/8/9

Ökologie (Biologie): Die Schülerinnen und Schüler können konkrete Vorschläge für nachhaltiges Handeln an globalen oder lokalen Beispielen darstellen und auf ihre Umsetzungsmöglichkeit hin untersuchen (**M1-A8**). Außerdem befassen sich die Lernenden mit den abiotischen Faktoren und den Erhalt der Biodiversität in einem schulnahen Ökosystem (**M1-A5, M1-A6** und **M1-A12**).

Die Inhalte lassen sich fächerübergreifend, z.B. mit Geografie und Mathematik verknüpfen.

Teilsystem Wetter und Klima & Teilsystem Wirtschaft (Geografie): In der Geografie lassen sich zentrale Fragestellungen rund um Klimawandel, Ressourcenknappheit und Landnutzung aufgreifen. So wird z. B. beim **Transpirationsversuch (M1-A6)** die Bedeutung von der Vegetation zur Temperaturreduktion erfahrbar. Mithilfe der **Checkliste und der Entwicklung eines Maßnahmenplans (M1-A8)** reflektieren die Schülerinnen und Schüler konkrete Handlungssätze für ihre eigene Umgebung und diskutieren dabei die drei Säulen der Nachhaltigkeit. Gleichzeitig fördert das **Kartografieren des Schulgartens (M1-A7)** die grundlegenden Kompetenzen im Bereich der Raumorientierung und des Umgangs mit Kartenmaßstäben.

Leitidee Messen & Leitidee Daten und Zufall (Mathematik): Auch im Fach Mathematik lassen sich sinnvolle Bezüge herstellen. **Beim Vermessen des Schulgartens (M1-A7)** lernen die Schülerinnen und Schüler den Umgang mit Längenmaßen und Maßstäben. Dadurch werden geometrische und rechnerische Fähigkeiten gefördert. Mit dem **Regenmesser (M1-A9)** erfassen die Lernenden reale Umweltdaten, die anschließend in Tabellen eingetragen und als Diagramme visualisiert werden.

Als Lernumfeld mit direktem Alltagsbezug stärkt der Schulgarten das Verständnis für nachhaltiges Handeln, regt zur Reflexion des eigenen Konsumverhaltens an und fördert Kompetenzen im Sinne von BNE und Verbraucherbildung.

Was bedeutet Kreislaufwirtschaft?

In der Kreislaufwirtschaft geht es darum, Rohstoffe so lange wie möglich zu nutzen, um die Umwelt zu schonen. Statt Pflanzenreste und Gemüsereste wegzuwerfen, werden sie kompostiert. Dadurch entsteht fruchtbarer Humus, auf dem neue Pflanzen wachsen können. So bleibt alles im natürlichen Kreislauf.

Aufgabe

Beschreibt einen Kreislauf, der zeigt, wie aus alten Pflanzenresten im Schulgarten Humus wird. Ins Beet eingebracht, können Pflanzen wachsen, aus deren Resten wieder neuer Pflanzenschnitt entsteht.



Brennnesseljauche – Anleitung für einen natürlichen Pflanzendünger

Brennnesseljauche ist ein natürlicher Dünger, der das Wachstum von Pflanzen fördert. Die Herstellung gelingt mit wenigen Schritten und einfachen Materialien. Am besten eignen sich junge Brennnesseltriebe, die im Mai vor der Blüte bodennah abgeschnitten werden.

→ **Tipp:** Falls im Schulgarten keine Brennnesseln wachsen, könnt ihr auch andere Pflanzenreste verwenden. Gut geeignet sind zum Beispiel Wurzeln oder verwelkte Pflanzenteile. Sogar Pflanzenteile, die von Krankheiten befallen sind, dürfen mit in die Jauche, da durch den Gärprozess schädliche Erreger abgetötet werden.

Material

Gießkanne 10 Liter, junge Brennnesseltriebe, Gartenhandschuhe, Gartenschere, Stock, Wasser (möglichst Regenwasser), luftdurchlässige Abdeckung (z. B. ein altes Tuch), evtl. Küchenwaage zum Abwiegen der Brennnesseln

Anleitung

1. Schneidet die Brennnesseln mit der Gartenschere in etwa zehn Zentimeter große Stücke. Zieht dazu Handschuhe an!
2. Gebt die zerkleinerten Brennnesseln in eine Gießkanne, die 10 Liter Wasser fassen kann.
3. Bedeckt die Pflanzenteile mit Wasser.
→ **Tipp:** Verwendet etwa 1 kg Brennnesseln auf 10 Liter Wasser für ein gutes Mischverhältnis. Wiegt die Menge auf der Küchenwaage ab.
4. Deckt die Kanne mit einem luftdurchlässigen Tuch ab, damit keine Insekten hineinfallen.
5. Stellt die Gießkanne an einen schattigen Ort im Schulgarten.
6. Hinweis: Jauche kann unangenehm riechen! Stellt die Gießkanne an einen Ort, wo der Geruch nicht stört.
7. Röhrt die Mischung einmal täglich um.

Beobachtungsauftrag

Beobachtet die Brennnesseljauche genau. Notiert, was nach etwa drei Tagen passiert.

Nach ein bis zwei Wochen ist die Jauche einsatzbereit. Ihr erkennt das daran, dass sich die Pflanzenteile zersetzt haben, die Flüssigkeit eine dunkle Farbe hat und keine Bläschen mehr aufsteigen. Sollten noch feste Bestandteile in der fertigen Jauche sein, könnt ihr diese heraussieben und entweder auf den Kompost gegeben oder als Mulchschicht auf dem Beet verteilen.

Lagert die fertige Jauche an einem kühlen, dunklen Ort. Dann bleibt sie länger haltbar.

Anwendung

Zum Düngen müsst ihr die Jauche mit Wasser verdünnen. Das Mischverhältnis beträgt 1 Teil Jauche auf 10 Teile Wasser, für Jungpflanzen sogar ein Mischverhältnis von 1:20.

Gießt diesen Dünger alle ein bis zwei Wochen direkt in den Wurzelbereich der Pflanzen.

Die Jauche eignet sich besonders gut für Nutzpflanzen, die z.B. viel Stickstoff zum Wachsen benötigen, wie zum Beispiel Paprika, Tomaten, Gurken, Kartoffeln, Kürbis und Kohl.

Aus Grün macht Schwarz – Herstellung von Pflanzenkohle

Besonders im Frühjahr, wenn ihr die Hecken oder Bäume im Schulgarten schneidet, fällt viel Ast- und Gehölzschnitt an. Daraus kann wertvolle Pflanzenkohle hergestellt werden.

Material

trockenes Holz (z.B. Äste, Zweige), Spaten, Wasser (idealerweise Regenwasser), Feuerzeug, Eimer

Anleitung

1. Nehmt einen Spaten und hebt ein kegelförmiges Loch aus, das sog. „Erd-Kon-Tiki“. Das Loch soll in etwa 100 cm im Durchmesser betragen und an der tiefsten Stelle ca. 40 cm ins Erdreich gegraben werden (Abbildung 1).
2. Legt zuerst das Anzündmaterial in die Kuhle (Späne, dünne Äste, Harz).
3. Entzündet das geschichtete Zündmaterial und fächelt dem Feuer etwas Luft zu, damit es nicht erstickt.



Abbildung 1: Erd-Kon-Tiki mit Zündmaterial

4. Wenn die Flammen groß genug und stabil sind, schichtet das gröbere Brennmaterial (dickere Äste) im Erd-Kon-Tiki auf. Lasst alles verbrennen (Abbildung 2).
5. Wartet, bis die Flammen erloschen sind und nur noch die Glut übrig ist. Schichtet dann neues Material auf und wiederholt diesen Vorgang, bis das ganze Brennmaterial verkohlt oder das Erd-Kon-Tiki voll ist.
6. Löscht jetzt die Glut mit ausreichend Wasser und lasst die abgelöschte Pflanzenkohle für einen Tag zum Abkühlen stehen.
7. Füllt die Kohle in einen Eimer und zerkleinert sie für die weitere Verwendung.



Abbildung 2:
Herstellungs-
prozess von der
Pflanzenkohle

Arbeitsauftrag

Was passiert beim Verkohlen? Macht euch den Vorgang deutlich. Dafür benötigt ihr ein Streichholz und eine Streichholzschachtel. Entzündet das Streichholz, lasst es kurz brennen und pustet es aus. Was beobachtet ihr? Zeichnet das abgebrannte Streichholz. Diskutiert mit euer Gruppe die Veränderungen.

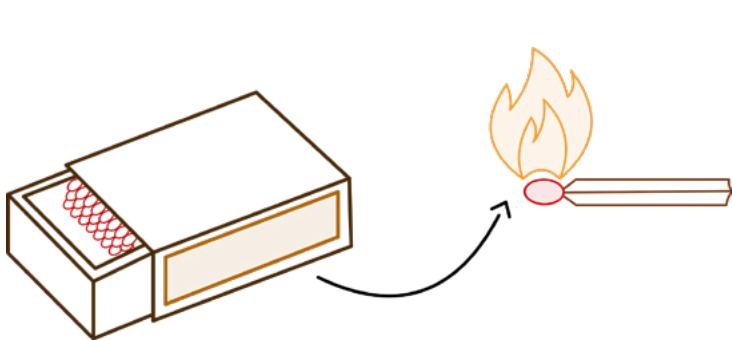
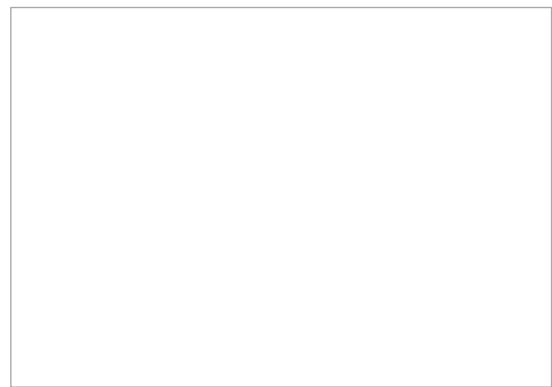


Abbildung 3: Entzündetes Streichholz



Aus „Abfall“ wird Terra Preta

Aus Brennnesseljauche, Kompost und Pflanzenkohle lässt sich eine besonders fruchtbare Erde herstellen – die sogenannte Terra Preta.

Material

Brennnesseljauche, Pflanzenkohle, Kompost, organisches Material, Kiste, dicke Pappe

Anleitung

1. Kleidet die Kiste mit Pappe aus.
2. Schichtet die Pflanzenkohle mit dem Kompost und frischem organischen Material wie z.B. Gemüsereste und Pflanzenschnitt in die Kiste.

3. Gebt etwas Brennnesseljauche dazu und vermengt die Masse.
4. Lasst die Kiste mehrere Monate an einem geschützten Ort ruhen.
5. Überprüft regelmäßig die Feuchtigkeit und gießt, wenn nötig, Wasser hinzufügen.
6. Nach ca. einem halben Jahr Ruhezeit erhaltet ihr fruchtbare Schwarzerde, sogenannte Terra Preta, die ihr in eure Beete einarbeiten könnt.



Abbildung 4: Kompost wird mit der Pflanzenkohle in Kisten geschichtet, die zuvor mit Pappe ausgelegt wurden und mit etwas Jauche vermischt.

Wirksamkeit von Terra Preta

Um die Wirksamkeit der Terra Preta zu prüfen, wird die Fruchtbarkeit mit normaler Pflanzerde aus dem Schulgarten verglichen.

Material

zwei gleichgroße Tontöpfe, Terra Preta, Pflanzerde aus dem Gartenbeet, zwei Bohnensamen, Stift

Anleitung

1. Legt die Bohnensamen in ein Gefäß mit Wasser und lasst sie dort quellen.
2. Beobachtet die Keimung der Bohnen und fertigt eine Zeichnung an.
3. Füllt einen Topf mit Terra Preta und einen Topf mit normaler Pflanzerde. Beschrifft die Töpfe.
4. Setzt je eine Keimpflanze in einen Topf.
5. Stellt die Töpfe an einen hellen, regengeschützten Ort im Schulgarten und gießt sie regelmäßig.
6. Beobachtet genau das Pflanzenwachstum und führt ein Protokoll.

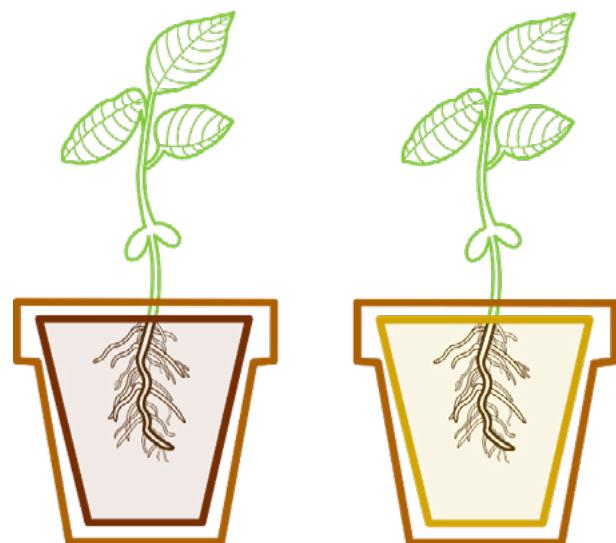


Abbildung 5: Versuchsaufbau: Terra Preta vs. Pflanzerde

Beobachtungsauftrag

Beobachtet und notiert das Wachstum der Bohnen in den jeweiligen Töpfen. Ihr könnt auch Fotos machen und ein Tagebuch, z.B. in Form einer Padlets, anlegen.

Vergleicht die Entwicklung der beiden Pflanzen miteinander. Könnt ihr Unterschiede feststellen?

Bewertet anschließend die Unterschiede und überlegt, ob der Aufwand, Terra Preta herzustellen, und Ertrag sich bei eurer Bohnenpflanze gelohnt hat.

Bohne in Terra Preta

Bohne in Pflanzerde

Tag 1

Tag 3

Tag 7

Tag 10

Tag 14

Tag 18

...

Können Pflanzen das Klima beeinflussen?

Tritt man im Sommer in den Schatten von Bäumen, wird das Klima merklich kühler. Woran liegt das?

Vermutung

Mit einem kleinen Experiment überprüfen wir unsere Vermutung.

Material

zwei große Marmeladengläser mit Deckel, zwei kleine Blumentöpfe, etwas Erde, eine kleine Pflanze (z.B. Kresse, Basilikum), Gießkanne mit Gießwasser, eine Uhr

Durchführung

1. Füllt zwei kleine Töpfe mit Erde.
2. Setzt in einen der Töpfe eine kleine Pflanze ein und gießt diese. Der andere Topf bleibt ohne Pflanze.
3. Stellt beide Töpfe auf die Innenseite der Deckel und schraubt je ein Marmeladenglas darüber, sodass zwei Mini-Gewächshäuser entstehen.
4. Stellt beide Gläser an einen sonnigen Ort.
5. Beobachtet die Veränderung in beiden Gläsern.
6. Zeichnet nach zwei Stunden beide Mini-Gewächshäuser. Was hat sich verändert?

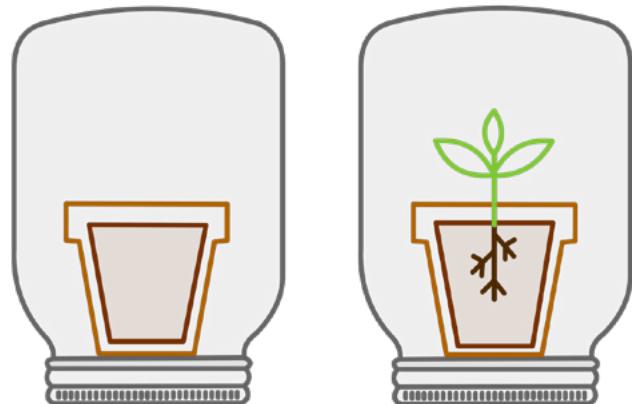
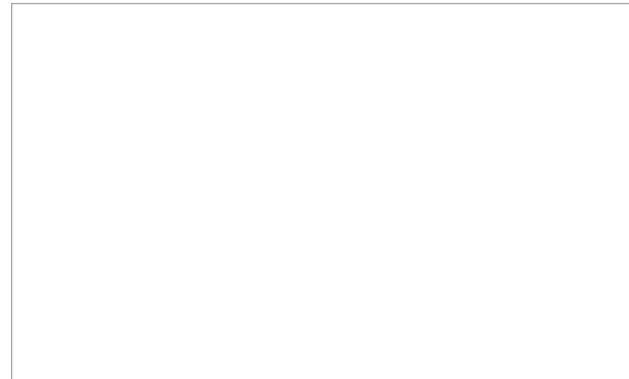
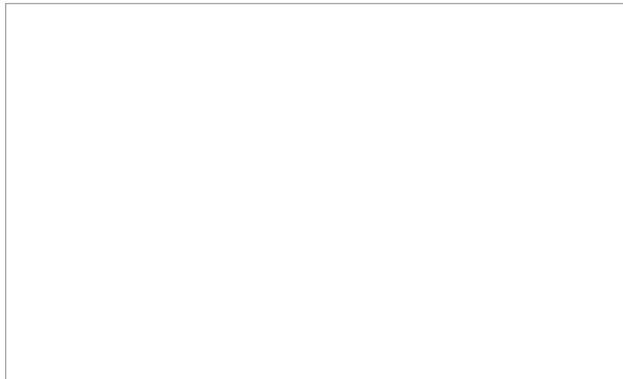


Abbildung 6: Versuchsaufbau zur Transpiration

Beobachtung

Zeit in min	Glas mit Pflanze	Glas ohne Pflanze
0		
20		
40		
60		
80		
100		
120		

Zeichnung



Auswertung

Kartografen gesucht! Zeichne deinen Schulgarten.

Um den Schulgarten klimafreundlich zu gestalten, müsst ihr ihn zuerst richtig kennenlernen.

Was ist wo? Wo sind Beete, Wege, Bäume oder der Kompost? Dafür erstellt ihr eine eigene Karte – Schritt für Schritt.

Aufgabe 1

Stellt euch vor, ihr fliegt wie ein Vogel über den Schulgarten. Zeichnet den Schulgarten so, wie ihr ihn im Kopf habt: Wo sind die Wege? Wo stehen die Hochbeete? Gibt es einen Teich oder eine Sitzbank?

Unser Schulgarten

	<p>Legende</p> <p>Maßstab</p>
--	-------------------------------

Klimafitter Schulgarten

Der große Schulgarten-Check

Arbeitsauftrag

Geht in Gruppen auf Entdeckungstour durch den Schulgarten. Schaut genau hin und findet heraus, welche klimafreundlichen Elemente schon vorhanden sind und was vielleicht noch ergänzt werden könnte.

Nutzt dafür die Checkliste. Wenn ihr ein Häkchen bei „Ja“ setzt, notiert auch, was genau ihr entdeckt habt oder wo es sich befindet.

Klimafreundliche Elemente	Ja	Nein	Was genau habt ihr entdeckt und/oder wo?
---------------------------	----	------	--

1. Gibt es einen **Kompost**?

2. Wird der Boden **gemulcht** (z. B. mit Laub)?

3. Findet ihr Sträucher oder Bäume?

4. Gibt es Elemente aus der **Permakultur** (z. B. Mischkulturen, Kräuterspiralen)?

5. Wird **Regenwasser** in einer Tonne **gesammelt**?

6. Gibt es viele **unversiegelte Flächen**?

7. Gibt es **Hochbeete** oder andere **dreidimensionale Beetformen**?

Klimafreundliche Elemente Ja Nein Was genau habt ihr entdeckt und/oder wo?

8. Werden **Naturmaterialien** verwendet (z.B. Äste als Rankhilfen)?

9. Gibt es **naturahe Bereiche** (Wildblumenwiese, Totholzecken)?

10. Gibt es **begrünte Dächer**?

11. Gibt es **vertikale Elemente** (z.B. Erdbeerturm, Wände mit Begrünung)?

12. Wird **Plastik** verwendet?

13. Gibt es **Pflanzen**, die **Trockenheit gut aushalten** (z.B. Lavendel, Thymian)?

14. Werden **gebrauchte Materialien** verwendet (z.B. Holz-Paletten als Beetbegrenzung)?

15. Gibt es **totes** Holz, z.B. abgefallene Äste etc.

Maßnahmenplan

Arbeitsauftrag 1

Schaut euch noch einmal eure Checkliste an und überlegt in eurer Kleingruppen, was in eurem Schulgarten noch fehlt oder wo es Möglichkeiten zur Verbesserung gibt. Formuliert konkrete Maßnahmen und tragt diese in die Tabelle ein. Diskutiert in der Gruppe, um eure Vorschläge besser einschätzen zu können und bewertet diese nach verschiedenen Kriterien, wie z.B. Zeit, Kosten usw.

Arbeitsauftrag 2

Zum Schluss stellt jede Gruppe ihre Vorschläge der Klasse vor. Gemeinsam entscheidet ihr, welche drei Maßnahmen am einfachsten und wirkungsvollsten sind und setzt diese anschließend gemeinsam um. Wiederholt das Vorgehen mehrmals.

→ **Tipp:** Ergänzt die Maßnahmen in euren selbsterstellten Karten.

Wie viel Regen fällt auf euer Gemüsebeet?

Gärtnerlehrling Edgar steht vor seinem Gemüsebeet und fragt sich, wie viel Regen wohl jede Woche auf die Pflanzen fällt. In seinem Ausbildungsbetrieb hat er gelernt, dass nicht jedes Gemüse gleich viel Wasser braucht. Während Zucchini viel Feuchtigkeit mögen, kommen Buschbohnen mit deutlich weniger aus. Edgar möchte deshalb nur gezielt gießen – dort wo es wirklich nötig ist. Zunächst möchte Edgar wissen, wie viel Regen wöchentlich auf seine Beete fallen. Deshalb beschließt er, einen Regenmesser zu bauen. Die Materialien dafür sucht er sich zu Hause zusammen.

Jetzt seid ihr dran: Helft Edgar einen Regenmesser zu bauen und findet heraus, wie viel Regen auf euer Beet fällt.

Material

Marmeladenglas (Höhe 10–15 cm), Lineal, wasserfester Stift

Anleitung

1. Stellt das Glas auf eine ebene Fläche.
2. Zeichnet auf der Glasaußenseite eine Skala von etwa 10 cm in 1 cm Abständen. Beginnt die Skala erst 1 cm über dem Glasboden, damit immer etwas Standwasser im Glas bleiben kann.
3. Stellt den Regenmesser in ein Beet auf. Achtet darauf, dass keine Pflanzen oder Bäume das Glas bedecken.
4. Messt täglich die Regenmenge und notiert diese in der Tabelle unten.
5. Leert das Glas am Ende der Woche und berechnet die Wochensumme des Niederschlags.



Abbildung 7: Selbstgebauter Regenmesser im Beet

Hinweis

Auch wenn die Skala am Glas in Zentimetern (cm) eingezeichnet ist, wird die Regenmenge in der Wetterbeobachtung in Millimetern (mm) angegeben. Rechnet eure Messwerte deshalb in mm um.

Tag	Woche 1 [mm]	Woche 2 [mm]	Woche 3 [mm]	Woche 4 [mm]
Montag				
Dienstag				
Mittwoch				
Donnerstag				
Freitag – Sonntag				
Wochensumme:				

Arbeitsauftrag 2

Fertigt ein Diagramm an, in dem ihr die Niederschlagsmenge eintragt.

Olla – Bauanleitung für eine Bewässerungshilfe

Eine Olla lässt sich mit wenig Aufwand leicht selbst bauen.

Material

zwei unglasierte Tontöpfe, Silikon (z.B. Aquarium Silikon), flacher Stein, Blumentopfuntersetzer

Anleitung

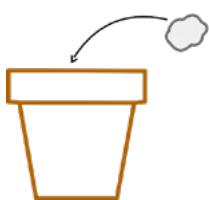


Abbildung 8:
Bodenloch abdichten



Abbildung 9:
Silikon auftragen

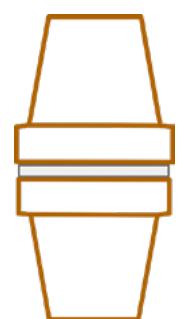


Abbildung 10:
fertige
Olla, 24 Stunden
trocknen lassen

1. Nehmt einen der beiden Töpfe und dichtet das Loch im Boden ab, indem ihr einen flachen Stein in den Topfboden hineinlegt.
2. Klebt den Stein mit Silikon am Topfboden fest, sodass dieser gut abgedichtet ist.
3. Setzt den zweiten Topf kopfüber auf den vorbereiteten Topf. Die beiden Töpfe liegen nun mit den offenen Seiten aufeinander und bilden zusammen eine Art Kugel.
4. Klebt die Topfränder sorgfältig mit Silikon zusammen, damit kein Wasser austreten kann.
5. Lasst die Olla mindestens 24 Stunden trocknen (je nach Silikonart).

6. Überlegt euch, wo die Olla platziert werden soll, und grabt an dieser Stelle ein Loch in die Erde.
7. Setzt die Olla hinein und schüttet sie so mit Erde zu, dass etwa vier Zentimeter der Olla noch aus dem Boden ragen.
8. Füllt über das obere Loch Wasser in die Olla.

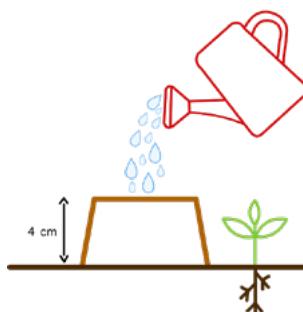


Abbildung 11: Die Olla eingrabt und mit Wasser befüllen

→ **Tipp:** Deckt das Loch mit einem Blumentopfuntersetzer oder einem flachen Stein ab, damit kein Dreck oder kleine Tiere hineinfallen.

Alternativ kann die Olla aus einem Tontopf und einem Blumentopfuntersetzer zusammengebaut werden.



Abbildung 12:
Olla im Hochbeet

Protokoll – Wie funktioniert die Olla?

Aufgabe

Überprüft über mehrere Tage, wie sich die Bodenfeuchtigkeit rund um die Olla verändert. Überlegt eine Forscherfrage dazu und schreibt eure Hypothese auf. Notiert die Beobachtungen regelmäßig in einem Protokoll.

Forscherfrage

Hypothese

Ich vermute, dass

, weil

Beobachtung

Tag	Wasserstand in der Olla (voll /halbvoll/ leer)	Erde direkt an der Olla (trocken/feucht/nass)	Erde weiter entfernt von der Olla (trocken/feucht/nass)
1			
2			
3			
4			
5			

Auswertung

(Wurde meine Hypothese bestätigt oder widerlegt?)

Pflanzen-Reporter im Einsatz

Im Schulgarten gibt es jeden Tag etwas Neues zu entdecken: Pflanzen wachsen, Knospen platzen auf und zeigen ihre bunten Blüten und überall summt und krabbelt es. Mit offenen Augen und etwas Geduld wirst du sehen, wie lebendig ein einzelner Gartenbereich sein kann. Denn die Natur hat mehr zu erzählen, als man auf den ersten Blick sieht!

Eure Aufgabe

1. Wählt eine blühende Pflanze oder einen Bereich im Schulgarten aus.
2. Gebt eurer Pflanze oder eurem Bereich einen Namen und haltet ihn schriftlich fest.
3. Nehmt euch jeden Tag etwa 10 bis 15 Minuten Zeit, um eure Pflanze zu beobachten. Achtet genau darauf, welche Insekten zu Besuch kommen (z. B. Bienen, Käfer oder Schmetterlinge).
4. Zählt und fotografiert die Insekten. Notiert, wie viele Tiere ihr von jeder Art gesehen habt.
5. Dokumentiert zu euren Beobachtungen kurze Texte und Zeichnungen.
6. Erstellt am Ende der Woche euren Pflanzenbericht.

Ihr könnt zwischen verschiedenen Präsentationsformen wählen:

- a. einen kurzen **Blogeintrag** (z. B. im Klassentagebuch oder digital)
- b. einen **Instagram-Post** mit Bildern, Hashtags und kurzer Bildunterschrift
- c. ein **Fototagebuch** mit kleinen Texten
- d. ein **Poster** für das „Grünes Newsboard“ an der Klassenzimmer-Pinnwand

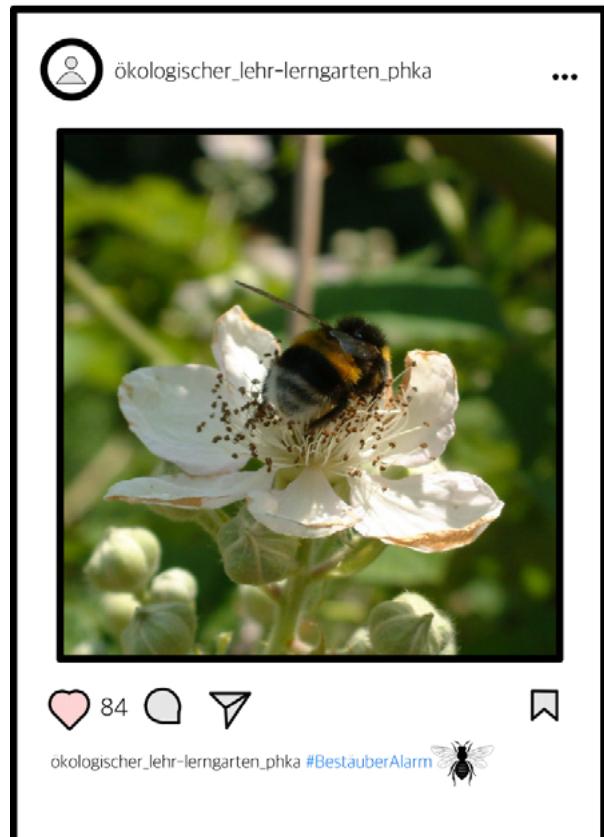


Abbildung 13: Instagram-Post

Wasserhaltefähigkeit des Bodens

M2

Modul

Sparsamer Umgang mit Gießwasser in Marokko durch kleine Erdwälle



Bezug zum Bildungsplan

Laut Bildungsplan werden die Lernenden im naturwissenschaftlichen Unterricht zu Beginn der Sekundarstufe I in die Lage versetzt, die grundlegende Bedeutung des Wassers für das Leben auf der Erde zu erkennen und Eigenschaften des Wassers in geeigneten Versuchen oder Experimenten zu überprüfen. Sie untersuchen beispielsweise wässrige Lösungen und beschreiben das Wasser als Lösungs- und Transportmittel. Zudem beschäftigen sie sich mit Trennverfahren zur Reinigung des Wassers.

Im Bildungsplan Geographie für die gymnasiale Oberstufe in der Fassung von 2022 wird darüber hinaus erwartet, dass globale Herausforderungen der Bevölkerungsentwicklung und ihre räumlichen Auswirkungen durchdacht werden. So sollen die Lernenden „die raumzeitliche Entwicklung der Weltbevölkerung darstellen“ können sowie „die Wirkungszusammenhänge dieser Entwicklung mit der Biosphäre sowie der Hydrosphäre erläutern“ können. Hier soll laut Bildungsplan ein konkretes Raumbeispiel erörtert werden.

Einleitung

Die Wasserhaltefähigkeit des Bodens ist von mehreren Faktoren abhängig. Einerseits ist dabei zu fragen, aus welchem Material der Boden entstanden ist oder das Substrat hergestellt wurde.

Andererseits ist aber auch die Verdichtung des Bodens nicht ganz unwichtig, um herauszufinden, wie viel Wasser den Pflanzen eigentlich zur Verfügung steht.

Es wäre jedoch wenig sinnvoll, mit den Lernenden im Schulgarten Parameter akademisch aufzulisten, sondern vielmehr wichtig, einen ganz eigenen Bezug zum Boden zu bekommen und den Gartenboden im Schulgarten oder Hochbeet im wahrsten Sinne des Wortes „gut zu behandeln“.

Leider werden immer noch große Mengen torfhaliger Substrate für den Hobbybedarf gehandelt, sie bestehen oft zu über 90 % aus Hochmoortorf. Wer verantwortlich gärtneriert, verzichtet auf Torferde und schützt so das Klima und die Moor-Ökosysteme. Denn schließlich ist organischer Kohlenstoff über Jahrhunderte in den sauren Hochmooren fixiert.

Auch Zierpflanzen in Töpfen sitzen häufig in Torferde. Wir beginnen diese persönliche Annäherung an den Boden daher mit dem Torfmoos. Der wissenschaftliche Gattungsname dieses Mooses lautet *Sphagnum*, es gibt innerhalb dieser Gattung mehrere Arten.

Wir beginnen die Untersuchungen zum Boden also mit dem Torfmoos (Gattung *Sphagnum*). Seine Blättchen zeigen unter dem Mikroskop einen typischen Aufbau (Abbildung 1 und 2 vom Torfmoosblättchen der Gattung *Sphagnum*). Hier ist die zelluläre Ursache der guten Wasserhaltefähigkeit erkennbar.

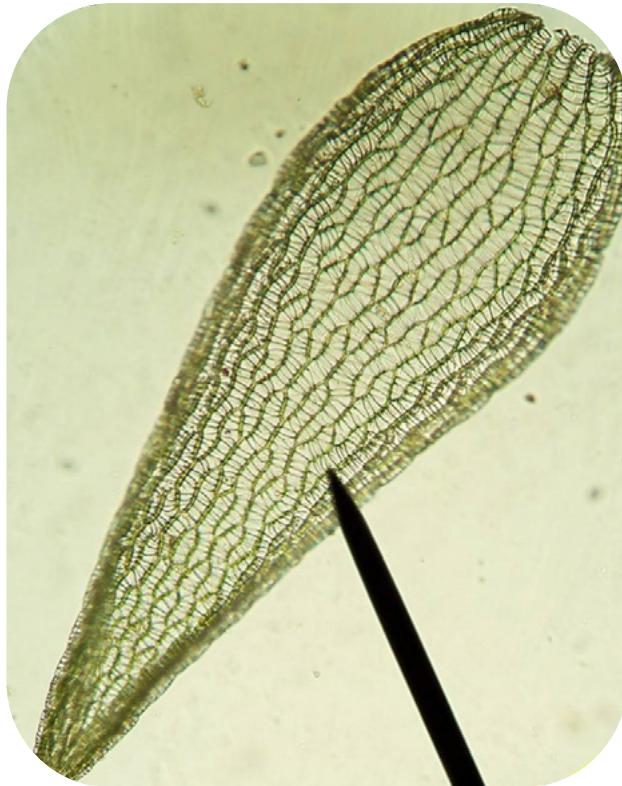


Abbildung 1: Intaktes frisches Torfmoosblättchen von *Sphagnum* mit breiten hellen Hyalozyten (Pfeil) zur Wasserspeicherung und schlanken grünen Chlorozyten zur Fotosynthese

Die Zellen zum Aufnehmen von Oberflächenwasser (Hyalozyten) sind riesengroß im Vergleich zu den Zellen, welche Fotosynthese betreiben (Chlorozyten). Wenn die Hyalozyten teilweise Luftblasen enthalten, sehen sie im mikroskopischen Bild schwarz aus. Die schlanken Chlorozyten sind die grünen schmalen Streifen zwischen den breiten Hyalozyten. Die Hyalozyten haben Löcher in der Zellwand und deutlich erkennbare Rippen, um das Zellskelett zu verstetigen. Wenn es regnet, saugen sich die Hyalozyten blitzschnell mit Wasser voll und halten es gut fest. Torf speichert Wasser sehr gut. Aber Torfmoos wächst extrem langsam.



Abbildung 3: Heimischer Sonnentau *Drosera rotundifolia* zwischen Torfmoosen *Sphagnum* im Moor

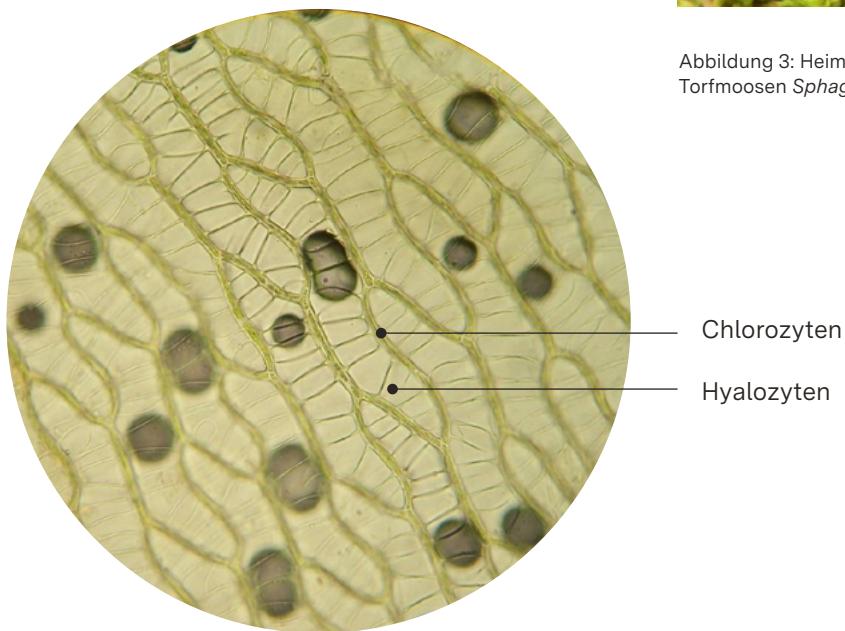


Abbildung 2: Torfmoosblättchen in 400-facher Vergrößerung

Enthält der Boden Torf? Wir mikroskopieren Erde

Praktisches Vorgehen

Eine winzige Menge Erde wird mit einer Lanzett-Nadel dem zu untersuchenden Boden entnommen und auf einen Objekträger gebracht. Ein Wassertropfen wird hinzugegeben. Grobe Teile müssen entfernt werden, damit man das Deckglas eben auflegen kann. Es wird zunächst in schwacher Vergrößerung scharf gestellt und später in starker Vergrößerung (400-fach) mikroskopiert.

Die netzartigen Zellstrukturen des Torfmooses, bestehend aus Hyalozysten und Chlorozyten, sind selbst nach Verrottung noch zu erkennen, wenn Torferde vorliegt.

Vergleiche mit Komposterde!

Vergleiche mit Sand!

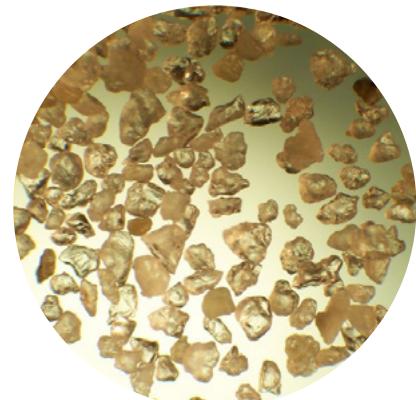
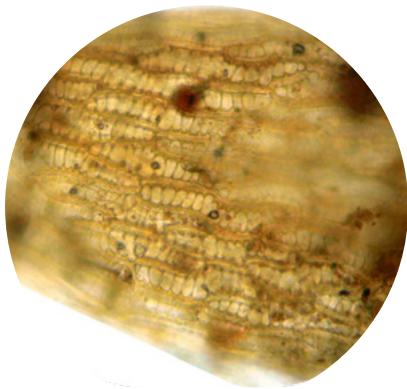


Abbildung 4: Die netzartigen Zellstrukturen des Torfmooses sind noch zu erkennen, wenn Torferde vorliegt (400-fach)

Abbildung 5: Kompost hat einen höheren Anteil an organischen Strukturen als Ackerboden (100-fach)

Abbildung 6: Feiner Sand weist zarte Kristalle aus Siliziumdioxid auf (400-fach)

Was ist überhaupt Boden?

Die Unterrichtssequenz kann statt mit Torferde alternativ beginnen mit einem gemeinsamen Nachdenken über das Wort Boden. Denn wir gehen davon aus, dass die beteiligten Schülerinnen und Schüler einer Garten-AG am Gärtnern Interesse haben.

Ist der Boden das, worauf wir stehen? Sprichwörtlich wollen wir im Alltag „die Bodenhaftung nicht verlieren“. Manche Menschen betrachten Boden aber auch als „Dreck“, wenn über die Schuhe der Fußboden verschmutzt wird.

Der Boden – die Erde oder das Erdreich – ist der oberste, belebte Teil der Erdkruste. Nach unten wird der Boden von festem oder lockerem Gestein begrenzt, nach oben meist durch die Vegetation sowie die Erdatmosphäre.

Nicht nur die Schwerkraft verbindet uns mit dem Boden unter unseren Füßen, wir können ohne Boden nicht leben. Boden ist nicht nur die lockere Verwitterungsschicht der äußeren Erdkruste, sondern ein hochkomplexes, lebendiges System. Fruchtbarer Boden ist die Grundlage für pflanzliches, tierisches und menschliches Leben. Boden bildet somit die Basis für vielfältige Nahrungsketten und –netze und ist die Lebensgrundlage für alle Lebewesen auf der Erde.

Auch für zahlreiche Bodenorganismen (Mikroorganismen, Bakterien, Pilze, Pflanzen und Tiere) ist der Boden ein spezifischer Lebensraum. Sie sorgen dafür, dass im Boden vielschichtige Umwandlungsprozesse ablaufen. Dadurch wird der Boden zunehmend mit organischen Substanzen angereichert und die Bodenfruchtbarkeit erhöht. Man sagt: In einer Handvoll humusreichen Bodens leben mehr Organismen als es Menschen auf der Erde gibt. Der Boden besteht aus ca. 47% anorganischen und ca. 3% organischen Bestandteilen. Bodenwasser und Bodenluft sind zu je 25% vorhanden.

Darüber hinaus erfüllt Boden vielfältige Funktionen, die für menschliche Gesellschaften grundlegend sind, z.B. Nahrungsmittelproduktion, Trinkwasserversorgung, Rohstofflager, natur- und kulturhistorische Archivfunktion, Naturerfahrung, Erholungsfunktionen.

*„Denn aus Erde ist alles
und zu Erde wird alles am Ende“
Xenophanes 570–470 v.u.Z.*

Die Eigenschaften des Bodens sind wichtige Kenngrößen für Gärtner:innen und Landwirt:innen. Sie sollten viele Kenntnisse über den Boden haben, damit er für die Pflanzen richtig vorbereitet und ggf. gedüngt werden kann.

Wenn man aus familiären, beruflichen oder anderen Gründen den Wohnort wechselt, fallen Gärtnerinnen und Gärtnern die Unterschiede der Böden deutlich ins Auge, neue Umgangsformen müssen erprobt werden, damit Kartoffeln oder Möhren gut wachsen. Beispielsweise unterscheidet sich der märkische Sandboden des Berliner Umlandes wesentlich von sandigem Lehm des Neckerschwemmkegels in Heidelberg oder der Schwarzerde in Mitteldeutschland in der Börde.



Abbildung 7: Werkzeuge müssen nach Gebrauch von Resten des Bodens gereinigt werden, damit sie nicht rosten

Bodentypen Teil 1

Nach Böhmig (1983) werden die wichtigsten Kulturböden folgendermaßen unterschieden (vgl. Tabelle 1):

Sandboden, Humoser Sandboden, Lehmiger Sandboden (Mittelboden), Sandiger Lehmboden (Mittelboden), Lehmboden, Moorboden

Tabelle 1: Gartenboden Typen

Bodenart	Maßnahmen zur Verbesserung
Sandboden/ Humoser Sandboden	Verrotteten Stalldung als Bodendecke verwenden
Lehmiger Sandboden/ sandiger Lehmboden	Bodenbedeckung sehr wichtig, Stalldung
Lehmboden	Pferdemist, Kalkung
Moorboden	Sand einarbeiten, regelmäßig kalken, lockern

Wichtig ist die Anmerkung von Böhmig (1983, S. 345): „Als guten Gartenboden bezeichnet man alle Bodenarten, die durch jahrzehntelange ... Bearbeitung, regelmäßige reichliche Zufuhr von Humus, Kalkungen und gute Fruchtfolge den Ursprungscharakter fast verloren haben. Er hat in der Regel nur gute Eigenschaften“, wie das Halten von Feuchtigkeit, die gute Durchlüftung oder rasche Erwärmung im Frühjahr.

Die festen Bestandteile des Bodens haben unterschiedliche Größen. Man spricht von **Korngrößen-zusammensetzung** im mineralischen Bodenmaterial. Maßgebend sind die drei Fraktionen Ton (sehr fein), Schluff (mittel) und Sand (grob). Nach dem Vorherrschen der einen oder anderen Fraktion teilt man in die entsprechenden Hauptgruppen ein. Als Lehm bezeichnet man ein Gemenge, in denen alle drei Fraktionen vorkommen.



Abbildung 8: Durch Kneten kann man die Bodeneigenschaften prüfen – Lehm lässt sich formen

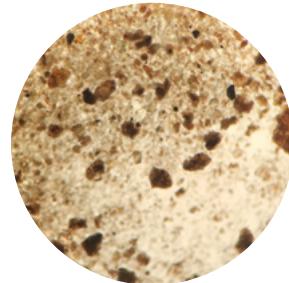


Abbildung 7:
Lössboden 100-fach
vergrößert

Bodentypen Teil 2

Die Bestimmung der Bodenart im Gelände erfolgt mittels der Fingerprobe. Dabei wird angefeuchtetes Bodenmaterial zwischen Daumen und Zeigefinger gerieben und geknetet. Körnigkeit, Bindigkeit und Formbarkeit des Materials geben mit Hilfe der entsprechenden Tabelle Auskunft über die jeweilige Bodenart (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Bestimmung der Bodenart mittels Fingerprobe

	Körnung	Formbarkeit	Rollfähigkeit	Haftung an Fingern und Handflächen
leichterer Boden: Sand, lehmiger Sand	körnig, Einzelkörner fühlbar und zum Teil sichtbar	nicht formbar	zerbröselnd	keine
mittlerer Boden Sandiger Lehm, Lehm	feinkörnig bis mehlig im trockenen Zustand, sonst schmierig	kaum oder mäßig formbar zu Würstchen	bleistiftdick ausrollbar, dann zerbröckelnd	haftet an Fingern und Schuhsohlen
schwerer Boden Ton, toniger Lehm	nicht körnig, glatt, glänzend, feucht schmierig	gut knetbar	gut ausrollbar	haftet stark

Hintergrundinformationen

Nun ist aber vor allem von Interesse, inwiefern der Boden die Pflanzen gut mit Wasser versorgen kann. Dazu sind die Poren im Boden sehr wichtig.

Das Porenvolumen ist durch die Körnung (Bodenart, siehe oben), den Humusgehalt und die Lagerungsdichte (Verdichtung) bestimmt.

- Makroporen – mittlerer Durchmesser über 50 µm
 - Grobporen – mittlerer Durchmesser > 10 µm
 - Mittelporen – mittlerer Durchmesser 10 bis 0,2 µm
 - Feinporen – mittlerer Durchmesser < 0,2 µm
- Makro- und Grobporen leiten Sickerwasser zügig ab, z.B. Sand oder ausgetrockneter toniger Boden. Daher sind sie meist mit Luft gefüllt.

Mittelporen sind für den Wasserhaushalt des Bodens und für das Pflanzenwachstum am wichtigsten. Sie halten das Wasser vergleichsweise lange im Boden. Auch bei längeren Trockenperioden gewährleisten Mittelporen eine ausreichende Wasserversorgung der Pflanzen. In ihnen kann auch das Grundwasser kapillar nach oben steigen. Dies findet man in Lössböden (vgl. Abbildung 7) oder manchen Lehmböden (Abbildung 10).

Feinporen hingegen halten das Wasser so fest, dass es die Wurzeln vieler Pflanzen nicht mehr aus dem Boden saugen können. Dies kann zu Welke-Erscheinungen der Pflanzen führen. Mit Luft füllen sich diese Poren nur nach längeren Trockenperioden (Tonböden oder Gleye-Böden).

Versuche zur Wasserkapazität und zum Bodenluftvolumen des Bodens

Unter Wasserkapazität versteht man die maximale Menge an Wasser, die der Boden entgegen der Schwerkraft zu halten vermag. Sie ist abhängig von Körnungsart und Bodengefüge, von Anteil und Art der Bodenkolloide sowie vom Humusgehalt und wird in Gewichts- oder Volumenprozenten angegeben.

Das Hohlraumsystem eines fruchtbaren Bodens muss neben Luft auch Wasser führen, denn das Bodenwasser ein wichtiger Mineralstoffträger, ein Transportmittel der Mineralstoffe in Boden und Pflanzen, ein Transportmittel gebildeter Nährstoffe in den Pflanzen, vor allem aber unentbehrlicher Ausgangsstoff der Fotosynthese und wichtig für den Zellinnendruck und das Wachstum. Ohne Wasser kein Leben, ohne Wasser ist der Boden tot.

1. Enthält mein Boden überhaupt Wasser?

Versuch unter Berücksichtigung torffreier Pflanzsubstrate – praktischer Versuch:

Eine Schaufel Boden wird in eine Plastiktüte gefüllt und ca. 30 Minuten in die Sonne gelegt. Zeigen sich Tropfen an der Tüteninnenwand, so ist noch Wasser im Boden vorhanden.



Abbildung 8: Wasser im Boden ist durch die kondensierenden Tröpfchen unter der Folie erkennbar

2. Welche Substrate halten denn nun gut das Wasser?

Will man dies als Experiment durchführen, sollten die Lernenden zu den verschiedenen Substraten/ Erden vorab Hypothesen aufstellen.

Fragen

- Welches Substrat hat das beste Wasserhaltevermögen?
- Wie lange benötigen 250 ml Wasser zum Durchsickern des Bodens?
- Wie viel Wasser wird jeweils zurückgehalten?
- Wie oft muss ich gießen und nachdüngen?

Wir testen mit handelsüblichen Blumentöpfen, die am Boden Löcher aufweisen. Ideal sind durchsichtige Töpfe für Orchideenkultur.



Abbildung 9: Alternatives Substrat zur Torferde: Kokosfasern sind nicht regional, aber besser als Torfabbau



Abbildung 10: Sandiger Lehm



Abbildung 11: Versuch der Wasserhaltefähigkeit: Die verschiedenen Erden sind in Töpfen gefüllt.



Abbildung 12: exemplarische Versuchsergebnisse zum Wasserhaltevermögen, das Volumen des Sickerwassers aus den Töpfen kann abgelesen werden am Messbecher

Versuchsablauf

Die zu untersuchenden Erden werden in die Töpfe bis zum oberen Rand so fest eingefüllt wie beim üblichen Topfen (Abbildung 11). Auch ein Gießrand wird freigehalten. Wir verwenden etwa 500 g Erde, oder kleinere Mengen, je nach Topfgröße. Alle diese gleich großen mit unterschiedlichen Erden gefüllten Töpfe werden in Messbecher gestellt. Nun können jeweils etwa 250 ml Wasser in die Töpfe „gegossen“ werden. Menge und Tempo des Wasseraustritts werden beurteilt sowie die Färbung. Werden also entweder Schwebstoffe oder Huminsäuren ausgewaschen? Natürliche Huminsäuren verursachen eine schwarze Färbung. Leider versetzen manche Anbieter torffreie Erde mit schwarzen Farb-

stoffen, die ebenfalls ausgewaschen werden. Weiterführend kann man fragen: Sind im ablaufenden Wasser gelöste Stickstoff-Verbindungen mit Teststreifen nachweisbar? (vgl. Modul Stickstoffdüngung).

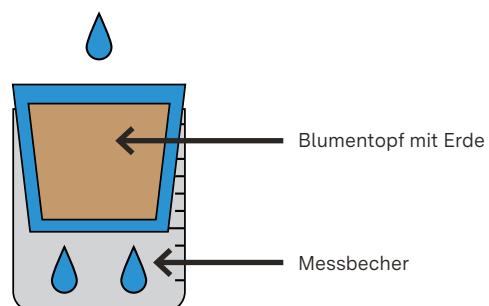


Abbildung 13: Schemazeichnung des Versuchsaufbaus zur Wasserhaltefähigkeit unterschiedlicher Böden

Erklärung

Die Böden unterscheiden sich in ihrer Fähigkeit, Wasser zu speichern. Als Maß dafür gilt die Wasserkapazität (Liter/m³). 1 m³ sind genau 1000 Liter. Je schwerer ein Boden ist, d.h. je mehr Tonanteile er enthält, umso höher liegt seine Wasserkapazität. Für das Versuchsergebnis müssen die Bodenporen der jeweiligen Bodenart betrachtet werden. Die Grob- und Makroporen können das Bodenwasser nicht kapillar festhalten: Es fließt schnell durch sie ab. Feinporen dagegen halten das Wasser durch Adhäsionskräfte so fest, dass nichts im Auffangbehälter zu sehen sein wird. Für Pflanzen ist lediglich das Wasser in den Mittelporen bedeutsam, dies findet sich je nach Probe im Auffangbehälter.

Wird zudem das Hohlraumsystem eines Bodens verdichtet oder verschlossen, dann kann er kein Wasser mehr aufnehmen. Das Niederschlagswasser fließt oberflächlich ab. Die Folgen sind Erosion, Überschwemmung und Verlust an Grundwasser.

Aus ökologischen Gründen verzichten wir auf Substrate, die aus verrottetem Hochmoortorf bestehen. Jedoch hat dies wesentliche Nachteile bei der Benutzung. Gekaufte torffreie Substrate halten das Wasser deutlich schlechter, bisweilen so gut wie gar nicht (vgl. Abbildung 12, 14). Bei torffreien Substraten läuft das Wasser wenige Sekunden nach dem Gießen bereits wieder heraus. Hier müssen die Gießmengen reduziert werden, dafür muss öfter gegossen und gedüngt werden.

Fazit

- Leichte Böden mit schlechtem Wasserhaltevermögen öfter mäßig gießen, insbesondere bei Töpfen, gelegentlich nachdüngen, da Mineralstoffe durch das durchlaufende Wasser stark ausgewaschen werden
- Schwere Böden häufig mechanisch lockern, das macht Arbeit, ggf. Sand und Humus beimischen (s. o.), um die Bodenstruktur zu verbessern



Abbildung 14: Torffreie Substrate halten das Wasser weniger gut als Torferde – das Gießen muss angepasst werden, denn Staunässe am Grund ist nicht sinnvoll.

Mineralische und organische Düngung

M3

Modul

Grünkohl im Hochbeet im Ökogarten der PH Heidelberg



Bezug zum Bildungsplan

Gemäß Vorgaben des Bildungsplanes werden die Lernenden in der Oberstufe in die Lage versetzt, die grundlegende Bedeutung des Wassers für das Leben zu erkennen. Dabei sollen die Eigenschaften des Wassers an geeigneten Experimenten überprüft werden.

Selbst die historische Perspektive spielt im Kontext von Wasser und Pflanzenbau eine große Rolle, da erst nach Einführung der mineralischen Düngung gemäß Erkenntnissen von Carl Sprengel und Justus von Liebig der Anstieg der Bevölkerung im ausgehenden 19. Jahrhundert neue Dimensionen gegenüber vorherigen Menschheitsepochen erreichte. Im Bildungsplan Geographie für die gymnasiale Oberstufe in der Fassung von 2022 wird erwartet, dass globale Herausforderungen der Bevölkerungsentwicklung und ihre räumlichen Auswirkungen durchdacht werden. So sollen die Lernenden „die raumzeitliche Entwicklung der Weltbevölkerung darstellen“ können sowie „die Wirkungszusammenhänge dieser Entwicklung mit der Biosphäre sowie der Hydrosphäre erläutern“ können. Hier soll laut Bildungsplan ein konkretes Raumbeispiel erörtert werden.

Das Thema der biochemischen Stoffströme verbindet in idealer Weise globale Fragen, Ernährungs- und Verbraucher:innenbildung, naturwissenschaftliche Grundbildung und persönliche Verantwortungsübernahme. Hier kann durch umsichtiges persönliches Verhalten die Umwelt weniger belastet werden. So werden verbal bekannte Regeln sinnvoller Ernährung (wie Regionalität und Saisonalität, Nutzung von Produkten aus integrierter oder biologischer Lebensmittelproduktion) im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit verständlich. Eine intensiv und konventionell geführte Landwirtschaft geht mit einem Rückgang der Biodiversität sowie einer Verarmung von Böden und Landschaften einher, dies zumindest legen Ergebnisse der sogenannten „Krefeldstudie“ (Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E. et al. 2017) zum drastischen Rückgang der Biomasse der Fluginsekten im Offenland sowie Beobachtungen von Expertinnen und Experten nahe.

Die globalen und theoretischen Überlegungen sollen also letztlich den Boden bereiten für sinnvolles Handeln.

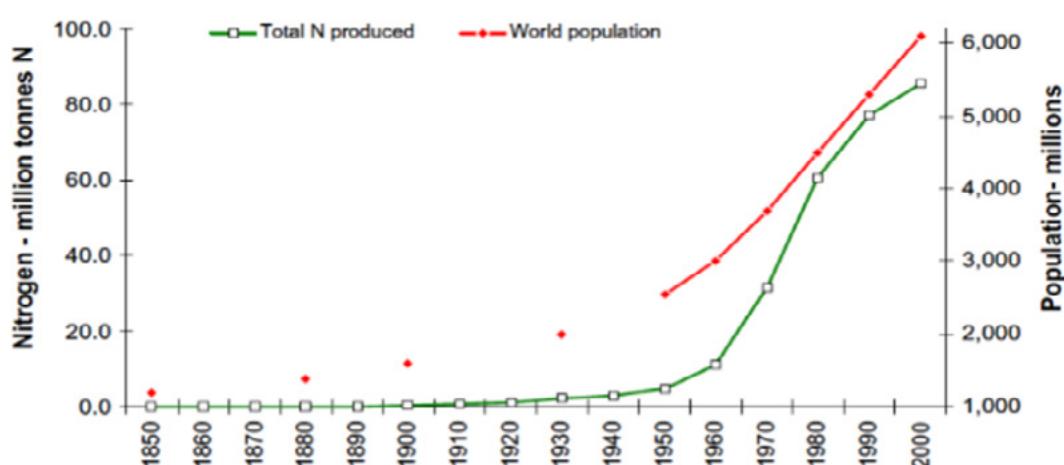


Abbildung 1: Produktion von Stickstoffdünger in Relation zur Weltbevölkerung

Quelle: Dawson, C. J.; Hilton, J.; (2011). Fertiliser Availability in a Resource limited world: Production and Recycling of Nitrogen and Phosphorus. Food Policy.

Mineralische Düngung

Mangelnde Stickstoffversorgung der Böden war einst ein ertragsbegrenzender Faktor im Pflanzenbau. Dieses Problem wurde mit leicht verfügbarem Kunstdünger vermeintlich gelöst. Theoretisch gibt es genug Nahrung für alle Menschen auf der Erde. Soziale Ungleichheiten sowie die globale Umverteilung von Stickstoffverbindungen bereiten jedoch auch gravierende Probleme.

Wissenschaftliche Leistungen von Justus von Liebig haben die organische Chemie, die Agrar- und die Ernährungswissenschaften im 19. Jahrhundert wesentlich weiterentwickelt. Liebig erkannte, dass Pflanzen wichtige anorganische Stoffe in Form von Salzen aufnehmen, und begründete durch seine Forschung die moderne Mineraldüngung und den Beginn der Agrochemie. Aus Schulbüchern ist die Minimumregel bekannt, meist visualisiert durch unterschiedlich lange Dauben eines Fasses. Das Fass lässt sich nur bis zur kürzesten Daube füllen: Die jeweils knappste Ressource schränkt das Pflanzenwachstum ein. Sie wird als Minimumfaktor bezeichnet. Das können einzelne Mineralstoffe, Licht, Wasser oder Kohlendioxid sein.



Abbildung 2: Die Dauben eines Fasses dienen als Modell der Minimumregel bei der Versorgung von Pflanzen

Liebig trägt aber auch Sichtweisen bei zum Verständnis der Natur naturwissenschaftlichen Arbeitens, meist als Nature of Science (NOS) bezeichnet. So betont er die Wichtigkeit von Denkprozessen im Kontext des Experimentierens: In seiner Schrift „Das Experiment Hilfsmittel für den Denkprozess“ S. 48, 49 von 1863 findet sich folgendes Zitat:

„Eine jede Naturscheinung, ein jeder Vorgang ist immer ein Ganzes, von dessen Theilen unsere Sinne nichts wissen. Wir nehmen das Rosten des Eisens, das Wachsen einer Pflanze wahr, wir wissen aber nichts von Luft, nichts von Sauerstoff, nichts von Boden; von allem was dabei vorgeht, wissen unsere Sinne nichts. Wir nehmen Feuer und Wasser wahr, aber was das Sieden ist, davon wissen wir nichts. ... Das Experiment ist nur Hilfsmittel für den Denkprozess, ähnlich wie die Rechnung; der Gedanke muß ihm in allen Fällen und mit Notwendigkeit vorausgehen, wenn es irgendeine Bedeutung haben soll. ...“

Justus von Liebig formuliert in wissenschaftlicher Auseinandersetzung mit Bacon, was er unter hypothetisch-deduktivem Vorgehen versteht: „Ein Experiment, dem nicht eine Theorie, d. h. eine Idee, vorhergeht, verhält sich zur Naturforschung wie das Rasseln mit einer Kinderklapper zur Musik.“

Quelle: von Liebig, Justus (1863). Über Francis Bacon von Verulam und die Methode der Naturforschung. München: Cotta

Organische Dünger

Humus ist das „Gold“ des Landwirts oder Gärtners: Bei den organischen Düngern sind die düngenden Bestandteile meist an kohlenstoffhaltige Verbindungen gebunden. Sind diese bereits wie im Kompost teilweise oxidiert, so sind die düngenden Mineralien an den Abbauprodukten (Huminsäuren u.a.) adsorbiert. Somit entfalten sie ihre Wirkung in längeren Zeitspannen. Organische Dünger werden meist langsamer ausgewaschen als mineralische Dünger. Es sind meist Abfallstoffe aus der Landwirtschaft, insbesondere der Tierhaltung. Aber auch eine Gründüngung über Leguminosen, die später in den Boden eingearbeitet werden, ist möglich.

Stickstoffkreislauf und Nitrat

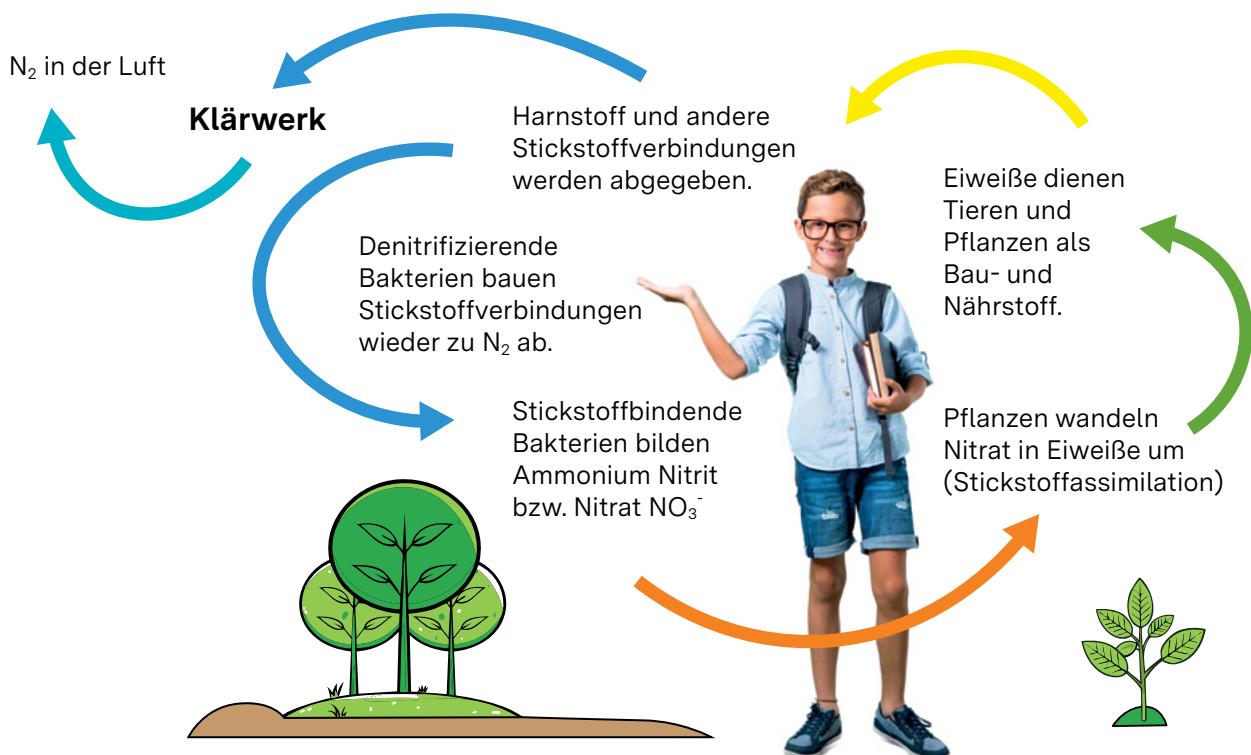


Abbildung 3: Das Schema stellt den Stickstoffkreislauf in sehr vereinfachter Form dar.

**Beantworte folgende Fragen
mithilfe der Abbildung 3 und durch
Nachschlagen im Schulbuch!**

- Welche der beteiligten Stoffe sind wasserlöslich?
Welche chemischen Prozesse erfolgen in der Pflanze?
- Überprüfe Löslichkeit von Harnstoff in Wasser!
- Welche chemischen Reaktionen erfolgen im Magen und Dünndarm?
- In welchem Organ wird Harnstoff gebildet?
- Welche Organismen im Klärwerk wandeln gebundenen Stickstoff teilweise in Luftstickstoff um?

Nitratgehalt im Gemüse

Zu hohe Nitratwerte sind ggf. gesundheitlich bedenklich, insbesondere bei Kleinkindern. Blanchieren reduziert den Nitratgehalt von Spinat. Bei Grünkohl schneidet man die Mittelrippe des Blattes heraus, sie hat einen höheren Nitratgehalt als die Blattfläche.

Deshalb sind für Gemüse Grenzwerte des Nitratgehaltes gesetzlich festgelegt.

- frischer Salat der *Lactuca sativa*-Gruppe (3000–5000 mg/kg), je nach Anbaumethode und Erntezeitraum),

- Eisbergsalat (2000–2500 mg/kg),
- frischer Spinat (3500 mg/kg),
- haltbar gemachter, tiefgefrorener Spinat (2000 mg/kg),
- Rucola (6000–7000 mg/kg),
- Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder (200 mg/kg).
- Feldsalat: kein Grenzwert festgelegt
- Dill: kein Grenzwert festgelegt

Quelle: https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/ruckstande_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html

Aufgabe 1

Das Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg hat verschiedene Gemüse auf Nitratgehalte getestet. Entscheide, ob die Grenzwerte eingehalten wurden (Tabelle 1).

Aufgabe 2

Vergleiche am frühen Morgen und am frühen Nachmittag die Nitratgehalte aus dem Salat oder Spinat im Hochbeet. Prüfe, ob Deine Überlegungen zum Erntezeitpunkt richtig waren.

Tabelle 1

Probenart	Anzahl der Proben	Minimale Konzentration [mg/kg]	Maximale Konzentration [mg/kg]	Mittelwert [mg/kg]	Medianwert [mg/kg]	Anzahl von Proben über den Höchstwerten der EG-Verordnung 1881/2006 (Lösung)
Brokkoli	10	< 35	979	472	442	-
Grüne Bohnen	10	291	475	378	360	-
Grünkohl, frisch	2	240	397	319	-	-
Grünkohl, tiefgefroren	8	85	1963	508	293	-
Möhren	10	< 27,6	154	54	32	-
Spinat, frisch	11	239	3657,75	1563	1624	1

Aufgabe 3

- Welche Gemüse sind besonders nitratreich (Tabelle 2)?
- Welche weiteren Inhaltsstoffe sind typisch für diese verschiedenen Gemüse?
- Zu welchen Pflanzenfamilien gehören die aufgeführten Gemüse?
- Welche Gemüse sind relativ nitratarm?



Abbildung 4: Cocktailltomaten

Tabelle 2

In den Jahren 2014 bis 2016 wurden im Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg des Niedersächsischen Landesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit verschiedene Salate und Gemüsearten auf Nitrat untersucht. Die Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Messungen:

Probenart	Minimale Konzentration [mg/kg]	Maximale Konzentration [mg/kg]	Mittelwert [mg/kg]
Eisbergsalat	857	1432	1090
Kopfsalat	292	2955	1652
Lollo rosso	2031	2092	2062
Romanasalat	921	1242	1082
Porree (Lauch)	114	1330,5	374
Rhabarber	< 2,1 (Nachweisgrenze)	1259,5	692
Weißkohl	44,5	337	148
Tomatensaft	2	2	2
Karottensaft	24	160	71,9
Feldsalat	1787	4403	2801
Dill tiefgefroren	145	1261	522
Dill frisch	743	5543	2749

Quelle: Bericht der Bundesrepublik Deutschland gemäß Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen, Nitratbericht 2024

Stickstoffverbindungen im Meerwasser

Aufgabe

- Vergleiche den Stickstoffkreislauf von Binnenland und von Ozeanen mithilfe des Sachtextes! Welche Gemeinsamkeiten gibt es?
- Welche Bedeutung hat der Stickstoff im Meer für das Klima?

Auch für Meeresorganismen sind Stickstoffverbindungen lebensnotwendig für das Wachstum und die Fortpflanzung. Obwohl Stickstoff im Ozean vorhanden ist, können die meisten marinen Arten das Stickstoffgas (N_2) nicht direkt nutzen. Spezielle Bakterien wandeln es jedoch in Ammonium um, eine chemische Verbindung des Stickstoffs mit Wasserstoff, welche für Photosynthese betreibende Meeresorganismen (Cyanobakterien, verschiedenste Algen oder Blütenpflanzen wie Seegras) zugänglich ist. Ammonium hat die Formel NH_4^+ . Dieser Prozess wird als Stickstofffixierung bezeichnet. So gelangt verfügbarer Stickstoff in das marine Nahrungsnetz. Konsumenten nehmen die organischen Stickstoffverbindungen wie Eiweiße u.a. mit der Nahrung auf.

Zudem spielt die Stickstofffixierung eine wichtige Rolle für die „Lagerung“ von Kohlendioxid durch die Ozeane, denn organische Stickstoffverbindungen enthalten auch gebundenen Kohlenstoff.

Bisher nahm man an, dass hauptsächlich photosynthetische Cyanobakterien, die unter Sonneneinstrahlung in warmen Gewässern nahe dem Äquator leben, verantwortlich für Stickstofffixierung sind. Unlängst wurden jedoch auch nicht-photosynthetische heterotrophe Bakterien identifiziert, die ebenfalls Stickstoff fixieren können. Diese Bakterien sind an kleine Partikel gebunden, auch Meeresschnee genannt, und nutzen organisches Material zur Energiegewinnung und Stickstofffixierung.

Wiki: Als Meeresschnee wird ein kontinuierlicher Partikelregen von oberflächlichen Schichten im Meer bis in die Tiefsee bezeichnet. Es handelt sich dabei um Überreste und Ausscheidungen pflanzlicher und tierischer mariner Organismen, die sich zu Aggregaten von einigen Zentimetern Durchmesser verbinden. Das Material ist reich an Kohlenstoff und Stickstoff und dient wiederum vielen Lebewesen als Nahrung.



Abbildung 5: Auch im Meer spielt der Stickstoffgehalt eine wichtige Rolle

Nitratgehalt in grünem Gemüse

Aufgabe

- Zu welcher Tageszeit ernten wir Spinat oder Salat am besten? Lies zur Beantwortung dieser Frage den Lerntext:

Pflanzen wandeln aufgenommenes Nitrat aus dem Gießwasser oder dem Boden in organische Stickstoff-Verbindungen um. Solche Stoffe sind vor allem Eiweiße (Proteine), aber auch Vitamine und andere Wirkstoffe. Für diese Stickstoffumwandlungen nutzen die Pflanzen die Lichtenergie. Der Nitratgehalt von Gemüse hängt deshalb von der Menge der Sonneneinstrahlung ab. Je weniger Licht einstrahlt und je niedriger die Temperaturen sind, desto unvollständiger wird das aufgenommene Nitrat abgebaut. Vor allem im Winter in Gewächshäusern herrscht ein begrenztes Lichtangebot vor. Ein Teil des Nitrats wird in den Pflanzen gespeichert.

Verschiedene Gemüsesorten wie z.B. Kopfsalat, Spinat, Rote Bete, Radieschen und Rettich reichern je nach Jahreszeit und Anbaugebiet hohe Gehalte an Nitrat an. Rucola und teilweise auch Feldsalat speichern im Wachstum mehr Nitrat als andere Salatarten. Hier sind deshalb nach der Ernte höhere Nitratwerte messbar.

Natürlich hat auch die Düngung des Bodens bzw. des Wassers (bei Hydrokultur) einen großen Einfluss auf den Nitratgehalt des Gemüses oder Salats. Landwirte wissen, dass gut mit Nitrat versorgte Pflanzen auch schnell wachsen. Jedoch kann eine intensive landwirtschaftliche Düngung zur Anreicherung von Nitrat in der Pflanze und zu einer Auswaschung des Nitrates in den Boden, in Bäche und Flüsse sowie das Grundwasser führen. Werden Gewässer überdüngt, führt dies dort zunächst zu üppigem Algenwuchs, im Winter aber zu Faulschlammbildung.

Quelle: https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel_ruckstände_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html

Aufgabe

Fachbiologinnen und Biologen befassen sich intensiv mit Fragen der mineralischen Düngung. In der Fachzeitschrift BiuZ heißt es: „Um die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig zu erhalten, wird insbesondere in der Landwirtschaft dieses Missverhältnis [zwischen Biomasse-Entnahme und natürlichem Stoffkreislauf] schon seit langem über eine gezielte Düngung ausgeglichen. Dabei standen historisch betrachtet zunächst organische Dünger (z.B. Mist, Gülle, Kompost), heute dagegen primär künstliche Mineraldünger im Vordergrund, wobei insbesondere die Komponenten Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium zugeführt werden.“ (Biuz 1/2025(55) S. 73.)

- Vergleiche Vorteile und Nachteile der mineralischen Düngung mit organischer Düngung. Estelle eine Tabelle.
- Berücksichtige die Bevölkerungsentwicklung der Welt seit Einführung der mineralischen Düngung.



Abbildung 6: Gemüse im Hochbeet

Düngeempfehlungen

Wie viel Dünger brauchen unsere Kulturpflanzen denn nun ganz konkret?

Unsere Kulturpflanzen werden in Stark-, Mittel- und Schwachzehrer eingeteilt. Das bedeutet, sie haben einen unterschiedlich hohen Mineralstoffbedarf und müssen deshalb auch unterschiedlich stark gedüngt werden. Starkzehrer sind z.B. Gurken, Kohl, Tomaten, Beerensträucher, Kürbis, Sellerie und Zucchini. Sie vertragen auch frischen Mist. Zu den Mittelzehren gehören u.a. Liebstöckel, Erdbeeren, Möhren, Fenchel

und viele Salate. Schwachzehrer sind viele Kräuter, Knoblauch, Radieschen und die Schmetterlingsblütler (Hülsenfrüchtler), von denen wir wissen, dass sie den Boden mit Stickstoff anreichern.

Ein Bodenlabor ermittelte für den untersuchten Gartenboden einen Wert von 1,4 g/m² an gebundenem Stickstoff. Der Luftstickstoff wird hier nicht berücksichtigt. (Luft enthält 79 % Stickstoff).

Das Bodenlabor gab folgende Düngeempfehlungen:

Tabelle 3

Kulturen	Stickstoffbedarf in g/ m ²	Nötige Düngung mit Hornspänen in g/m ²	Pflanzenfamilie
Blumenkohl	22	130	Kreuzblütler
Brokkoli	20	117	Kreuzblütler
Buschbohnen	4	14	Schmetterlingsblütler
Chicorée	6	27	Korbblütler
Chinakohl	14	78	Kreuzblütler
Erbsen	4	14	Schmetterlingsblütler
Feldsalat	8	40	Baldriangewächs
Fenchel	10	53	Doldenblütler
Grünkohl	10	53	Kreuzblütler
Gurken	12	66	Kürbisgewächs
Kartoffeln	10	53	Doldenblütler
Kohlrabi	15	85	Kreuzblütler
Kopfsalat	9	46	Korbblütler

Kulturen	Stickstoffbedarf in g/ m ²	Nötige Düngung mit Hornspänen in g/m ²	Pflanzenfamilie
Möhren	7,5	37	Doldenblütler
Petersilie	15	85	Doldenblütler
Porree	14	78	Lauchgewächs
Puffbohnen	4	14	Schmetterlingsblütler
Radieschen	7,5	37	Kreuzblütler
Rettich	8	40	Kreuzblütler
Rhabarber	22	130	Knöterichgewächs
Rosenkohl	15	85	Kreuzblütler
Rotkohl	25	149	Kreuzblütler
Sellerie	18	104	Doldenblütler
Stangenbohnen	4	14	Schmetterlingsblütler
Tomaten	22	130	Nachtschattengewächs
Weißkohl	21	123	Kreuzblütler
Wirsingkohl	24	143	Kreuzblütler
Zwiebel	8	40	Lauchgewächs

Eine Handvoll Hornspäne sind etwa 25 g, vgl. Modul 4 „Pflanzenerde selbst mischen“.

Aufgaben

- Begründe, warum sich die Empfehlungen des Bodenlabors trotz des gleichen Bodens für die verschiedenen Kulturpflanzen unterscheiden!
- Kennzeichne die höchsten und die niedrigsten fünf Werte in unterschiedlichen Farben!
- Welche Stickstoffhaltigen Verbindungen sind in Hornspänen enthalten?



Abbildung 8: Blumenkohl



Abbildung 9: Bohnenfrucht



Abbildung 10: Kartoffelblüte



Abbildung 11: Wirsing

Nitratgehalt begrenzen

Aufgabe

Die EU kritisiert den Nitratgehalt von Gewässern in Deutschland, da die Grenzwerte der EU an vielen Mess-Stellen für das Grundwasser überschritten werden.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung gibt Hinweise, wie eine zu hohe Gesamt-Nitrataufnahme des Menschen verhindert werden kann und nennt dazu mehrere Maßnahmen (linke Tabellenspalte) (https://www.bfr.bund.de/cm/343/nitrit_in_spinat_und_anderen_lebensmitteln.pdf)

Ergänze in der rechten Spalte, wie diese Maßnahmen auf den Nitratgehalt wirken!

Maßnahme	Ursache/ Wirkung auf den Nitratgehalt
Verminderter Einsatz von Düngemitteln zur Reduzierung des Nitratgehaltes im Ackerboden	
Gemüseanbau im Freiland, Kennzeichnung als Freilandgemüse	
Erntezeit bevorzugt am Abend	
Blanchieren des Gemüses und Entfernen der Stiele bzw. Blattrippen bei Spinat o.ä. Gemüse	
Saisonaler Gemüseverzehr	



Abbildung 12: Aubergine



Abbildung 13: Mangold

Nachweis von Nitrat

Im Gartenteich, im Gießwasser, aber auch in Aquarien kann das Wasser unterschiedliche gelöste Stoffe enthalten. Neben dem pH-Wert oder dem Gehalt an Kalk kann sollte man über den Nitratwert informiert sein. Nitrat ist ein gut löslicher Stickstoffdünger für Pflanzen. Der Nitratgehalt hat Einfluss auf die Umwelt, aber auch direkt auf den Menschen über das Trinkwasser. In zu hoher Konzentration führt er zu ökologischen Problemen. Im Übermaß ausgebracht, ausgewaschen aus dem Boden und in unser Grundwasser und die Flüsse gespült, fördern Stickstoffdünger das Algenwachstum im Sommer und dann folglich viel Faulschlamm am Gewässergrund in der kalten Jahreszeit.

Der Grenzwert für Nitrat im Trinkwasser liegt bei 50 mg/l. Dieser Wert wird an zahlreichen Messstellen des Messnetzes des Grundwassers für die Berichterstattung an die Europäische Umweltagentur übertroffen. Zu hohe Nitratwerte führen bei Säuglingen zur Störung des Sauerstofftransportes im Blut (durch Umwandlung in Nitrit). Aber auch mit dem Gemüse nimmt der Mensch Nitrat auf.

Eine einfache Variante des Nachweises von Nitrat NO₃⁻ ist die Verwendung von Teststreifen. Manche weisen Nitrat und Nitrit nach, andere messen noch weitere Parameter der Wasserqualität.

Aufgaben

- Trage Messwerte für Leitungswasser, Aquarienwasser und Teichwasser in die Tabelle ein.
- Vergleiche deine Messwerte zum Nitrat mit dem gesetzlichen Grenzwert von 50 mg/l Nitrat für Trinkwasser.

Wasserquelle	Messwert	Vergleich

Lösungen Modul 3

Lösungen M3 Arbeitsblatt 1

- Nitrat und Nitrit, Harnstoff sowie Ammonium sind gut wasserlöslich. Harnstoff ist u.a. in AdBlue in Wasser gelöst und wird an der Tankstelle verkauft, um über eine katalytische Reaktion den Gehalt an Stickoxiden in Abgasen zu verringern. Denn die ebenfalls gut in Wasser löslichen Stickoxide bilden mit Wasser Säuren (sauren Regen, z.B. salpetrige Säure).
- Im Magen werden Proteine in Aminosäuren verdaut und dann im Darm in das Blut resorbiert. Daraus stellen die Zellen körpereigene Eiweiße her.
- Harnstoff wird in der Leber gebildet und in der Niere aus dem Blut gefiltert.
- Denitrifizierende Bakterien wandeln Nitrat in Luftstickstoff um. Dazu brauchen Sie aber Energie aus kohlenstoffhaltigen Verbindungen für ihren Zellstoffwechsel.

Lösung M3 Arbeitsblatt 2

Aufgabe 1 und 2

Außer für Spinat gibt es für die hier untersuchten Produkte (Tabelle 1) keine Nitrat-Höchstgehalte. Weil bei dem Spinat der vorgegebene Grenzwert [3500 mg/kg] nur minimal überschritten wurde, gilt dies noch als Messfehler, der Spinat durfte noch verkauft werden.

Lösungen M3 Arbeitsblatt 2

Aufgabe 3

- Es konnten beim Eisbergsalat, beim Kopfsalat und beim Lollo rosso keine Höchstgehaltsüberschreitungen der EU-Grenzwerte festgestellt werden. Für manche Probenarten gibt es keinen Höchstgehalt als Beurteilungswert.

- „Geringe bis sehr geringe Nitratgehalte haben zum Beispiel Rosenkohl, Chicorée, Kartoffeln, Möhren, Süßkartoffeln und Spargel. Ebenfalls als nitratarm gelten Obst und Fruchtgemüse (wie zum Beispiel Tomaten, Paprika, Gurken, Erbsen, grüne Bohnen, Erdbeeren, Kürbis).“
- „Nitratreiches Gemüse sollte nicht am Morgen erntet werden“
- „Verbraucher sollten eine abwechslungsreiche Gemüseauswahl achten.“
- Vitamin C hemmt die Bildung krebserregender Nitrosamine.
- Freilandware ist vor Gewächshausware zu bevorzugen, da mehr Licht drankommt.
- „Bei frischem Blattgemüse – beispielsweise Spinat, Grünkohl, Kopfsalat – Stiel-, Stängelanteile, Blattrippen und äußere Hüllblätter entfernen, da diese besonders nitratreich sind.“
- „Blanchieren und Kochen von Gemüse verringert den Nitratgehalt.“
- Nitratreiches Gemüse nicht zu lange warmhalten, die Reste schnell abkühlen und im Kühlschrank aufbewahren, da sich Nitrat bei Wärme in Nitrit umwandelt.“
- Oxalsäure ist typisch für Rhabarber.
- Kreuzblütler besitzen viele schwefelhaltige Senfölglycoside, die beim Anschnieden scharf schmecken.
- Nitratgrenzwerte sind in der EU-Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 festgelegt.

Außer für Spinat gibt es für die hier untersuchten Produkte (Tabelle 1) keine Nitrat-Höchstgehalte. Weil bei dem Spinat der vorgegebene Grenzwert [3500 mg/kg] nur minimal überschritten wurde, gilt dies noch als Messfehler, der Spinat durfte noch verkauft werden.

Lösungen Modul 3

Lösungen M3 Arbeitsblatt 4

Ohne mineralische Düngung wäre die Weltbevölkerung kleiner. Mit der Erhöhung der Weltbevölkerung ging ein weiteres Problem einher – das viele Abwasser, welches bei Einleitung in die Flüsse und Seen auch die Qualität des Grundwassers verschlechterte. Also mussten Klärwerke errichtet werden.

Die demografische Entwicklung der Weltbevölkerung verläuft mit unterschiedlicher Wachstumsrate.

Während um 1600

→ 500 Mio. Menschen (1/2 Mrd.) lebten, waren es

1800 bereits

→ 1000 Mio. Menschen (1 Mrd.), um

1900 inzwischen

→ 1650 Mio. Menschen (1,65 Mrd.)

1965 lebten etwa

→ 3,3 Mrd. auf der Erde, im Jahr

2000 bereits

→ 6 Mrd., bis

2012 über

→ 7 Mrd.

Die Weltbevölkerung nimmt derzeit also etwas langsamer zu im Vergleich zum Zeitalter der Industrialisierung. Die höchsten Wachstumsraten haben derzeit afrikanische Länder südlich der Sahara, Pakistan, Indien, Indonesien, die Philippinen und, wenn auch etwas geringer, Staaten in Mittel- und Südamerika.

Die Stoffströme des Stickstoffs und Phosphors sowie die ungleiche Verteilung von Lebensmitteln sind globale Problem. Eine Forderung der BNE besteht darin, eine stabile und ausreichende Lebensmittelproduktion vor Ort in allen Regionen der Welt zu ermöglichen.

Lösungen M3 Arbeitsblatt 5

- Schmetterlingsblütler können über die Symbiose mit Bodenbakterien ihren Stickstoffgehalt erhöhen, sie müssen weniger gedüngt werden. Kohlgewächse dagegen wachsen schnell und bilden sekundäre Pflanzenstoffe wie Scharfstoffe. Sie brauchen anteilig viel Dünger. Auch Tomaten sind düngebedürftig.
- Hornspäne enthalten Eiweißverbindungen wie Keratin, die erst mikrobiologisch im Boden aufgeschlossen werden.

Lösungen Modul 3

Lösungen M3 Arbeitsblatt 6

Maßnahme	Ursache/ Wirkung auf den Nitratgehalt
Verminderter Einsatz von Dünngemitteln zur Reduzierung des Nitratgehaltes im Ackerboden	geringere Nitrataufnahme der Pflanzen, geringere Auswaschung des löslichen Nitrats ins Grundwasser, besseres Trinkwasser
Gemüseanbau im Freiland, Kennzeichnung als Freilandgemüse	mit höherer Lichteinstrahlung und Frischluft verbesserte Umwandlung der Mineralstoffe durch Stickstoffassimilation in Eiweiße
Erntezeit bevorzugt am Abend	Nitratabbau durch Lichteinstrahlung am Tage erhöht, tagsüber kann das Nitrat in Pflanzenstoffe wie Eiweiße u.a. umgewandelt werden
Blanchieren des Gemüses und Entfernen der Stiele bzw. Blattrippen bei Spinat o.ä. Gemüse	Blattrippen und Stiele haben einen höheren Nitratgehalt als die Blattfläche
Saisonaler Gemüseverzehr	Effizientere Fotosynthese und Stickstoffassimilation als außerhalb der Saison

Pflanzerde selbst mischen

M4

Modul



Bezug zum Bildungsplan

Bereits in der Grundschule werden sachunterrichtliche Grundlagen des Verständnisses gelegt, wie Pflanzen leben.

Im Chemieunterricht der Sekundarstufe werden später stoffliche Differenzierungen zu chemischen Elementen und deren Verbindungen vorgenommen. Die Zutatenlisten von Dünger sollte man lesen lernen, dazu muss man sich mit chemischen Formeln auskennen.

Die Geographie zielt ein Verständnis für geographische Raumstrukturen an, u.a. Moore.

In der Biologie wiederrum stehen nicht nur einzelne Organismen, sondern insbesondere die ökologischen Beziehungen und Netzwerke im Fokus. Pflanzen als ökologische Produzenten sind in Netzwerke aus Konsumenten und Destruenten eingebunden, darum geht es in diesem Modul unter anderem.

Es wird Zeit, sich die Hände schmutzig zu machen und Humus zu begreifen. Kann man Humus auch essen, fragte ein Kind am Kompostplatz? Nein, aber Hummus schon.



Humus

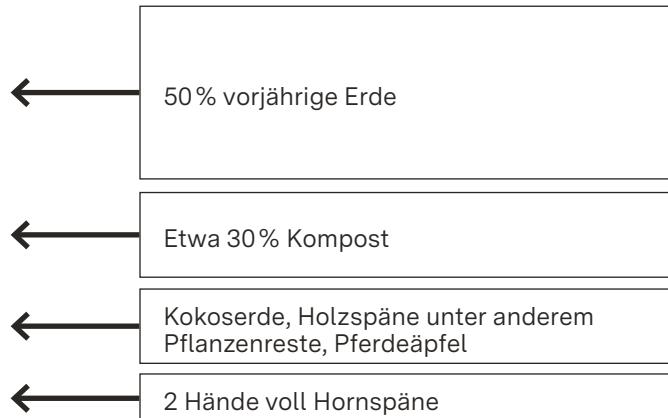


Abbildung 1: Zusammensetzung des Substrates im Hochbeet

Eine eigene Blumenerde oder Hochbeet-Erde kann man preiswert selbst mischen. Zur Hälfte verwendet man Gartenerde oder Erde aus vorjährigen Blumenkästen, hier sind nur noch wenige düngende Mineralstoffe enthalten. Zur „gebrauchten“ Erde hinzu kommt beispielsweise eigener Kompost. Kompost enthält Humus.

Humus entsteht, wenn Bodenlebewesen pflanzliches oder tierisches Material verarbeiten. Die düngenden Mineralien sind an den Abbauprodukten der Materialien, den Huminsäuren u.a., adsorbiert. Somit entfalten sie ihre Wirkung in längeren Zeitspannen. Humus besteht zu etwa 60 % aus Kohlenstoffverbindungen, an dem auch andere Stoffe wie Mineralstoffe gebunden sind.

Der Substrat-Mischung kann man eine Handvoll Hornspäne als Stickstoffdünger oder über ein Jahr lang verrotteten Mist oder andere organische Dünger (je nach Angaben auf der Packung) zufügen. Eine Handvoll – das sind etwa 25 g. Als zusätzlichen Dünger kann man auch sogenanntes Gesteinsmehl kaufen und zufügen. Auch Kokosfasern oder Holzfasern sind als Zusatz möglich, aber jeweils nicht mehr als $\frac{1}{4}$ des Volumens.



Abbildung 2: Frisch angelieferter Pferdemist wird zu Kompost verarbeitet, er kann den Kompost bzw. den Ackerboden verbessern, insbesondere Lehmboden

Auf Torf sollte man verzichten, denn sein Abbau zerstört wertvolle Lebensräume, die zudem Kohlenstoffdioxid über lange Zeit binden.

Humus ist das „Gold des Gärtners“

Aufgabe 1

Erläutere folgendes Schemabild mithilfe der Informationen im Text über Humus.

Hauptbestandteil des Humus ist zwar das chemische Element Kohlenstoff, und nicht das chemische Element Gold, aber Pflanzen brauchen Humus. Grüne Pflanzen betreiben Photosynthese und stellen ihre

eigenen Nährstoffe her. Die Pflanzen geben sogar über ihre Wurzeln bis zu 30 % von dem gebildeten Zucker (Assimilat = Nährstoff) an Pilze und Bakterien im Boden ab, die in Symbiose mit ihnen leben können. Und diese Symbionten wiederum bauen die organische Bodensubstanz (Humus) ab. Dadurch werden Mineralstoffe frei und pflanzenverfügbar, z.B. Stickstoffverbindungen, Phosphate oder Schwefelverbindungen. Dies ist nach der Theorie der mineralischen Düngung nach Justus von Liebig nun sehr wertvoll für die Pflanzen.

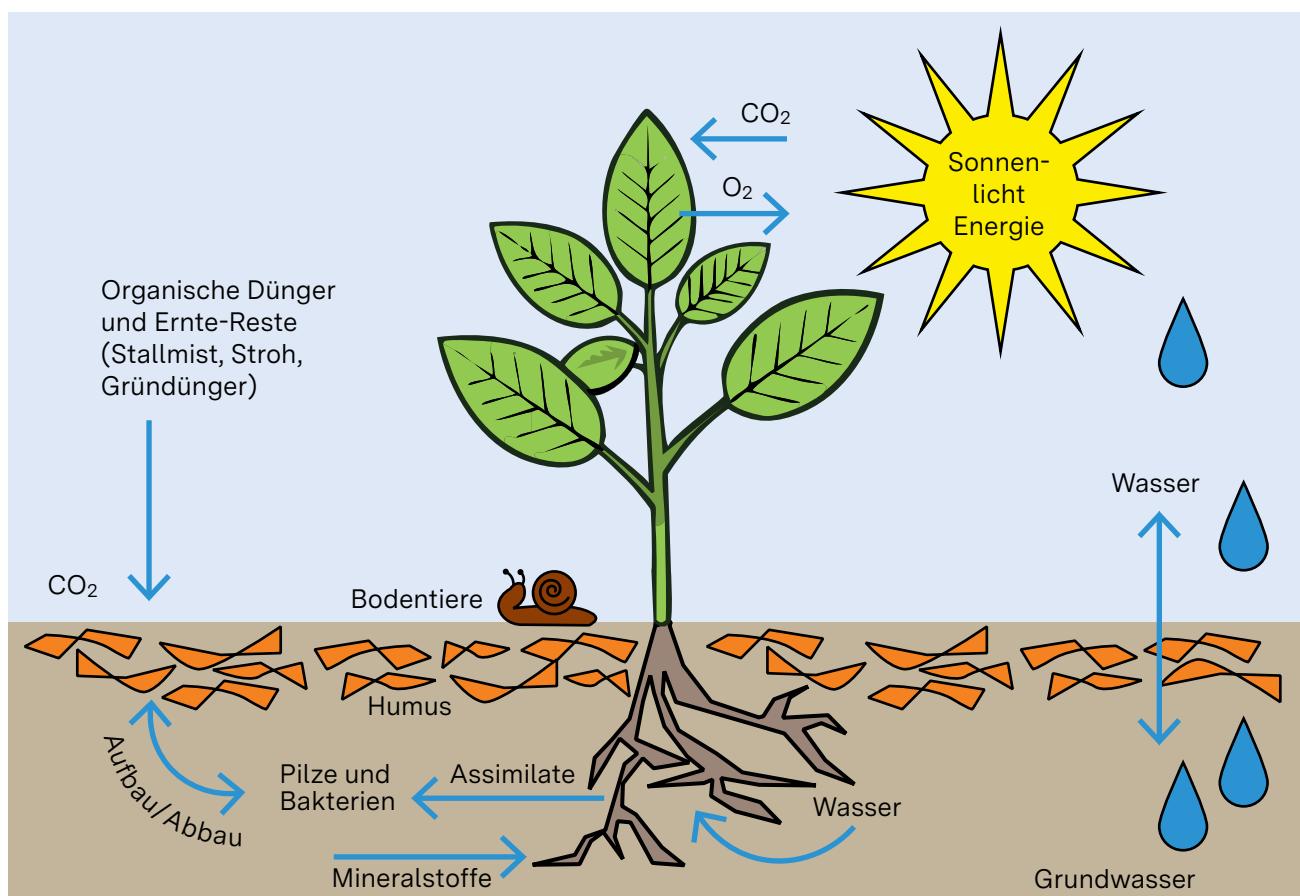


Abbildung 3: Schemabild des Stoffkreislaufs des Kohlenstoffs sowie der Mineralstoffe

Aufgabe 2 – Kompost unter der Lupe

Betrachte reifen Kompost unter der Stereolupe und versuche zu erkennen, welche Materialien hier zu Humus umgewandelt wurden!

Abbildung 4: Eigener Kompost hat einen hohen Humusanteil. Kompost enthält viele gebundene Kohlenstoffreste sowie Düngestoffe für die Pflanzen.



Aufgabe 3 – Bodentiere

Bei der Herstellung des Humus spielen viele Bodentiere eine wichtige Rolle als Zersetzer. Bestimme die Bodentiere im Kompost oder am Kompostplatz mithilfe dieses einfachen Bestimmungsschlüssels. Achte dabei besonders auf die Bewegungen der Tiere. Beutegreifer müssen schnell sein. Fressen die Tiere totes Pflanzenmaterial, können sie sich Zeit lassen. Benutze Bücher oder weitere Bestimmungsschlüssel!

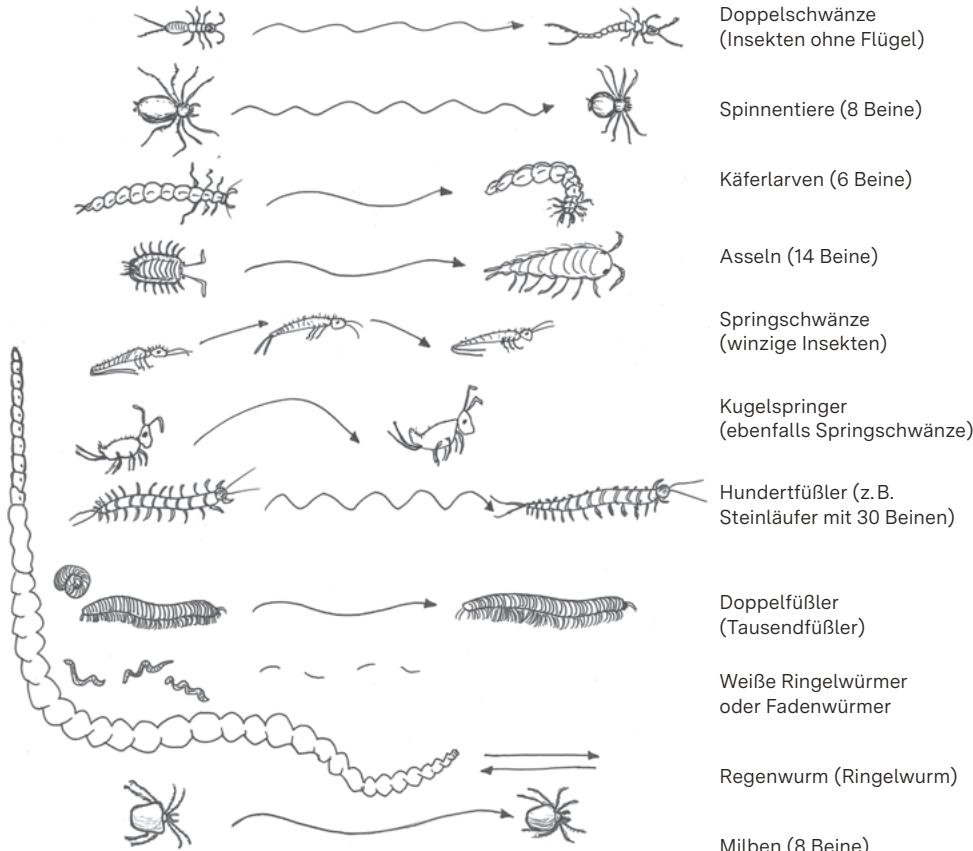


Abbildung 5: Bodentiere im Kompost-Schnellbestimmungsschlüssel



Abbildung 6: Steinläufer



Abbildung 7: Käferlarve



Abbildung 8: Mauerassel



Abbildung 9: Regenwurmkringel

Kompost

Aufgabe 1

(bereits für die Grundschule)

Was darf auf den Kompost?
Kreuze an!

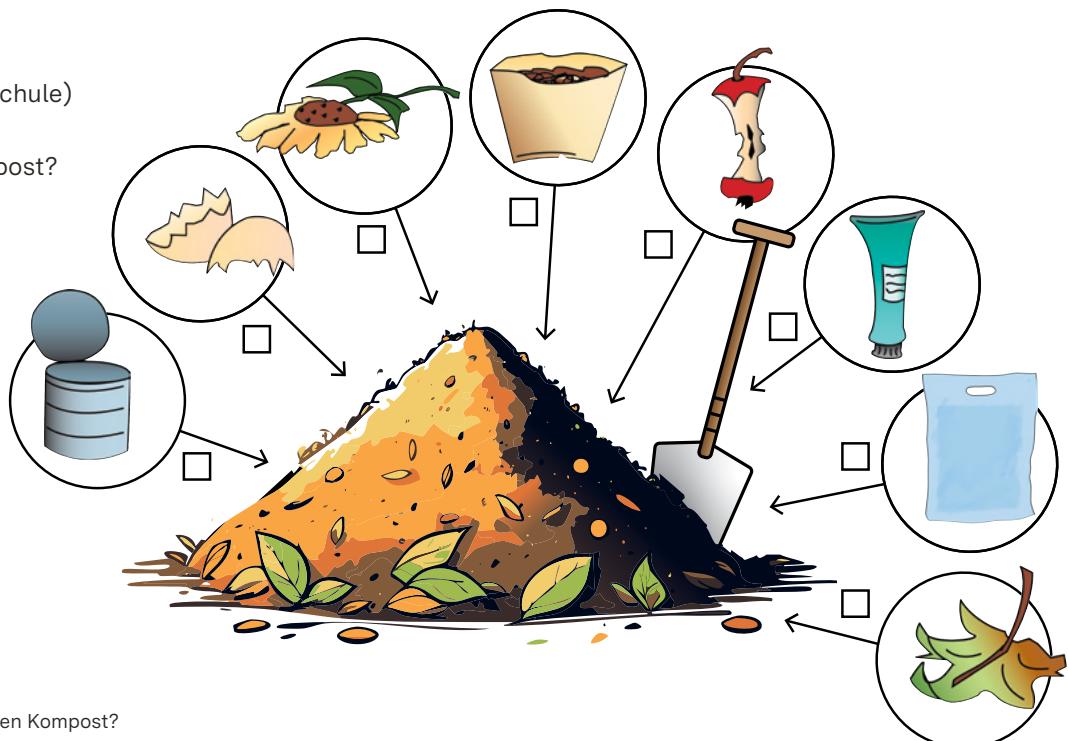


Abbildung 10: Was darf auf den Kompost?

Aufgabe 2 – Ermittle den Humusgehalt deines Gartenbodens

Füll ein Schraubdeckelglas zu 1/3 mit Erde. Gib die gleich Menge Wasser hinzu. Schüttle gut durch und warte 5 Minuten. Nun setzen sich im Idealfall drei Schichten ab: unten grobe Partikel, darüber feine Partikel und dann eine Schaumschicht. Je dicker die Schaumschicht, umso größer der Humusgehalt. Guter Boden sollte mehr als 3% Kohlenstoff enthalten, meinen Wissenschaftler (vgl. Knauer, R. (2025). Die Welt muss Boden gutmachen. Spektrum der Wissenschaft 4.25, S. 50–55.)

Humusfreier Boden bildet keinen Schaum. Ein Hochbeet-Dünger für den ökologischen Anbau enthält organische und mineralische Dünger. Die organischen Stoffe sind beispielsweise pflanzlich Reste aus der Lebensmittelproduktion oder Knochenmehl aus öko-

logischer Tierhaltung. Die Mineralstoffe enthalten verschiedene chemische Elemente wie Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefel, Phosphor, Eisen oder auch Chlor und Natrium in geringen Mengen.



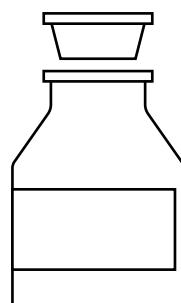
Abbildung 11: Die Dicke der Schaumschicht nach dem Schütteln zeigt den Humusgehalt in einem Glas mit Erde und Wasser an. Arbeitsblatt: Chemie im Alltag

Abbildung 11 zeigt: Der Humusgehalt dieses Gartenbodens ist prima, denn die oberste Schaumschicht als Indikator für Humus ist üppig.

Dünger – wichtig für das Pflanzenwachstum

Aufgabe 1 – Stöchiometrisch richtige Formeln

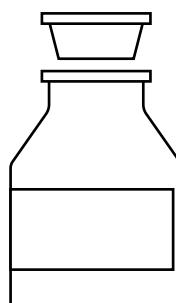
Schreibe die stöchiometrisch richtigen Formeln der Mineralstoffe/Salze auf die Flaschenetiketten: Achte vor allem auf die Wertigkeit der Ionen, also die einfache oder doppelt positive oder negative Ladung bzw. die dreifach negative Ladung von Phosphat. Die Varianten mit Kristallwasser werden hier nicht berücksichtigt.



Magnesiumsulfat
(Bittersalz)



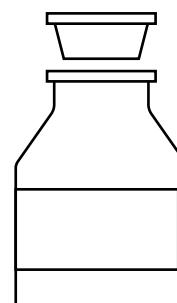
Kaliumsulfat



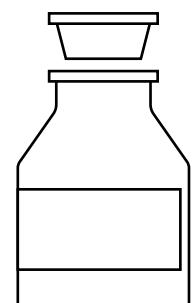
Natriumsulfat
(Glaubersalz)



Kaliumnitrat



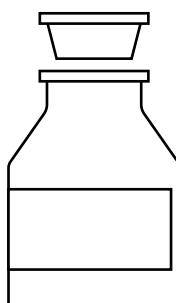
Calciumnitrat
(Norgesalpeter)



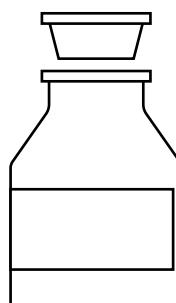
Natriumnitrat
(Chilesalpeter)



Natriumchlorid



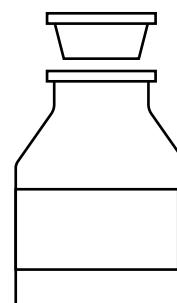
Tricalciumphosphat



Kaliumphosphat



Ammoniumnitrat



Eisen (II)-sulfat
(Eisenvitriol)

Aufgabe 2

Manche Salze liegen in komplizierterer Mischung vor, zum Beispiel Calciumapatit mit den Hauptbestandteilen Calcium und Phosphat.

Welche Ionen (neben Calcium und Phosphat) können an Calciumapatit noch beteiligt sein? Leite das aus der Formel ab: $\text{Ca}_5[(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})|(\text{PO}_4)_3]$ Benutze das PSE (Periodensystem der Elemente)!

Lösungen Modul 4

Lösung M4 Arbeitsblatt 2

Aufgabe 1

Es ist unstrittig, dass Kugelschreiber, Glasflaschen sowie Metalldosen nicht auf den Kompost gehören. Auch Plastiktüten sollen nicht auf dem Kompost liegen.

Über manche Dinge kann man diskutieren, ob sie auf den Kompost gehören. Welche Zutaten könnten das sein?

Argumente für das Kompostieren:

- Manche Kunststoffe für Beutel werden als kompostierbar bezeichnet, weil sie aus Stärke und nachwachsenden Rohstoffen hergestellt wurden.
- Knochen enthält wertvolle Stoffe, die zu gutem Dünger werden können, zum Beispiel Kalziumverbindungen.

Argumente gegen das Kompostieren:

- Als kompostierbar bezeichnete Beutel brauchen mehrere Jahre bis zu ihrer Zersetzung. Die kompostierbaren Folien können durch Zusatzstoffe wie Aufdrucke verunreinigt sein.
- Fleischreste an den Knochen der Speisereste könnten Ratten anlocken.

Lösung M4 Arbeitsblatt 3

Aufgabe 1

Name der Verbindung (des Salzes)	Formel
Magnesiumsulfat (Bittersalz)	MgSO_4
Kaliumsulfat	K_2SO_4
Natriumsulfat (Glaubersalz)	Na_2SO_4
Kaliumnitrat	KNO_3
Calciumnitrat (Norgesalpeter)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Natriumnitrat (Chilesalpeter)	NaNO_3
Natriumchlorid	NaCl
Tricalciumphosphat	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Kalumphoshat	K_3PO_4
Ammoniumnitrat	NH_4NO_3
Eisen (II)-sulfat (Eisenvitriol)	FeSO_4

Lösung M4 Arbeitsblatt 3

Aufgabe 2

Es sind die Elemente Fluor, Chlor oder Hydroxid-Ionen.

Der pH-Wert des Bodens und des Gießwassers

M5

Modul



Bezug zum Bildungsplan

Im Bildungsplan für die Oberstufe in der aktualisierten Fassung von 2022 wird betont, dass Ökologie als Inhaltsfeld vielfältige und handlungsorientierte Zugänge unter Berücksichtigung von Arbeit im Freiland ermögliche.

Aber bereits in Klassenstufe 5 und 6 wird erwartet, dass Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, die grundlegende Bedeutung des Wassers als lebenswichtiger Stoff zu erkennen. Sie werden befähigt, Eigenschaften des Wassers an geeigneten Experimenten zu überprüfen. Die erfolgt beispielsweise im Fächerverbund BNT.

Bleiben wir also nicht nur theoretisch, sondern handeln konkret in einem Gartenvorhaben:

Gartenprojekt

Wir wollen im Schulgarten oder auf dem Hochbeet an verschiedenen Stellen Tomaten, Lavendel, Erbsen und Kartoffeln anbauen. Dafür suchen wir geeignete Erde und passende Standorte auf dem Hochbeet. Wir beginnen mit dem Kalkgehalt bzw. der pH-Wert.



Abbildung 1: Gelbe Zucchini



Abbildung 2: Paprika

Welche Rolle spielen der Säuregehalt des Bodens und des Gießwassers?

Der pH-Wert des Bodens ist für das Pflanzenwachstum von Bedeutung. Denn er sagt etwas über die Möglichkeit der Mineralstoffaufnahme der Pflanzen aus: bei ungünstigem pH-Wert kann die Aufnahme der Mineralstoffe gestört sein. Dies hängt jedoch von der einzelnen Pflanzenart ab.

Liegt der pH-Wert unter 7, so wird der Boden als sauer bezeichnet. Ein pH-Wert von 7 zeigt einen neutralen Bereich an, während der Boden bei einem pH-Wert über 7 als alkalisch eingestuft wird.

Auch die Bodenorganismen arbeiten nur in für sie optimalen Bedingungen. Sie bauen organische Dünge und Erntereste ab und bilden zusammen mit ihrer abgestorbenen Biomasse wiederum neuen Humus.

Tabelle 1: Bodenreaktionszahlen ausgewählter Kulturpflanzen

ergänzt nach Böhmig, F. (1983). Rat für jeden Gartentag. Leipzig, Radebeul: Neumann, S. 354

Pflanzenname	pH-Werte	weitere Bodenansprüche
Erbsen	6,0 bis 7,0	schwacher Stickstoffbedarf
Grünkohl	5,5 bis 7,0	hoher Stickstoffbedarf
Gurken	5,6 bis 7,5	mittlerer Stickstoffbedarf
Kartoffeln	5,0 bis 7,0	variabel, sortenabhängig
Kohlrabi	5,5 bis 7,0	Mittlerer Stickstoffbedarf
Lavendel	6,5 bis 8,3	durchlässig, leicht, kalkhaltig, sandig
Möhren	6,0 bis 8,0	leicht, nicht lehmig, hoher Stickstoffbedarf
Puffbohnen/ Ackerbohnen	6,0 bis 8,0	niedriger bis mittlerer Stickstoffbedarf
Rhabarber	5,5 bis 7,0	sehr starker Stickstoffbedarf
Tomaten	5,0 bis 7,0	Mittlerer bis hoher Stickstoffbedarf
Vergissmeinnicht	6,0 bis 8,0	



Abbildung 3: Mangold



Abbildung 4: Grünkohl

Versuch zur Bodenreaktion (pH-Wert)

Variante 1

Der pH-Wert gibt an, ob der Boden alkalisch, neutral oder sauer reagiert. Der pH-Wert bildet einen wichtigen Grundwert für bestimmte Maßnahmen, die der Landwirt durchführen muss, z.B. Kalkung des Bodens, Düngung und die Auswahl der Feldfrucht.

- Ein Teelöffel Boden wird mit destilliertem Wasser versetzt.
- Der Ansatz wird wenige Minuten zum Absetzen des Feststoffes stehen gelassen und auch nicht mehr bewegt.
- Anschließend wird ein pH-Teststreifen (Merck) nur kurz in die Lösung getaucht.
- Durch Verfärbung kann der pH-Wert der Probe abgelesen werden.

Der pH-Wert liegt bei _____ und ist damit _____ (alkalisch, neutral, sauer).

Variante 2

Das Hellige-Boden-pH-Meter (ein international gebräuchlicher Eigenname) ist im Landbau bewährt und auch draußen einsetzbar. Es ist äußerst leicht zu bedienen und handlich. Die Nachweisflüssigkeit ist nach EG-Richtlinien/GefStoffV nicht kennzeichnungspflichtig und lediglich wegen des geringen Gehaltes an Ethanol schwach wassergefährdet.

Das Hellige-Boden-pH-Meter ist darauf abgestimmt, dass der Boden eine dunkle Tönung aufweist.

Ein Löffelchen der Bodenprobe aus 10 cm Tiefe vom Hochbeet oder Beet wird in die Vertiefung des pH-Meters gegeben, dann mit der Indikatorlösung getränkt. Nach 3 Minuten wird das pH-Meter geneigt und die Indikatorlösung läuft in die Längsrinne mit der Farbskala (vgl. Abbildungen 5, 6 und 11).



Abbildung 5: Benutzung des Hellige-pH-Meters Schritt 1: Boden mit Testflüssigkeit befeuchten, schräg halten



Abbildung 6: Benutzung des Hellige-pH-Meters Schritt 2: Flüssigkeit ablaufen lassen und Färbung beurteilen

ph-Werte des Bodens

Aufgaben

- Ermittle des pH-Wert des Bodens im Hochbeet oder Beet und protokolliere in Tabelle 1.
- Vergleiche vor der Pflanzung beziehungsweise der Aussaat die bevorzugten pH-Werte von den Pflanzen, die auf dem Hochbeet wachsen sollen, mit den Werten aus Tabelle 2.



Abbildung 7: Lavendel in Blüte lockt Bestäuber an.



Abbildung 8: Die Tomate wurde geerntet.



Abbildung 9: junge Erbsenpflanzen mit geteilten Blättern sowie Blattranken



Abbildung 10: Kartoffelpflanze, Sorte blauer Schwede, mit geteilten Laubblättern und Sprossknollen

Tabelle 1: Säuregrad unseres Bodens

Messwert ankreuzen x

Für den geplanten Anbau
unserer Kulturpflanzen
wäre passend:

alkalisch neutral sauer Maßnahme

Karotte

Kartoffel/ Tomate

Erbse

Lavendel

*andere Pflanzen anbauen oder kalken,
sofern der pH-Wert zu sauer ist*



Abbildung 11: zwei verschiedene Bodenproben färben die Testflüssigkeit des Hellige-pH-Meters, links sauer, rechts neutral

Zusatzfrage zu Tabelle 2: Welche Sträucher haben auffallend andere pH-Optimalwerte als das Gemüse? Recherchiere die natürliche Herkunft dieser Pflanzen und trage sie in die rechte Spalte ein!



Abbildung 12: Salat und andere Gemüse im Hochbeet

Tabelle 2: pH-Optimum ausgewählter Gartenpflanzen

Pflanzenname	Botanischer Name	pH-Optimum im Boden	Maßnahme
Rhododendron	<i>Rhododendron spec.</i>	4,5–6	
Blaubeere/ Heidelbeere	<i>Vaccinium spec.</i>	4–5	
Sauerampfer	<i>Rumex acetosa</i>	4–7	
Fenchel	<i>Foeniculum vulg.</i>	5–6	
Lupine	<i>Lupinus luteus</i>	5–6	
Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i>	5–6,5	
Hafer	<i>Avena sativa</i>	5,5–7	
Mais	<i>Zea mays</i>	5,5–7	
Roggen	<i>Triticum aestivum</i>	5,5–7	
Kürbis	<i>Cucurbita pepo</i>	5,5–7	
Zucchini		6–6,5	
Zwiebel	<i>Allium cepa</i>	6–7	
Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	6–7	
Tomate	<i>Solanum lycopersicum</i>	5,5–7,5	
Blumenkohl	<i>Brassica oleracea, var. botrytis</i>	6–7,5	
Emmer	<i>Triticum dicoccum</i>	6–7,5	
Erbse	<i>Pisum sativum</i>	6–7,5	
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>	6–7,5	
Gerste	<i>Hordeum sativum</i>	6,5–7,5	
Raps	<i>Brassica napus</i>	6,5–7,5	
Gartenbohne	<i>Phaseolus vulgaris</i>	6,5–7,5	
Kapuzinerkresse	<i>Tropaeolum majus</i>	5,5–7,5	
Spinat	<i>Spinacea oleracea</i>	6,5–7,5	
Knoblauch	<i>Allium sativum</i>	5,5–8	
Porree	<i>Allium porrum</i>	7–8	
Holunder	<i>Sambucus nigra</i>	6–8	

Carbonatgehalt (Kalkgehalt) des Bodens und des Gießwassers

Unter Kalkgehalt oder Carbonatgehalt versteht man den Gehalt von Calcium- und Magnesiumcarbonaten (= Salze der Kohlensäure) im Boden. Die Bestimmung im Feld erfolgt mittels 10%iger Salzsäure (HCl), die auf eine kleine Bodenprobe getropft wird. Beim Auftreffen von Säure auf Calciumcarbonate wird Kohlendioxid frei.

Die chemische Reaktion der Salzsäure setzt das gasförmige Kohlendioxid (CO_2) aus dem Carbonatsalz CaCO_3 frei. Man hört es Zischen, wenn CO_2 frei wird. Je mehr es sprudelt, umso höher ist der Kalkgehalt. Kalkfreie Erde sprudelt gar nicht.



Abbildung 13: reiner Kalkstein sprudelt beim Auftröpfen von 10%iger Salzsäure stark, CO_2 wird frei

Aufgabe

Stelle die Formel für Magnesiumcarbonat auf.



Abbildung 14: Düngekalk und fester Kalkstein (Marmor)

Versuch zum Carbonatgehalt des Bodens

Aufgabe

Ermittle mithilfe von 10%iger Salzsäure HCl den Kalkgehalt des Bodens im Hochbeet oder Gartenbeet!

Tabelle: Carbonatgehalte im Boden

Zutreffendes ankreuzen x

Unser Boden ...				
Für unsere Kulturpflanzen wäre passend:	schäumt nicht , er ist carbonatfrei	schäumt sehr wenig , er ist carbonatarm	schäumt, er ist carbonathaltig	schäumt stark , ist er carbonatreich
Möhre				
Erbse				
Kartoffel/ Tomate				
Lavendel	Düngekalk einsetzen			

pH-Werte im Alltag

Aufgabe

Diskutiere, inwieweit in diesen Realsituationen der pH-Wert und der Kalkgehalt des Bodens eine Rolle spielen.

Fallgeschichte 1

Pressemitteilung der Stadt Heidelberg

„Die Bemühungen von Stadtverwaltung, NABU, Naturschutzbeauftragtem und Schlossverwaltung um den Erhalt des Amphibienbestandes im Heidelberger Schlossgarten haben einen Rückschlag erlitten. In einem Becken des Heidelberger Schlossgartens wurden zuletzt wieder eine große Menge toter Amphibien-Larven entdeckt. Rund zwei Drittel des Bestandes waren betroffen. Die verbliebenen Larven, die bereits weiterentwickelt waren, wurden in ein anderes Becken umgesiedelt.

Hintergrund des Amphibiensterbens sind die Auswirkungen einer privaten Baustelle auf dem Grundstück Schloss – Wolfsbrunnenweg 18. Im Jahr 2021 wurde festgestellt, dass es durch den Gebrauch von Spritzbeton auf der Baustelle zu einer Kontamination gekommen war. Die Schadstoffe wurden durch hangabwärts fließendes Wasser in die Becken des Schlossgartens eingetragen – das führte zu stark erhöhten pH-Werten und dem Sterben vieler Amphibien. Die Stadt wies diesen Zusammenhang mit den Bauarbeiten durch hydrogeologische Untersuchungen nach und reagierte auf die fehlerhaften Maßnahmen des Bauherrn mit einer Reihe strenger Auflagen. Eine besagt, dass das Wasser vom Bastellengrundstück direkt in die Kanalisation abzuleiten ist. Diese Maßnahme muss so lange fortgeführt werden, bis die Wasserwerte eine Qualität erreicht haben, die für Amphibien nicht mehr schädlich sind....

Zudem führt starker Algenbewuchs in den Becken in den Nachtstunden zu einer starken Sauerstoffzehrung.

Quelle: https://www.heidelberg.de/HD/Presse/11_07_2022+erneutes+amphibienlarven-sterben+im+schlossgarten+_wasserkontrolle+und+saeuberung+durch



Abbildung 15: junger Molch

Fallgeschichte 2

Im Umfeld des dicht bebauten Campus Heidelberg im Neuenheimer Feld wurden in den letzten Jahren an verschiedenen Stellen Orchideen angetroffen auf für sie eigentlich völlig untypischen Standorten. Solche Orchideen waren z.B. Vertreter der heimischen geschützten Gattungen Ständelwurz Epipactis und sogar Ragwurzarten der Gattung Ophrys. Es ist nicht klar, ob diese Orchideen durch menschliches Zutun dorthin verbracht wurden, oder ob es sich um spontane Verbreitung handelte. Vermutet wird, dass diese unerwarteten Vorkommen auf den Kalkgehalt des Bauschuttens oder Reste der vielen Baustellen zurückzuführen sind. Die oben genannte Orchidee der Gattung Ständelwurz Epipactis ist gegenüber zahlreichen Bedingungen recht tolerant. Will man sie als Gartenorchidee kultivieren, werden Substrate mit Lavagestein gemischt. Kalktrockenrasen sind natürliche Verbreitungsschwerpunkte heimischer Orchideen. Exoten wie die weit verbreitete kultivierte duftlose Phalaenopsis dagegen erfordern leicht saure pH-Werte.



Abbildung 16: Ragwurz, heimische Orchidee

Hintergrundtext Hydrokultur

In gut gepflegten Böden wirken organische Materialien, Mikroorganismen und chemische Prozesse als Puffer und halten den pH-Wert relativ stabil. Der pH-Wert ist eine Maßeinheit für die saure, neutrale oder basische Natur einer Lösung. Der pH-Wert wird auf einer Skala von 0 (stark sauer) bis 14 (stark basisch) gemessen. Der Wert 7 gilt als neutral. Beim Anbau von Pflanzen für Obst und Gemüse oder als Zierpflanzen ist es wichtig zu berücksichtigen, dass verschiedene Pflanzen unterschiedliche pH-Werte für optimales Wachstum brauchen.

Wie kommt man an die Zahlen 1 bis 14? Der Wert bildet den negativen dekadischen Logarithmus der Hydronium-Ionenkonzentration ab. Die meisten Pflanzen gedeihen in einem leicht sauren bis neutralen Bereich von 6 bis 6,7. Manche Pflanzen brauchen unterschiedliche pH-Werte.

Es ist hilfreich, dass in den Böden organische Materialien und chemische Prozesse oder auch Mikroorganismen den pH-Wert abpuffern, also relativ konstant halten. In Hydrokulturen ist dies anders.

Werden Pflanzen jedoch mit ihren Wurzeln in flüssiger Düngelösung kultiviert, in Hydrokultur oder Aquakultur (sogenannten hydroponischen Systemen), entfällt die Pufferwirkung des natürlichen Bodens. Dann muss man den pH-Wert genau kontrollieren. Der optimale pH-Bereich in Hydrokultur liegt für viele Pflanzen zwischen pH -Wert 5,0 und 6,0, aber verschiedene Pflanzen haben unterschiedliche Anforderungen. Da die Wurzeln aber auch atmen, werden Blähton oder andere Materialien verwendet, die genügend Sauerstoffzutritt ermöglichen.

Quelle: <https://grownrw-bayern.de/ph-wert-in-der-pflanzenzucht>

Lösungen Modul 5

Lösung M5 Arbeitsblatt 3

MgCO_3

Lösungshinweise M5 Arbeitsblatt 4 Fallgeschichte 1

In Heidelberg am Odenwald liegt mit dem silikatischen Gestein ein eher saures Milieu des daraus verwitterten Bodens vor. Durch eine nachlässige Baumaßnahme am Hang des Odenwaldes wurde ein Bergbach mit Resten von Bauzement (also basischem Kalk) kontaminiert. Die Folge über mehrere Monate war ein drastischer Anstieg des pH-Wertes bis in den stark alkalischen Bereich. Für etliche Amphibien (wie den streng geschützten Feuersalamander) im Einflussbereich dieser alkalischen Gewässer war der pH-Wert tödlich. Es erforderte große Anstrengungen, diesen Wert langsam wieder zu senken. Die Stadt verfolgt das Ziel, dass zukünftig wieder sauberes Hangwasser im Heidelberger Schlossgarten ankommt.

Lösungshinweise M5 Arbeitsblatt 04 Fallgeschichte 2

Lösungshinweise:

Die Ansprüche von Orchideenarten sind also verschieden. Heimische Arten sind in der Regel auf Untergründe mit einem gewissen Kalkgehalt angewiesen. Sie können aber nur dann Sekundärstandorte besiedeln, wenn die Symbiosepartner im Boden ebenfalls vorhanden sind. Sie wurden also vermutlich mit etwas Erdreich „ausgesetzt“.

Quelle: <https://www.phytesia-orchids.com/de/epipactis-stendelwurz/12-epipactis-palustris-weisse-stendelwurz-603161361555.html>

Was haben Radieschen mit Vulkanen zu tun? Es geht um Schwefel!

M6

Modul





Abbildung 1: Radieschen mit Laubblättern und zwei Keimblättern



Abbildung 2: Vulcão dos Capelinhos, Azoren, Faial

Bezug zum Bildungsplan

Die Bildungsplanbezüge zum chemischen Element Schwefel im Kontext des Gärtners sind vielfältig:

- Während die Fragen der gesunden Ernährung mit Gemüse in allen Schulformen und Klassenstufen, spätestens ab Klasse 3 relevant sind, können die sekundären Pflanzenstoffe, die Scharfstoffe zur Abwehr von Fraßeinden sowie die anti-mikrobiellen Gesundheitswirkung sekundärer Pflanzenstoffe in höheren Klassenstufen weitere Bildungsplaninhalte unterfüttern.
- Um Stoffe und ihre Eigenschaften geht es ab Klasse 8 im Chemieunterricht, sowohl für organische, als auch für anorganische Stoffe. Hier sollen „Kombinationen charakteristischer Eigenschaften ausgewählter Stoffe“ thematisiert werden. So fordert der Bildungsplan für Chemie ab Klasse 8 die Befassung mit Eigenschaften von Stoffen, organischen wie anorganischen sowie die Ableitung von Stoffmerkmalen aus der Stellung chemischer Elemente im PSE.

- In ökologischen Zusammenhängen der BNE und Biologie wiederum werden abiotische Umweltfaktoren hinterfragt. Die Gestaltung von Ökosystemen und die Thematik des sauren Regens gehören zum Biologieunterricht.
- In Geographie spielt der Vulkanismus eine große Rolle. „Formen und Prozesse der Reliefsphäre“ thematisieren den Vulkanismus ebenso wie die Verwitterung und also die Bodenbildung oder geodynamische Prozesse. ((Bildungspläne 2016, Gymnasium, Geographie vom 23. März 2016 in der Fassung vom 22. Februar 2023 (V2) 3. Standards für inhaltsbezogene Kompetenzen, 3.5 Klassen 11/12 (Leistungsfach), 3.5.2 Sphären im System Erde))
- Für Klasse 5/6 fordert der Bildungsplan „Erkundungen“ zum Boden: Der Boden als natürliche Lebensgrundlage soll mit Bodenlebewesen, Humus und Ausgangsgestein dargestellt werden können. Der Gehalt an mineralischen Düngern kann dabei eine Rolle spielen.

Sachinformationen zum Schwefel

Pflanzen sind Meister darin, verschiedenste chemische Stoffe herzustellen, um sich damit beispielsweise gegen Fressfeinde oder Krankheitserreger zu schützen. Pflanzliche Wirkstoffe sind wegen ihrer medizinischen Wirkung auch für den Menschen interessant. Dazu brauchen die Pflanzen aber auch die richtigen „Zutaten“.

Und was hat der Schwefelhaushalt nun mit Vulkanen zu tun? In Europa sind es vor allem Standorte in Italien oder die Vulkane auf Island, die einen deutlichen Schwefelausstoß aufweisen. Aber auch Waldbrände oder Moorbrände (Meppen 2018) bilden Rauchgase mit kurzfristig stark erhöhten SO₂-Konzentrationen (Kaufholdt u.a. 2025).



Abbildung 3: Quarkbrote mit Radieschen-Scheiben oder Zwiebelstücken sind schnell zubereitet und sehr lecker.

Das chemische Element Schwefel jongliert auf einer sensiblen Waagschale für die Versorgung der Pflanzen (Kaufholdt, D et al. (2025). Problemfall Schwefel. BiuZ 1/2025(55) S. 68–77). Pflanzen können schwefelhaltige Verbindungen sowohl aus dem Boden über spezielle Transporter in die Wurzeln in Form von mineralischem **Sulfat** (SO₄²⁻) aufnehmen und dann über die Wasserleitungsbahnen in die Blätter befördern, als auch gasförmig in Form von Schwefeldioxid (SO₂) durch die Spaltöffnungen hereinlassen und über Zwischenschritte dann ebenfalls in Sulfat überführen. Für die Eiweißbildung ist die Stickstoff-Assi-

milation unverzichtbar, denn die Aminosäuren Cystein und Methionin enthalten Schwefel. Aber auch Vitamine und Coenzyme sind schwefelhaltig. Sekundäre Pflanzenstoffe – wie das würzige Allicin der Zwiebel oder die Senfölglycoside der Kreuzblütler – dienen der Abwehr von Pathogenen oder Stressbewältigung der Pflanzen.

Interessant ist folgender humanbiologisch relevanter Zusammenhang: „Ein Mangel an Schwefel kann dazu führen, dass die Pflanze geringere Mengen der schwefelhaltigen Aminosäuren Cystein und Methionin produziert und stattdessen vermehrt nicht-schwefelhaltige Aminosäuren wie Asparagin ansammelt ... Dies führt dazu, dass bei der Maillard-Reaktion mehr Acrylamid gebildet wird.“

Die Balance ist schwer zu finden. Während die Rauchgasentschwefelung den sauren Regen erfreulicherweise minimiert, ist für die Stressabwehr von Pflanzen ein ausgewogener Schwefel-Haushalt und ggf. sogar eine Düngung mit Schwefelverbindungen erforderlich.

Didaktische Gestaltung

- Zum Einstieg werden Radieschen, Senfkörner gekaut, Rettich oder Zwiebeln geschnuppert und ggf. gekostet. Auffällig sind die Scharfstoffe.
- Die chemischen Grundlagen des Schwefels sowie der schwefelhaltigen sekundären Pflanzenstoffe werden erarbeitet, je nach Schulfach.
- Die Schülerinnen und Schüler können zum Anbau dieser einfachen Kulturpflanzen recherchieren. Auch auf den Saatguttüten stehen wichtige Informationen.
- Die Schülerinnen und Schüler stecken Steckzwiebeln und säen Radieschen in die Hochbeete. Sanftes Angießen nicht vergessen! Zum Angießen wird die Brause genutzt, damit die Samen nicht wegspülten, aber Bodenkontakt herstellen und dann quellen und später keimen können (vgl. Abbildung 5 zum Radieschen-Aussäen und zum richtigen Angießen im Hochbeet).

- Nach dem Lernen der Chemie kann verkostet werden: Radieschen auf Quarkbroten oder im Salat – fein in Scheiben geschnitten.
- Einige Transferfragen dienen dem Durchdenken der Lernaktivitäten.
- Die Ernte der Zwiebeln und der Radieschen ist noch im gleichen Schuljahr möglich.

Sekundäre Pflanzenstoffe helfen bei der Abwehr von Fressern

Eine völlig intakte Küchenzwiebel duftet nicht. Erst nach dem Zerkleinern tritt ein Duft auf. Der Duftstoff heißt Allicin. Er enthält Schwefel in gebundener Form, wie man an der Formel leicht erkennen kann. Zwiebeln, Knoblauch, Bärlauch oder Porree enthalten eine seltsame Aminosäure mit dem Namen Alliin. Alliin ist nicht an der Bildung von Eiweißen beteiligt. Wird die Zellstruktur der Zwiebelpflanzen durch Schneiden oder Kauen gestört, bildet sich eine neue Verbindung – das Allicin. Denn die Aminosäure Alliin tritt nun in den gestörten Zellen in Kontakt mit dem Enzym Alliinase, so dass schließlich duftendes Allicin entsteht.

Der Mechanismus ist ähnlich zur Scharfstoff-Freisetzung von Kreuzblütlern. Hier gerät das zuvor separat in der Zelle gelagerte Enzym Myrosinase in Kontakt mit den Senfölglycosiden und spaltet den Zucker ab: Erst nach der Zellverletzung schmeckt es scharf.



Abbildung 4: gekaufte Radieschen schmecken weniger scharf als selbst geerntete – sie wurden mit viel Stickstoffdünger und Wasser versorgt, bilden aber weniger sekundäre Pflanzenstoffe



Abbildung 5: Steckzwiebeln und Radieschen-Saat sollte man sanft angießen im Hochbeet



Abbildung 6: Radieschenernte aus dem Hochbeet

Ganz schön scharf!

Aufgabe

Finde anhand der Formel heraus, aus welchen chemischen Elementen Allicin besteht, der Scharfstoff der Zwiebelgewächse! Suche diese chemischen Elemente im PSE!

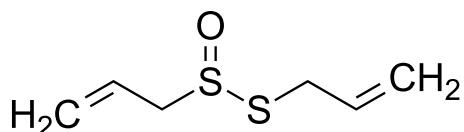


Abbildung 7: Formel von Allicin, dem Scharfstoff der Zwiebel



Abbildung 8: Die Zwiebel besteht aus verdickten Blättern und wehrt sich mit Allicin beim Anschneiden

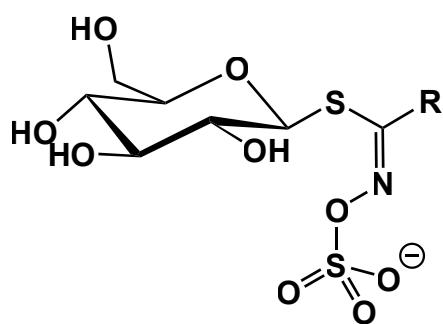


Abbildung 9: Formel eines Senfölglycosids (nach wikipedia)

Transferfrage 1

Warum Schmecken intakte Senfkörner nicht scharf, sondern erst angekaute Senfkörner?
Probiere es aus!

Transferfrage 2

Warum schmeckt die eigene Ernte schärfer als gekaufte Radieschen?

Transferfrage 3

Ist in den Radieschen Zucker nachweisbar?

- Welche chemischen Elemente enthält er?
- Wo wurde der Zucker hergestellt?



Abbildung 10: Steckzwiebeln werden zur Hälfte bis maximal 2/3 in die Erde gesteckt



Abbildung 11: Ernte der Zwiebeln im Ökogarten Heidelberg

Lösungen Modul 6

Lösung M6 Arbeitsblatt 1

Transferfrage 1

Die Kompartimentierung der Zellen wird aufgelöst. Enzyme wie Myrosinase kommen durch die Zellverletzung in Kontakt mit Substraten wie Senfölglycosiden, zersetzen sie unter Bildung von Scharfstoffen. Der Zuckerrest wird abgespalten. Abwehrstoffe gegen Fraßfeinde entstehen.

Lösung M6 Arbeitsblatt 1

Transferfrage 2

Durch langsameres Wachstum und weniger Stickstoffdüngung konnten die Radieschen auch in sekundäre Pflanzenstoffe investieren und sich so biologisch gegen mögliche Fraßfeinde besser wappnen. Die Pflanzen haben sich den passgenauen Schewfelgehalt – in Form von Mineralstoffen gebundenen Schwefels – im Boden zunutze gemacht.

Lösung M6 Arbeitsblatt 1

Transferfrage 3

Der Zuckerteststreifen spricht auf Radieschen deutlich an. Kohlenhydrate sowie sekundäre Pflanzenstoffe sind Ergebnisse der Fotosynthese der grünen Blätter (vgl. Abbildung 1). Auch von den Senfölglycosiden wird ein Zuckerrest abgespalten nach Anschneiden der Radieschen-Zellen.

Wie regulieren die Pflanzen ihren Wassergehalt? Es geht um Stomata!

M7

Modul

Alpenveilchen



Bezug zum Bildungsplan

Die Funktionsweise der pflanzlichen Spaltöffnungen hat viele Bezüge zum Bildungsplan und zu den internationalen Sustainability Goals (SDGs). Folgende Aspekte können geklärt werden:

- Wie leben Pflanzen leben? Diese grundlegenden Fragen spielen bereits im naturwissenschaftlichen Sachunterricht eine Rolle und werden später in Biologie wieder aufgegriffen.
- Welche zelluläre Differenzierung weisen Pflanzen auf? Die Zelle ist die funktionelle Grundstruktur aller Lebewesen und ordnet sich in die drei Basiskonzepte der Biologie (Entwicklung, Struktur und Funktion, System) ein.
- Welche Stoffe und ihre Eigenschaften sind wichtig für die Landwirtschaft und die Umwelt? Das sind Kernfragen des gesamten Chemieunterrichts.
- Kalium und Calcium – warum brauchen die Pflanzen solche Mineralstoffe? Hier werden fächerbergreifende Aspekte deutlich. Dies tangiert unmittelbar das Leitbild BNE und die Qualität des Wassers. Das Modul klärt also exemplarisch, inwiefern Mineralstoffe (hier Kalium und Calcium) für konkrete physiologische Prozesse der Pflanzen unverzichtbar sind.



Abbildung 1: Chicorée – das sind die bleichen Blätter einer Wegwarte

Hintergrundinformationen zum Unterrichtsgespräch

In den letzten Jahren wird in Deutschland häufiger über Extremwetterereignisse oder auch längere Trockenphasen diskutiert. Wie kommen die Pflanzen mit diesen wechselnden Anforderungen zurecht? Wie schaffen es Pflanzen überhaupt, bei genügend Wasser die Photosynthese effektiv zu starten und bei Trockenheit Verdunstung zu vermindern?

Bekanntlich weisen Laubblätter eine Epidermis zum Verdunstungsschutz auf, die aber partiell durchlässig gemacht werden kann, entweder für die Verdunstung von Wasser – oder für den Einstrom von Kohlendioxid als Kohlenstoffquelle für die Fotosynthese.

An der Regulation der Spaltöffnungen sind Mineralstoffe beteiligt, insbesondere Kalium und Calcium. Kaliumionen sind einwertig, das Element steht in der ersten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente, Calcium dagegen als Element der zweiten Hauptgruppe des PSE bildet zweiwertige Ionen. K⁺ also ist für Pflanzen erforderlich, um beispielsweise die Spaltöffnungen regulieren zu können, und dies wiederum ist unverzichtbar zur Regulation der Transpiration.

So enthält ein Pflanzendünger beispielsweise 2,3% wasserlösliches Kaliumoxid, 1% wasserlösliches Phosphat, 1,8% Stickstoffverbindungen, aber nur 0,02% wasserlösliche Eisenverbindungen und noch 0,01% Manganverbindungen.

Zwar nehmen die gesamten Spaltöffnungen bei Pflanzen nicht mehr als 1,5% der Blattfläche in Anspruch, durch die Randeffekte ist die Wirkung bei der Transpiration aber effizienter als die Verdunstung von einer glatten Wasser-Fläche.

Es werden verschiedene Formen von Spaltöffnungen bei unterschiedlichen Pflanzen unterschieden, meist sind sie bohnen- oder hantelförmig.

Die Schließzellen neben der Spaltöffnung enthalten meist Chloroplasten, die Stärke bilden können. Die Zellwände der Schließzellen sind ungleich verdickt, daher führt ein Anstieg des Zellinnendrucks zur Öffnung des Spaltes. Hier kommen nun die **Mineralstoffe** ins Spiel, sie sind für die Erhöhung des Innendrucks der Schließzellen unverzichtbar. In die Schließzellen strömen Kaliumionen (K^+) und Chloridionen (Cl^-) ein, zusätzlich werden osmotisch aktive Malat-Ionen (Salze der Äpfelsäure) hergestellt. So kann osmotisch Wasser einströmen.

Calciumionen setzen Signale, um die Spaltöffnungen wieder zu schließen. Bei Wassermangel steigt die Konzentration der Calciumionen, dies führt zum Schließen der Kaliumioneneinstromkanäle und damit zur Absenkung des osmotischen Druckes. Die Spaltöffnungen schließen sich, die Transpiration wird nun reduziert.

Aber auch Licht sowie CO_2 -Gehalt beeinflussen die Spaltöffnungen.

Die meisten flachen grünen Laubblätter tragen ihre Spaltöffnungen auf der Unterseite, eingebettet in die untere Epidermis. Mit steigendem Zellinnendruck der Schließzellen wird die Rückwand gedehnt, die Zellen krümmen sich und der Spalt öffnet sich. Während die meisten Zellen der Epidermis keine Chloroplasten besitzen, haben die Zellen des Spaltöffnungsapparates Chloroplasten.

Lernangebot

Mikroskopie der Spaltöffnungen bei Chicorée, der Zwiebel oder dem Alpenveilchen



Abbildung 2: Alpenveilchen

Praktisches Vorgehen

Die Laubblätter mancher Pflanzen haben einen so hohen Zellinnendruck, dass man sie knicken kann, dann reißt meist ein Stück der Epidermis ab. Das kann man mit einer Pinzette abzupfen und auf einen Objekträger legen. Ein Wassertropfen wird hinzugegeben und ein Deckglas aufgelegt. Man beginnt die Mikroskopie (immer) bei der schwächsten Vergrößerung und stellt nach dem Scharfstellen weitere Vergrößerungen mit dem Objektivrevolver ein. Spaltöffnungen sollten bei 400-facher Vergrößerung gut zu erkennen sein.

Eine weitere Möglichkeit, Spaltöffnungen und andere Strukturen auf der Epidermis sichtbar zu machen, ist folgende: Transparentes Klebeband wird sanft auf das Blatt gedrückt, dann abgezogen und auf einem Objekträger (ohne Deckglas) mikroskopiert.

Fenster im Blatt – oben oder unten

Aufgaben

Wo findet man mehr Spaltöffnungen, auf der Ober- oder der Unterseite der Blätter von Alpenveilchen, Küchenzwiebel oder Chicorée?

Schaffen wir es, verschiedene Öffnungszustände zu induzieren? Das Licht, Wind (Fön) oder das Wasserangebot können variiert werden.

Auswertung:

Eigentlich ist das meist so, dass die Spaltöffnungen auf der Blattunterseite sitzen. Jedoch gibt es Ausnahmen. So sind Spaltöffnungen der Seerosen nach oben zur Luft gerichtet. Nadelblätter haben die Spaltöffnungen oft auf der Unterseite hinter weißen Wachstreifen. An Trockenheit angepasste Blätter können eingesenkte Spaltöffnungen besitzen, die durch Haare verdeckt sind.



Abbildung 3: Spaltöffnungen in der unteren Epidermis des Laubblattes vom Alpenveilchen

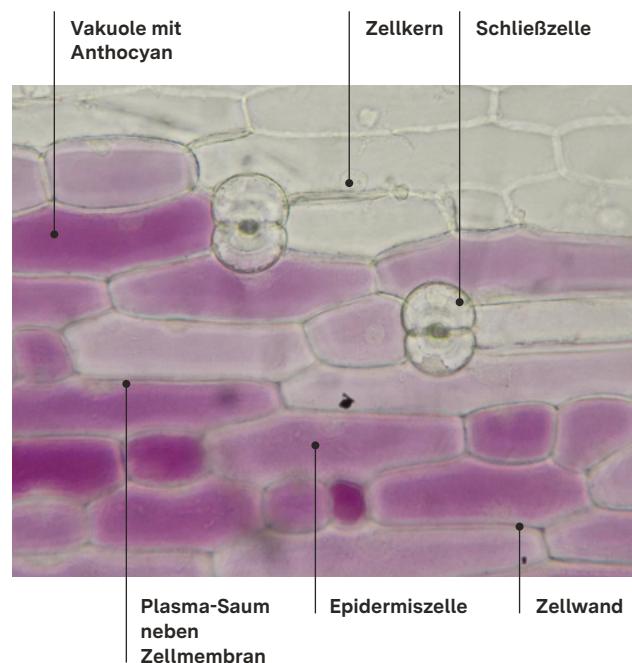


Abbildung 4: Spaltöffnungen in der Epidermis der Küchenzwiebel



Abbildung 5: Epidermis des Chicorées bei 40-facher Vergrößerung mit deutlich erkennbaren Haaren

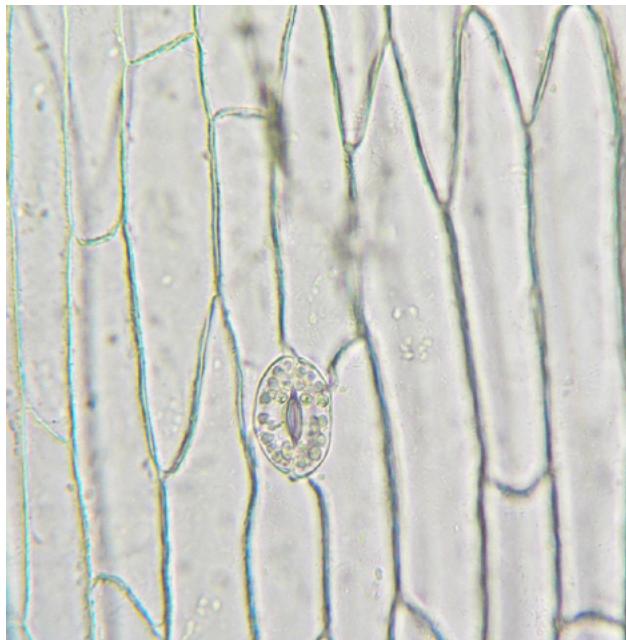


Abbildung 6: Spaltöffnung mit Schließzellen beim Chicorée bei 400-facher Vergrößerung

Literatur zu Spaltöffnungen

Nultsch, W. (1995). Mikroskopisch-Botanisches Praktikum. Thieme, S. 96.

Kadereit, J.W.; Körner, C. Nick, P; Sonnewald, U. (2021). Strasburger – Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften, 38. Auflage, Springer Berlin Heidelberg

Nultsch, W. (2001). Allgemeine Botanik, 11. Auflage, Stuttgart.

<https://www.sofatutor.com/biologie/videos/funktion-der-spaltoeffnungen>

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/spaltoeffnungen/62311>

<https://www.u-helmich.de/bio/lexikon/S/BilderS/Stomata-Regulation-2.jpg> (alle abgerufen Februar 2025)

Ionenaustauscher im Moor: Torfmoos und fleischfressende Pflanzen

M8

Modul



Bezug zum Bildungsplan

- Die inhaltlichen Bezüge betreffen die Geographie, das Leitbild BNE, die Biologie sowie die Chemie bzw. im Bereich Grundschule des naturwissenschaftlichen Sachunterricht.
- Im Geographieunterricht der Klassen 7, 8 und 9 werden Teilsysteme der Erdoberfläche einschließlich globaler Klimaphänomene behandelt.
- Ionen als Teilchen sind Lerngegenstand des Chemieunterrichts.
- Torfmoose als blütenlose Pflanzen sind nicht um ihrer selbst willen bildungsplanrelevant, sondern vor allem im Kontext des schützenswerten Lebensraumes Moor. Denn Moore binden Kohlenstoff und tragen so aktiv zum Klimaschutz bei.
- Ionenaustauscher spielen auch im Alltag, im Lebensmittelbereich sowie in der Laborpraxis oder der Technik (Mobilität) eine große Rolle

Einleitung

Das Problem mit dem Stickstoff und anderen Mineralstoffen löst eine Pflanzengruppe besonders originell. Das sind fleischfressende Pflanzen. Schließlich besiedeln sie Hochmoore u.a. Gebiete mit wenigen Mineralstoffen. Die Pflanzen müssten mit dem zufrieden sein, was der Regen anschwemmt, denn Grundwasserkontakt oder Oberflächenwasserzuflüsse gibt es im Hochmoor nicht. Also machen diese fleischfressenden Pflanzen das, was Laien oft allen Pflanzen unterstellen: sie nehmen tatsächlich Nährstoffe auf, organische Stoffe, insbesondere natürlich die Eiweiße von Insekten. Diese Nährstoffe können sie dann verdauen, um Aminosäuren (mit Stickstoff) für die eigene Eiweißsynthese zu gewinnen.



Abbildung 1: *Drosera rotundifolia* ist der heimische, unter Naturschutz stehende fleischfressende Sonnentau.



Abbildung 2: Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) und Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*) im Moor neben verschiedenen Heidekräutern

Solche besonderen Pflanzen zu schützen – das ist ein Grund für den Verzicht von Torferde im Schulgarten. Denn mit dem Abbaggern des Hochmoortorfs für Pflanzsubstrat verschwinden auch die Lebensräume für Sonnentau, Lungen-Enzian, Moorfrosch, Moorlinie oder Scheidiges Wollgras und Glockenheide – und für das Torfmoos Sphagnum selbst. Und das ist doch wirklich schade.

Den Lebensraum Moor schützen!

Aufgaben

- Informiere Dich über Restvorkommen von Mooren in Deutschland sowie in den Nachbarländern. Achte dabei besonders auf Regionen in Küsten-nähe sowie im Umfeld von Gebirgen.
- Welche Schutzmaßnahmen werden ergriffen, um Moore oder deren Rest in Deutschland zu schützen? Recherchiere beim NABU, der BUND, dem Bundesumweltamt (BfU) oder dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)
- Recherchiere den Fortpflanzungsprozess des Moorfrosches! Welche Farbe haben die Männchen zur Paarungszeit?
- Sammle Erfahrungen im Umgang mit Substraten für Gartenpflanzen ohne Torf, denn sie haben andere Gebrauchseigenschaften als Substrat aus verrottetem Hochmoortorf. Befasse dich mit dem Modul zur Wasserhaltefähigkeit von Boden!
- Vergleiche das Torfmoos mit einem Wasserfilter mit Ionenaustauscher.



Abbildung 3: Moor mit Torf – das Moor ist gut zu erkennen am Woll-gras.

Solche besonderen Pflanzen zu schützen – das ist ein Grund für den Verzicht von Torferde im Schulgar-ten. Denn mit dem Abbaggern des Hochmoortorfs für Pflanzsubstrat verschwinden auch die Lebensräume für Sonnentau, Lungen-Enzian, Moorfrosch, Moorli-lie oder Scheidiges Wollgras und Glockenheide – und für das Torfmoos Sphagnum selbst. Und das ist doch wirklich schade.

Torfmoos ist Hauptbestandteil von Zwischen- und Hochmooren. Es ist hervorragend an die extremen Bedingungen dieser Standorte angepasst.

Torfmoose wachsen mit ihrer schoppartigen Spross-Spitze praktisch grenzenlos und sterben an der Basis wegen Luftabschluss wieder ab. Der unvollständige Abbau der Pflanzenteile lässt immer mächtigere Torf-lager entstehen. Sie werden durch immer neue Torf-moosjahrgänge nach und nach zusammengepresst. Insgesamt beträgt das Höhenwachstum eines intak-ten Moores etwa 0,5 – 1,5 mm pro Jahr, d. h. 1 m Torf braucht zu seiner Entstehung etwa 1.000 Jahre.

Torfmoose nehmen selbst geringste Mengen Mineral-stoffe (Ionen) auf und geben im Gegenzug Wasser-stoffionen (Protonen) an die Umgebung ab, die für die zunehmend saure und damit für andere Pflanzen immer lebensfeindlichere Reaktion des Wassers ver-antwortlich sind. Konkurrenten werden im Wuchs gehindert.

Ionenaustauscher Torfmoos

Aufgabe

Welche Ionen tauscht das Torfmoos? Erläutere die Abbildung!

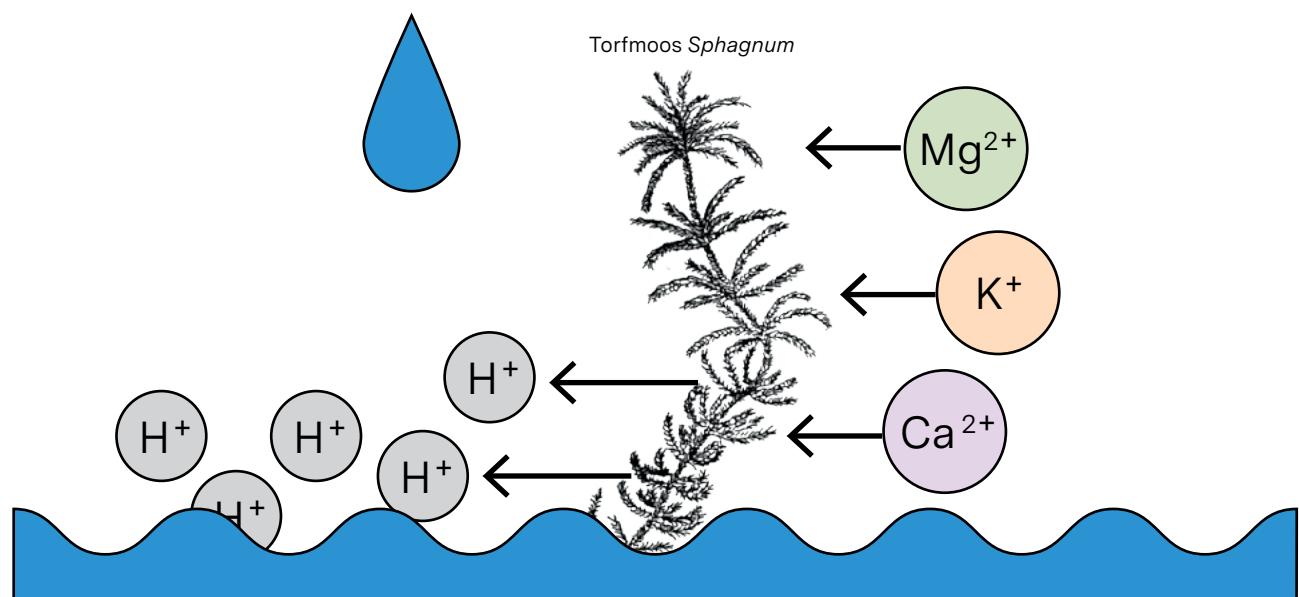


Abbildung 4: Ionenaustausche am Torfmoos

Modellexperiment für Torfmoos als Ionenaustauscher

Aufgabe

Prüfung des Calciumgehalts.

Miss den pH-Wert und den Calciumgehalt von Leitungswasser. Danach filtere das Wasser durch einen handelsüblichen Wasserfilter zum Lebensmittelgebrauch und miss erneut pH-Wert und Calciumgehalt!

Calciumionen-Nachweis

Calciumionen reagieren mit Oxalat-Ionen unter Ausfällung eines weißen Niederschlags.

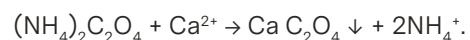
Milchprodukte, Mineralwasser, Brokkoli u. a. Gemüse enthalten viele Calciumionen, die mit den Oxalat-Ionen des Ammoniumoxalats eine unlösliche Verbindung eingehen, Kalziumoxalat bildet sich. Das Kalziumoxalat fällt dann als weißen Niederschlag aus der Lösung aus. Oxalat wiederum kommt in hohen Konzentrationen in Rhabarber oder Spinat vor.



Abbildung 5: Calciumionen bilden mit Oxalat-Ionen unlösliches Calciumoxalat, die Lösung trübt sich.

Reaktionsgleichung:

Ammoniumoxalat reagiert mit Calciumionen zu Calciumoxalat



Der Alltagsspruch: „Rhabarber fängt Calcium weg“ ist richtig, jedoch kann man Rhabarber beim Essen gezielt mit Milchprodukten kombinieren.



Abbildung 6: Wenn der Rhabarber bereits blüht, enthält er besonders viel Oxalat. Besser vor der Blüte verzehren – denn Oxalat fängt Calcium weg.

Lösungen Modul 8

Lösung M8 Arbeitsblatt 1

Der Schutz der Moore wurde durch das Bundesumweltamt in der Mitte der 20er Jahre unseres Jahrhunderts intensiviert. Ehemalige Moore sollen renaturiert werden. Ein Beispiel für ein solches Projekt mit bereits längerer Laufzeit ist das „Schwenninger Moos“. Restbestände von Mooren findet man in Oberschwaben sowie auch nahe der Küste in Norddeutschland. Der Moorfrosch (*Rana arvalis*) ist ein sogenannter Braunfrosch. Seine Männchen erscheinen in der Paarungszeit jedoch leuchtend blau.

Wasserfilter sowie Torfmoose fungieren als Ionentauscher: Ionenaustauscher nehmen bestimmte Ionen aus dem Wasser auf und ersetzen sie durch die gleiche Anzahl anderer Ionen. So werden zum Beispiel Calcium- und Magnesium-Ionen herausgefiltert, die dafür verantwortlich sind, dass sich in Haushaltsgeräten Kalk ablagert. Durch einen Wasserfilter mit Ionenaustauschern werden diese Ionen aus dem Trinkwasser herausgefiltert und das Wasser somit entkalkt. Dadurch wird aus hartem Wasser weiches Wasser. Welche Ionen werden nun im Tausch ins Wasser abgegeben? Das können nur positiv geladene Hydroxium-Ionen sein, vereinfacht formuliert H+-Teilchen. Das Wasser wird also sauer. Der pH-Wert sinkt etwas ab.

Das Torfmoos wirkt als starker Ionenaustauscher und kann so noch unter mineralstoffarmen Bedingungen Mineralstoffe (Ladungsträger, Ionen) aufnehmen. Im Gegenzug werden H+ Ionen abgegeben. Dies sorgt beim Torfmoos für eine starke Versauerung seiner Umgebung. Die abgestorbenen Moosschichten können von anderen Organismen wegen des niedrigen pH-Wertes nicht abgebaut werden und lagern sich als Torfschichten ab. So wird gebundener Kohlenstoff über Jahrzehnte fixiert und nicht als CO₂ in die Atmosphäre entlassen.

Lösung M8 Arbeitsblatt 2

Das Torfmoos nimmt positiv geladene Kalium-, Magnesium- oder Calciumionen auf und gibt positiv geladene Protonen (H+) ab.



Abbildung 7: Moorlandschaft mit Wollgras

Welcher Indikator eignet sich für den pH-Wert von Wasser, Rotkohlsaft, Bromthymolblau oder Universalindikator?

M9

Modul



Bezug zum Bildungsplan

Die Untersuchung von Wasser und Kenntnisse seiner Eigenschaften werden im Bildungsplan für die Sekundarstufe gefordert. Lernende sollen in die Lage versetzt werden, die Eigenschaften und Inhaltsstoffe von Wasser experimentell zu untersuchen um anhand von Messwerten die Qualität zu bewerten. Auch Einflüsse und Eingriffe des Menschen auf (aquatische) Ökosysteme sowie konkrete Maßnahmen zu deren Schutz werden bereits in Klasse 5 thematisiert und bis zur gymnasialen Oberstufe weiter vertieft, hier kommen die globalen Perspektiven menschlichen Handelns vertieft in den Blick (Geosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre).

Einleitung

Wasser ist nicht gleich Wasser. Je nach Wohnort oder anthropogenen Einflüssen kann sich der pH-Wert von Wasser stark unterscheiden. Die Messung des pH-Wertes von Wasser ist daher eine einfache Methode, um Hinweise auf die mögliche mineralische Zusammensetzung zu erhalten. Wasser aus „kalkhaltigen“ Regionen mit hohem Gehalt an Mineralien die Calcium Ca^{2+} und Magnesium Mg^{2+} weisen in der Regel einen alkalischen pH-Wert auf. Diese Ionen sind auch

für die „Härte“ des Wassers verantwortlich. Carbonationen (CO_3^{2-}) oder Hydrogencarbonationen (HCO_3^-) wirken als natürliches Puffersystem, die den pH-Wert im leicht alkalischen Bereich halten. Wasser in Thüringen oder in Norddeutschland weißt aufgrund von Silikat und kieshaltigen Böden eher neutrales bis saures Wasser auf, während in Baden-Württemberg aufgrund von kalkhaltigen Mineralien in den Böden meist alkalische pH-Werte gemessen werden (Scherstjanoi et al., 2021). Der pH-Wert kann jedoch je nach Quelle stark variieren. So führen Sulfidhaltige Mineralien (Bsp. Pyrit FeS_2) zu einem sauren pH-Wert. Durch Emissionen von Schwefeldioxid SO_2 und Kohlenstoffdioxid CO_2 , welche mit Wasser zu schwefliger Säure (H_2SO_3) und Kohlensäure (H_2CO_3) reagieren, wird der pH-Wert von Regen oder Trinkwasser ebenfalls abgesenkt (Krauker, 2024).

Für die Messung des pH-Wertes stehen je nach Fragestellung verschiedene Indikatoren zu Verfügung. Phenolphthalein hat zwar im alkalischen eine schöne Farbe, sollte aufgrund der vermuteten mutagenen Wirkung **nicht mehr** von Schülerinnen und Schülern verwendet werden. Besser geeignet sind Bromthymolblau oder Universalindikator als Lösungen. So kann einfach der pH-Wert von Leitungswasser oder Wasser im Boden ermittelt werden. Auch anthocyanhaltige Lebensmittel wie „Rotkohl“ können als Indikatoren für die Wasseranalyse verwendet werden.

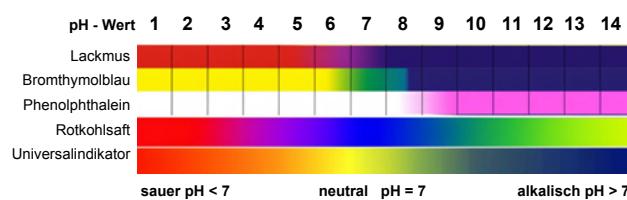


Abbildung 1: Farben verschiedener Indikatoren bei unterschiedlichen pH-Werten.

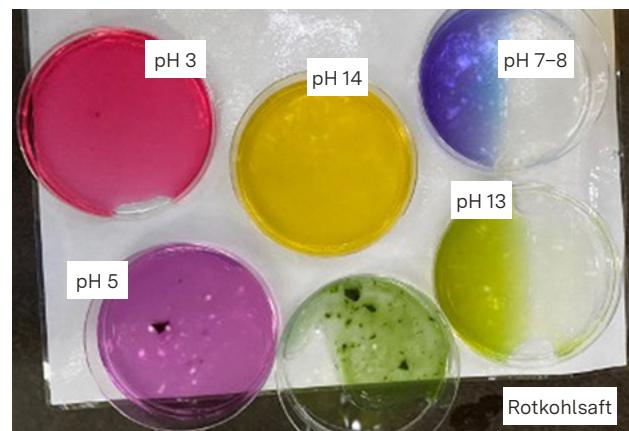


Abbildung 2: Auch Rotkohl kann als Indikator für Säuren oder Basen bzw. für die Analyse von Wasser verwendet werden.

Ist CO₂ tatsächlich für die Versäuerung der Meere verantwortlich?

Versuch 1

Dass CO₂ zu einer Versäuerung von Gewässern bzw. Wasser führt kann experimentell einfach überprüft werden. Dazu füllt man einen Erlenmeyerkolben (als Spritzschutz) mit möglichst neutralem Wasser (vorher den pH-Wert prüfen) und gibt einige Tropfen Bromthymolblau dazu. Als einfache CO₂ Quelle kann hier ausgeatmete Luft dienen. Mit einem Strohhalm wird in die Lösung ausgeatmete Luft eingeblasen.

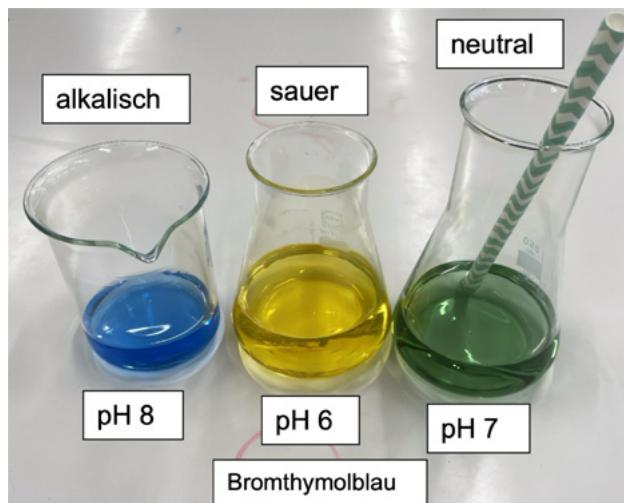


Abbildung 3: Durch mit einem Strohhalm eingekohltes CO₂ bildet sich „Kohlensäure“. Dadurch sinkt der pH-Wert der Lösung und Bromthymolblau ändert seine Farbe von grün nach gelb.

So können Bezüge zum Einfluss des Menschen durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern und dem damit verbundenen Einfluss auf das Ökosystem Meer hergestellt werden (zum Beispiel Korallenbleiche). Ein Absinken des pH-Wertes in den Weltmeeren hat weitreichende Folgen für die empfindlichen Ökosysteme (vgl. SDGs zum Leben im Wasser). So tolerieren Zooxanthellen, welche als Symbionten in Steinkorallen leben, niedrigere pH-Werte schlechter und sterben dadurch ab. Auch können Steinkorallen durch den niedrigeren pH-Wert schlechter kalkhaltige Strukturen (Calciumcarbonat) aufbauen. (Schumacher, 1991).



Abbildung 4: Verschiedene tropische Steinkorallen (*Scleractinia* sp.) mit Calciumcarbonat (CaCO₃) haltigem (Aragonit) Korallenkelchen, welches die Korallen bilden.

Welchen pH-Wert hat mein Leitungswasser und was filtert eigentlich ein Wasserfilter?

Versuch 2

Um zu messen, welchen pH-Wert das Gießwasser hat, kann einer der oben genannten Indikatoren verwendet werden. In der Regel eignet sich Bromthymolblau gut, da es schon einen leicht alkalischen pH-Wert gut anzeigen kann. Bei einem alkalischen pH -Wert kann vermutet werden, dass Calcium- oder Magnesiumionen vorhanden sind. Um sicher zu gehen, können Calciumionen mit Rhabarbersaft oder einer 5% Ammoniumoxalatlösung (Module B, D zum Nachweis von Ca^{2+}) nachgewiesen werden.

Versuch 3

Wasserfilter für den Haushalt versprechen, Wasser „weicher“ zu machen und Partikel aus dem Wasser herauszufiltern. In der Regel handelt es sich dabei um Ionentauscher, welche Calcium- und Magnesiumionen aus dem Wasser entfernen und Schwebstoffe mithilfe von Aktivkohle adsorbieren sollen (vgl. Modul G zum Torfmoos als Ionenaustauscher). Ob das wirklich funktioniert kann ebenfalls experimentell überprüft werden. Dazu wird lediglich eine Wasserfilterpatrone aus dem Drogeriemarkt benötigt. Der pH – Wert des Wassers und der Calciumgehalt werden einmal im Leitungswasser und einmal nach der Filtration gemessen.

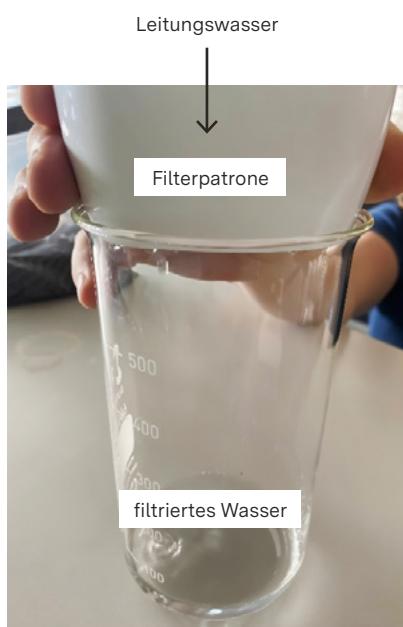


Abbildung 5: Wasserfilter mit Ionentauscher

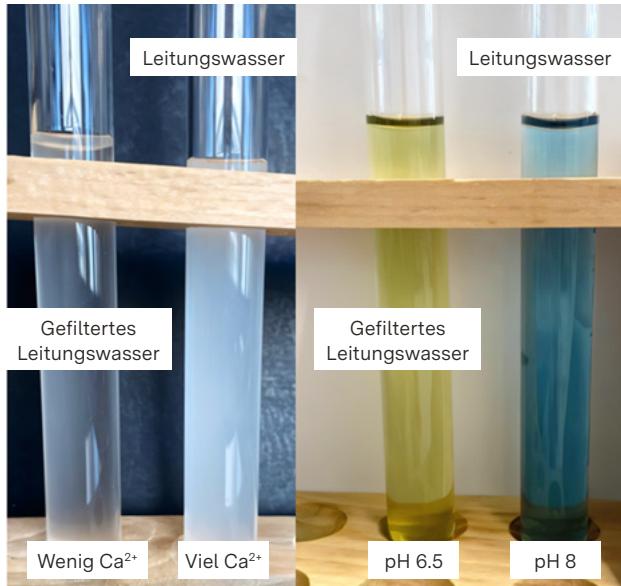


Abbildung 6: Vergleich von pH-Wert (Bromthymolblau) und relativer Calciumionenkonzentration zwischen Leitungswasser und „gefiltertem“ Wasser.

Warum ist der pH-Wert von „gefiltertem“ Wasser jetzt deutlich saurer als im Leitungswasser? In der Filterpatrone befindet sich ein Kationentauscher. Dieser „tauscht“ im wahrsten Sinne des Wortes positiv geladenen Ionen aus. Die im Leitungswasser enthaltenen Calcium- und Magnesiumionen binden ionisch an den Ionentauscher, dieser gibt dafür Protonen (H^+) in die Lösung ab, welche zu einem Absinken des pH-Wertes führen. Ähnliche Eigenschaften haben auch Humin-säuren im Humus der Böden. Diese binden Mineralstoffe wie Calcium und Magnesium und machen diese so für Pflanzen verfügbar (vgl. Modul G zum Torfmoos als Ionenaustauscher).

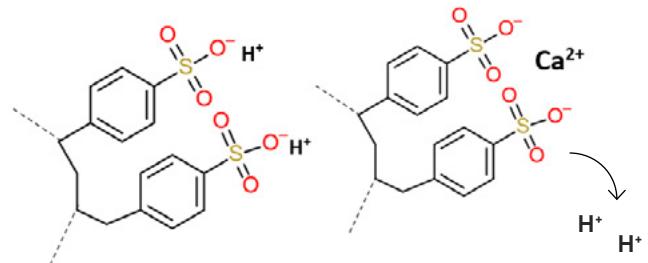


Abbildung 7: Aufbau eines Kationentauschers. An die Sulfatgruppen sind H^+ (Protonen) gebunden, welche bei Anwesenheit von zweiwertigen Kationen wie Magnesium oder Calcium aus dem Wasser „ausgetauscht“ werden.

Quellen/ Literaturtipps

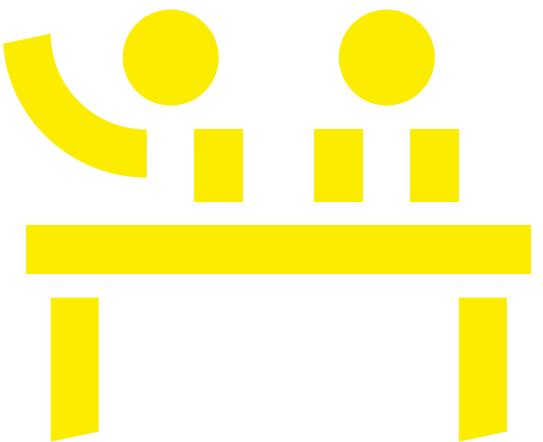
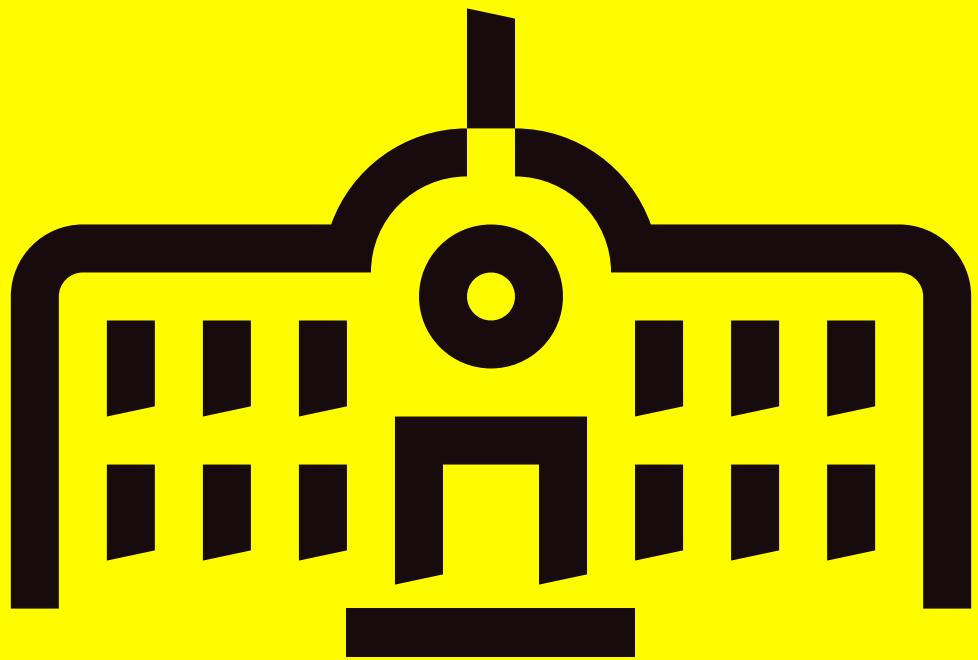
H. Schumacher: Korallenriffe sind weltweit bedroht. In: Biologie der Meere. Spektrum Akad. Verlag, 1991, ISBN 3-89330-753-2.

Krauker, M. (2024). Meere unter Druck – Ozeanversauerung durch CO₂. Umweltbundesamt. Abgerufen am 2. April 2025 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/meere/nutzung-belastungen/meere-unter-druck-ozeanversauerung-durch-co2#ozeane-kohlenstoffdioxid-speicher>

Scherstjanoi, M., Grüneberg, E., & Wellbrock, N. (2021, Oktober). Hünen à la carte (Ausgabe 9). Thünen-Institut. <https://doi.org/10.3220/CA1632825232000>

Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, & BMG. (2023). Bericht des BMG und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland (2020–2022). Dessau-Roßlau, Koblenz, Bonn: Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Gewässerkunde, BMG.

Wikimedia (2009) Säuren und Laugen – Farbspektrum verschiedener Indikatoren [SVG-Datei]. In Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S%C3%A4uren_und_Laugen_-_Farbspektrum_verschiedener_Indikatoren.svg?uselang=de#Lizenz



Baden-Württemberg